

Opdrachtgever:

Samenwerkingsverband
Maasvlakte 2 Varianten

Onderzoek golfhinder binnenvaart

Technisch rapport

A468

Augustus 2000

Opdrachtgever **Samenwerkingsverband Maasvlakte 2**

Titel **Onderzoek Golfhinder binnenvaart**

Samenvatting In deze studie is de golfhinder voor de binnenvaart onderzocht voor vier varianten van de uitbreiding van de Maasvlakte en vergeleken met berekeningen van de golfhinder bij de huidige situatie. De golfcondities in de haven en de resulterende scheepsresponsies zijn bepaald met behulp van rekenmodellen. Dit is gedaan voor binnenschepen variërend van klein naar groot (CEMT klasse I t/m VIa), inclusief gekoppelde eenheden. Daarnaast zijn ook binnenschippers geïnterviewd. Hun kennis en ervaring zijn gebruikt voor het bepalen van de vaarroutes en het controleren van de uitkomsten van de numerieke modellen. De resultaten van de studie geven aan dat voor alle vier Maasvlakte 2 varianten de golfhinder groter is dan in de huidige Maasvlakte, waarbij echter voor twee van de varianten de toename betrekkelijk gering is.

Referenties Opdracht MMON 016
Alkyon offertes:
A468e02, 10 september, 1999
A468fx16, 21 december, 1999
A468emj02, 16 maart, 2000
A468fx24, 19 mei, 2000

Rev.	Auteur	Datum	Bijzonderh.	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0	HV DH JO	26/05/00	concept	FCV	JO
1	HV DH JO	30/06/00	Concept	FCV	JO
2	HV DH JO	10/08/00	Concept	FCV	JO
3	HV DH JO	30/08/00		FCV	JO

Document Specificaties	Inhoud	Status
Rapport nummer: A468R1r3 Sleutelwoorden: Binnenvaart, Golfhinder, Maasvlakte Project nummer: A468 Bestand: P:\a468_SM2V_Binvrt\rapportage\ver1\A468R1r3.doc	tekst pagina's: 47 tabellen: 14 figuren: 82 bijlagen: 3	<input type="checkbox"/> voorlopig <input type="checkbox"/> concept <input checked="" type="checkbox"/> eindrapport

Samenvatting

In deze studie is de golfhinder voor de binnenvaart onderzocht voor vier varianten van de uitbreiding van de Maasvlakte. De golfhinder bij de varianten is vergeleken met de golfhinder bij de huidige situatie. Diverse binnenvaartschepen zijn bestudeerd van klein naar groot, inclusief een aantal gekoppelde eenheden. De huidige situatie en de varianten A, B en C zijn weergegeven in figuren 1.01 t/m 1.04. Variant C_{NT} is gelijk aan variant C_x doch voorzien van een westelijke buitendam die geen golven doorlaat.

Golfhinder uit zich in een aantal problemen voor binnenschepen. In deze studie zijn bestudeerd: water over de den, water over de boeg, buigende momenten, torsie momenten en krachten in de koppeldraden (bij gekoppelde eenheden). In het onderzoek is gebruik gemaakt van numerieke modellen voor het bepalen van de golfcondities en het resulterende scheepsgedrag.

Naast de resultaten uit de berekeningen is ook gebruik gemaakt van interviews met binnenschippers. Hun kennis en ervaring zijn mede gebruikt voor het bepalen van de vaarroutes en het controleren van de uitkomsten van de numerieke modellen.

Zowel de berekeningsresultaten als de interviews geven aan dat kritische situaties voor de binnenvaart ontstaan onder de volgende omstandigheden:

- Bij lokaal in de haven, door wind opgewekte en van opzij inkomende golven. Dit resulteert bij de kleinere volgeladen schepen (Spits, Kempenaar, duwbak) in het overnemen van water over de den. Hierbij is het wel noodzakelijk dat er een grote open watervlakte aanwezig is.
- Bij door de havenmond en door de golfbrekers (lange golven) binnendringende golven van zee. Indien deze golven van opzij inkomen kunnen bij gekoppelde eenheden de krachten in de koppeldraden te groot worden.
- Bij vanuit zee binnendringende golven die de binnenvaartschepen op de kop aanvallen. Deze golven kunnen de toelaatbare buigspanningen in de romp doen overschrijden.

Vergeleken met de bestaande situatie is de golfhinder voor de binnenvaart in alle Maasvlakte 2 varianten, in meer of mindere mate, groter. Dit komt zowel door de aanwezigheid van grotere wateroppervlaktes waar de wind golven kan opwekken, maar ook door een toename van golven die via de lage zeekering (transmissie) de haven binnendringt.

De meeste golfhinder ontstaat bij de varianten A en B op de locatie waar de binnenschepen het nieuwe havengebied indraaien. Hier maken de schepen een bocht waarbij binnendringende en de door de dam doorgelaten golven uit het noorden van opzij op het schip af komen. Variant B is ongunstiger dan A omdat in variant B over dit traject tevens golven uit het noordwesten aanwezig zijn. De hinder wordt met name ondervonden door de gekoppelde eenheden. Bij variant A kan de situatie aanzienlijk worden verbeterd door een kleine aanpassing van de lay-out (zie de Figuren 6.1 - 6.4). Deze aanpassing houdt in dat de binnenschepen over het grootste gedeelte van de bocht worden beschermd door een golfbreker.

Bij variant C komt de meeste golfhinder voor op het traject langs de buitendam. Hier staan de schepen bloot aan van opzij invallende golven die over en door de dam komen. Dit probleem wordt ondervangen bij variant C_{NT} , waar de buitendam ondoorlatend is. De

resulterende golfhinder is hierdoor slechts weinig hoger dan bij de bestaande Maasvlakte. Deze kleine verhoging hangt dus niet zozeer samen met onvoldoende bescherming tegen zeegolven maar voornamelijk met het varen over grotere wateroppervlakten.

De Rijn- en Binnenvaart reglementen (1999) kent een lijst van (Europese) binnenwateren van het communautaire net ingedeeld in de Zones 1, 2, 3 en 4 (Binnenschepenbesluit, bijlage I). In Zone 2 vallen de kust- en de grote open binnenwateren zoals de Waddenzee, het IJsselmeer en de Zeeuwse wateren. In Zone 3 vallen de kleine open wateren zoals de Friese meren, de Randmeren en de brede rivieren en kanalen. Onder Zone 4 vallen de overige meest kleine wateren.

Het oostelijk deel van het Rotterdamse havengebied valt onder de kleine open wateren van Zone 3, maar het westelijke deel met de Nieuwe Waterweg en het Scheur, het Calandkanaal ten westen van de Beneluxhaven, het Breeddiep, het Beerkanaal en de op het Beerkanaal aansluitende havens vallen echter onder de grote open wateren van Zone 2.

Sommige binnenschepen varen dagelijks over de wateren uit Zone 2. Anderen vermijden deze vaargebieden en varen alleen in de wateren uit Zone 3. De golfhinder op de grote wateroppervlaktes in de verschillende varianten voor de uitbreiding van de Maasvlakte moet in deze context gezien worden.

Begrippenlijst

Downtime:	Hier: het percentage van de tijd dat binnenvaartschepen bij het varen over vooraf gedefinieerde trajecten bewegings- en sterkte-criteria overschrijden.
Denhoogte:	Hoogte van de den. Hoogte van de den ten opzichte van de wateroppervlakte wordt gebruikt bij het bepalen van de kans op overslag van water over de den in het ruim;
Boeghoogte	Hoogte van de boeg. Hoogte van de boeg ten opzichte van de wateroppervlakte wordt gebruikt bij het bepalen van de kans op overslag van water over de boeg op het voordek;
Buigendmoment:	De buigende momenten in het schip. Deze wordt gebruikt voor het bepalen van de kans op schade aan de romp;
Wringendmoment:	De wringende momenten in het schip. Deze wordt gebruikt voor het bepalen van de kans op schade aan de romp;
Koppeldraad:	Draden waarmee gekoppelde eenheden aan elkaar gekoppeld zijn. De spanningen in de koppeldraden zijn bij gekoppelde eenheden gebruikt voor het bepalen van de kans op het breken van draden.
H_s :	de significante golfhoogte - uitgerekend op basis van de energie in het golfspectrum. De simulaties van de golfcondities zijn uitgevoerd voor onregelmatige golven. Voor onregelmatige golven op diep water is deze golfhoogte ongeveer gelijk aan de gemiddelde hoogte van het 1/3 hoogste deel van alle individuele golven
T_p :	de spectrale piek periode, is gelijk aan $1/f_p$, waarbij f_p de frequentie is waarbij de energiedichtheid van het frequentie-spectrum van de golven maximaal is
s_p :	de golfsteilheid wordt gebruikt als een nominale waarde om de relatie tussen golfhoogte en periode weer te geven. Voor de doeleinden van het huidige project, wordt de steilheid gedefinieerd als $s_p = H_s / (1,56 * T_p^2)$. Voor een vaste spectrale vorm bestaat er wel een vaste relatie tussen deze steilheid en de daadwerkelijke steilheid van de golven. Deze relatie is echter niet van belang voor dit project.
Golfbinnendringing:	het resultaat van alle processen (bij voorbeeld refractie, diffractie) waarbij golven zich voortplanten in een afgeschermd gebied door een opening, bij voorbeeld tussen twee havenhoofden. In dit rapport wordt hieronder de effecten van transmissie door of over een golfbreker (zie hieronder) niet begrepen. Eveneens wordt groei door wind niet hieronder begrepen.
Golftransmissie:	een verschijnsel waarbij golven zich over en/of door een golfbreker voortplanten. De transmissie coëfficiënt is de verhouding tussen de golfhoogte aan de havenzijde van de golfbreker en die aan de zeezijde.
Refractie:	een verschijnsel waarbij de golfrichting draait in de richting van ondiep water. Dit veroorzaakt veelal een verlaging van de golfhoogte. Voor golven in een geul die in de richting van de geul lopen resulteert dit in een afname van golfenergie in de geul en in



- een verhoging langs de randen daar de golven de diepe geul uitdraaien naar de ondiepere omringende gebieden toe.
- Reflectie:** een verschijnsel waarbij de golven die naar een oever lopen worden weerkaatst. De voortplantingsrichting van de teruggekaatste golf wordt ten op zicht van de oorspronkelijke richting gespiegeld ter plaatse van de oever of kade. De hoogte van de teruggekaatste golf is maximaal gelijk zijn aan die van de inkomende golf (bijvoorbeeld bij een gladde verticale oever), maar meestal kleiner (partiële reflectie bij taluds).
- DiffRACTie:** een verschijnsel dat een rol speelt in gebieden waar er een sterke gradiënt in de golfhoogte optreedt. DiffRACTie vermindert deze gradiënten. De effecten van diffRACTie zijn over het algemeen alleen van betekenis binnen een paar golflengtes van een afscherpende constructie (bij voorbeeld een golfbreker) of in heel goed beschermde gebieden (golfhoogte minder dan 20 % van de hoogte bij de haven ingang).
- SWAN:** SWAN is een golfmodel dat de voortplanting van golven berekent en daarbij alle belangrijke golfverschijnselen modelleert (zie hoofdstuk 3.1.3).



Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding.....	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Contract en bemanning	1
1.3	Doel van de studie	2
1.4	Aanpak	2
1.4.1	Voorstudies	2
1.4.2	Modelberekeningen	3
1.4.3	Downtime-berekeningen	3
1.4.4	Varianten, scheepstypes en responsies	3
2	Praktijkwaarnemingen binnenvaart.....	4
2.1	Doel en werkwijze	4
2.1.1	Vragenlijst	4
2.1.2	Selectie schippers	4
2.1.3	Interviews	4
2.2	Resultaten	5
2.2.1	Gegevens schepen	5
2.2.2	Omstandigheden die de vaart beperken	5
2.2.3	Maatregelen om langer door te kunnen varen	5
2.2.4	Keuze vaarroute naar de Maasvlakte	6
2.2.5	Kritieke trajecten in de huidige Maasvlakte	7
2.2.6	Kritieke trajecten in andere vaarroutes	8
2.2.7	Vaartrajecten naar Maasvlakte 2	9
2.3	Slotopmerkingen praktijkwaarnemingen	11
3	Bepaling golfcondities.....	12
3.1	Inleiding golfberekeningen	12
3.1.1	Verschuiven en definities	12
3.1.2	Probleemstelling	13
3.1.3	Aanpak	13
3.1.4	Golfmodel SWAN	15
3.2	Vergelijking SWAN en MIKE21BW	15
3.2.1	Bespreking resultaten	17
3.2.2	Samenvatting en conclusies vergelijking SWAN-MIKE	18
3.3	Swan berekeningen varianten T0, A, B en C	19
3.3.1	Opzet golfberekeningen	19
3.3.2	Randvoorwaarden	21
3.3.3	Uitvoer	22



4	Scheepsresponsie.....	24
4.1	Inleiding	24
4.2	Faalmechanismen	24
4.2.1	Enkelvoudige schepen	24
4.2.2	Gekoppelde eenheden	25
4.3	Beschrijving van software	26
4.3.1	DIFFRAC-3D en DBSNELH	26
4.3.2	SEAWAY	27
4.3.3	LIFSIM	27
4.4	Limiterende condities.	28
4.4.1	Water over de boeg	28
4.4.2	Water over de den	28
4.4.3	Buigende moment	28
4.4.4	Torsiemoment	29
4.4.5	Krachten in de koppeldraden	29
4.5	Simulaties	30
4.5.1	DIFFRAC-3D EN DBSNELH	30
4.5.2	SEAWAY	30
4.5.3	LIFSIM	31
4.6	Resultaten	31
5	Downtime	33
5.1	Definitie van downtime	33
5.2	Algemeen	34
5.3	Golfcondities in de varianten	36
5.3.1	Doordringing	36
5.3.2	Transmissie	37
5.3.3	Golfopwekking door wind	38
5.4	Scheepsresponsies	38
5.5	Verdeling van pieken	39
5.6	Faalkans over een traject	41
5.7	Aanvaardbare faalkans	41
5.8	Resultaten	42
5.8.1	Huidige situatie	43
5.8.2	Variant A	43
5.8.3	Variant B	44
5.8.4	Variant C	44
5.8.5	Variant C _{NT}	44
6	Conclusies	44

Referenties

Tabellen

Figuren

Bijlagen

Begrippenlijst

Lijst van tabellen

- 1.1 Samenvatting van bestudeerde scheepstypes
- 2.1 Praktijkwaarnemingen: kenmerken duwschip en duwbak
- 2.2 Praktijkwaarnemingen: kenmerken koppeling koppilverband
- 2.3 Praktijkwaarnemingen: kenmerken duwstel
- 3.1 Overzicht randvoorwaarden SWAN berekeningen
- 3.2 Reken-, bodem-, en uitvoerroosters SWAN berekeningen
- 4.1 Kenmerken van de bestudeerde binnenschepen en limiterende waarden voor de faalmechanismen
- 5.1 Vereenvoudigde illustratie van berekening van downtime voor een simulatie van drie dagen
- 5.2 Downtime voor elk scheepstype in elke variant - heenreis. Acceptabele faalkans = 1 %.
- 5.3 Aandeel van de verschillende golf-componenten (doordringing, transmissie en wind) in gevallen met downtime. Heenreis.
- 5.4 Dominantie van de verschillende faalmechanismen (in %) in geval van downtime. Heenreis
- 5.5 Downtime voor elk scheepstype in elke variant - terugreis. Acceptabele faalkans = 1 %.
- 5.6 Aandeel van de verschillende golf-componenten (doordringing, transmissie en wind) in gevallen met downtime. Terugreis.
- 5.7 Dominantie van de verschillende faalmechanismen (in %) in geval van downtime. Terugreis

Lijst van figuren

- 1.1 Maasvlakte 2 - Huidige situatie (T0), Situatieschets
- 1.2 Maasvlakte 2 - Variant A0, Situatieschets
- 1.3 Maasvlakte 2 - Variant B0, Situatieschets
- 1.4 Maasvlakte 2 - Variant C0, Situatieschets
- 1.5 Vorm van schepen - bovenaanzicht, profiel en belangrijke kenmerken

- 2.1 Maasvlakte 2 - Situatie T0, Kritieke punten langs de vaarroute
- 2.2 Maasvlakte 2 - Variant A0, Kritieke punten langs de vaarroute
- 2.3 Maasvlakte 2 - Variant B0, Kritieke punten langs de vaarroute
- 2.4 Maasvlakte 2 - Variant C0, Kritieke punten langs de vaarroute
- 2.5 Voorbeeld koppeling duwbak duwschip (principe schets)

- 3.1 Maasvlakte 2 - Situatie T0, Schematisatie
- 3.2 Maasvlakte 2 - Variant A0, Schematisatie
- 3.3 Maasvlakte 2 - Variant B0, Schematisatie
- 3.4 Maasvlakte 2 - Variant C0, Schematisatie
- 3.5 Maasvlakte 2 - Situatie T0, Schematisatie - Vaarroute
- 3.6 Maasvlakte 2 - Variant A0, Schematisatie - Vaarroute
- 3.7 Maasvlakte 2 - Variant B0, Schematisatie - Vaarroute
- 3.8 Maasvlakte 2 - Variant C0, Schematisatie - Vaarroute
- 3.9 Maasvlakte - Vergelijking MIKE21 - Waterstand: NAP +0,00 m,
Variatie in Significante golfhoogte in MIKE - geen transmissie
Golfhoogte: $H_s = 4,20$ m - richting: $300,0^\circ\text{N}$
- 3.10 Maasvlakte - Vergelijking MIKE21 - Waterstand: NAP +0,00 m,
SWAN Schematisatie - MIKE21 grid
- 3.11 Maasvlakte - Vergelijking MIKE21 - Waterstand: NAP +0,00 m,
Variatie in Significante golfhoogte in SWAN - geen transmissie
Golfhoogte: $H_s = 4,20$ m - richting: $300,0^\circ\text{N}$
- 3.12 Maasvlakte 2 - Schematisatie Zeegebied
Overzicht rekenroosters
- 3.13 Maasvlakte 2 - Situatie T0 - Golfbinnendringing door de havenmond (geen transmissie;
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $315,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +3,00 m
- 3.14 Maasvlakte 2 - Situatie T0 - Transmissie golfbrekers (havenmond dicht);
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $345,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m
- 3.15 Maasvlakte 2 - Situatie T0 - Golfgroei door Wind;
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $U_{10} = 21,6$ m/s - richting: $315,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m
- 3.16 Maasvlakte 2 - Variant A0 - Golfbinnendringing door de havenmond (geen transmissie;
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $300,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +3,00 m
- 3.17 Maasvlakte 2 - Variant A0 - Transmissie golfbrekers (havenmond dicht);
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $15,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m

- 3.18 Maasvlakte 2 - Variant A0 - Golfgroei door Wind;
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $U_{10} = 21,6$ m/s - richting: $225,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m
- 3.19 Maasvlakte 2 - Variant B0 - Golfbinnendringing door de havenmond (geen transmissie);
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $330,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +3,00 m
- 3.20 Maasvlakte 2 - Variant B0 - Transmissie golfbrekers (havenmond dicht);
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $345,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m
- 3.21 Maasvlakte 2 - Variant B0 - Golfgroei door Wind;
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $U_{10} = 21,6$ m/s - richting: $315,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m
- 3.22 Maasvlakte 2 - Variant C0 - Golfbinnendringing door de havenmond (geen transmissie)
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $315,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +3,00 m
- 3.23 Maasvlakte 2 - Variant C0 - Transmissie golfbrekers (havenmond dicht);
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $H_s = 5,50$ m - richting: $345,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m
- 3.24 Maasvlakte 2 - Variant C0 - Golfgroei door Wind;
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1;
Golfhoogte: $U_{10} = 21,6$ m/s - richting: $315,0^\circ\text{N}$ - Waterstand: NAP +1,00 m
- 3.25 Maasvlakte 2 - Golfroos op open zee;
Locatie Europlatform;
Periode 20-03-1985 t/m 31-12-1991
- 3.26 Maasvlakte 2 - Windroos bij Hoek van Holland;
Locatie Hoek van Holland;
Periode 20-03-1985 t/m 31-12-1991
- 3.27 Maasvlakte 2 - Situatie T0 - Golfroos vaarroute;
Mond Europahaven (P22);
Periode 20-03-1985 t/m 31-12-1991
- 3.28 Maasvlakte 2 - Variant A0 - Golfroos vaarroute;
Mond doorsteek MV1-MV2 (P43);
Periode 20-03-1985 t/m 31-12-1991
- 3.29 Maasvlakte 2 - Variant B0 - Golfroos vaarroute;
Mond doorsteek MV1-MV2 (P43);
Periode 20-03-1985 t/m 31-12-1991
- 3.30 Maasvlakte 2 - Variant C0 - Golfroos vaarroute;
Mond doorsteek MV1-MV2 (P43);
Periode 20-03-1985 t/m 31-12-1991
- 3.31 Maasvlakte 2 - Variant C_{NT} - Golfroos vaarroute;
Mond doorsteek MV1-MV2 (P43);
Periode 20-03-1985 t/m 31-12-1991
- 4.1 Verdeling van gewicht over de lengte van het Schip - Jowi
- 4.2 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de den. Spits en Kempenaar.
- 4.3 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de den. Dortmunder en Europaschip.
- 4.4 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de den. Groot Rijnschip en Duwbak.
- 4.5 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de den. Jowi.

- 4.6 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de boeg. Spits en Kempenaar.
- 4.7 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de boeg. Dortmunder en Europaschip.
- 4.8 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de boeg. Groot Rijnschip en Duwbak.
- 4.9 Relatieve waterbeweging ter plaatse van de boeg. Jowi.
- 4.10 Buigende momenten. Spits en Kempenaar.
- 4.11 Buigende momenten. Dortmunder en Europaschip.
- 4.12 Buigende momenten. Groot Rijnschip en Duwbak.
- 4.13 Buigende momenten. Jowi.
- 4.14 Torsie momenten. Spits en Kempenaar.
- 4.15 Torsie momenten. Dortmunder en Europaschip.
- 4.16 Torsie momenten. Groot Rijnschip en Duwbak.
- 4.17 Torsie momenten. Jowi.

- 5.1 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Huidige situatie. Heenreis
- 5.2 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant A. Heenreis
- 5.3 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant B. Heenreis
- 5.4 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant C. Heenreis
- 5.5 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant C_{NT} . Heenreis .
- 5.6 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Huidige situatie. Terugreis
- 5.7 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant A. Terugreis
- 5.8 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant B. Terugreis
- 5.9 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant C. Terugreis
- 5.10 Variatie in voorspelde downtime met acceptabele faalkans. Variant C_{NT} . Terugreis
- 5.11 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Huidige situatie. Heenreis
- 5.12 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant A. Heenreis
- 5.13 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant B. Heenreis
- 5.14 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant C. Heenreis
- 5.15 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant C_{NT} . Heenreis
- 5.16 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Huidige situatie. Terugreis
- 5.17 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant A. Terugreis
- 5.18 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant B. Terugreis
- 5.19 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant C. Terugreis
- 5.20 Gemiddelde faalkans in geval van downtime voor elke deeltraject. Variant C_{NT} . Terugreis

- 6.1 Voorgestelde aanpassing van variant A0. Situatieschets
- 6.2 Voorgestelde aanpassing van variant A0. Detailschets
- 6.3 Mogelijke additionele aanpassing van variant A0 met strijklengte reductie. Situatieschets
- 6.4 Mogelijke additionele aanpassing van variant A0 met strijklengte reductie. Detailschets



Lijst van bijlagen

Bijlage A Vragenlijst Interviews binnenschippers

Bijlage B Tijdsdomein simulaties voor duwstel en koppelverband

Bijlage C Berekening weerstandsmomenten binnenvaartschepen t.b.v. 2^e Maasvlakte

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het kader van de ontwikkeling van de Tweede Maasvlakte onderzoekt het Samenwerkingsverband Maasvlakte (SM²V) de toegankelijkheid van de uitbreiding voor binnenvaartschepen. In het kader van dit onderzoek is middels een golfdoordringingsstudie (*Golfdoordringingsonderzoek Maasvlakte 2, Alkyon, 1999a*) bepaald wat de downtime voor de binnenvaart is voor een aantal ontwikkelingsvarianten. De resultaten van dit onderzoek gaven aanleiding om nauwkeuriger te kijken naar de gehanteerde limiterende golfhoogte voor binnenvaartschepen (zie ook *Maatgevende golfcondities voor de binnenvaart, Alkyon, 1999b*) welke gebaseerd waren op onderzoek uit 1985 (*Centrale Maasvlakte, Waterloopkundig Laboratorium, 1985*).

In het bijzonder is het nodig om de respons van de schepen op lokaal opgewekte korte golven nauwkeuriger te bepalen. Uit het golfdoordringingsonderzoek (Alkyon, 1999a) bleek namelijk dat deze in de haven opgewekte golven de grootste bijdrage leverden aan de downtime.

Bij de bepaling van de respons van de schepen op deze golven moet met name gekeken worden naar:

- de golfinvalshoek en -periode
- de hedendaagse scheepsmaten en constructies

Dit rapport geeft achtergrond informatie over een onderzoek naar deze aspecten voor vier varianten van de uitbreiding van de Maasvlakte (Maasvlakte 2) alsmede voor de huidige situatie. De resultaten van het onderzoek voor de huidige situatie dienen als referentie.

Het onderzoek omvat het bepalen van de respons in golven voor een aantal types binnenvaartschepen en het berekenen van de downtime voor die schepen. Met downtime wordt hier het percentage van de tijd bedoeld dat binnenvaartschepen bij het varen over vooraf gedefinieerde trajecten bewegings- en sterktecriteria overschrijden.

De rapportage van deze studie bestaat uit twee delen: het eerste deel omvat een samenvatting met de belangrijkste resultaten, een bespreking daarvan en conclusies. Het tweede deel omvat de technische details van de studies. Dit rapport is het tweede deel.

1.2 Contract en bemanning

In contract MMON016 van 11 oktober 1999, verleende SM²V opdracht aan Alkyon voor het uitvoeren van de werkzaamheden beschreven in Alkyon's offerte van 10 september 1999, ref. A468le02. In de e-mail van 28 december 1999 verleende SM²V opdracht aan Alkyon voor het uitvoeren van meerwerk om de effecten van de voorwaartse snelheid op de interne belastingen te bestuderen, conform Alkyon's offerte van 21 december, ref. A468fx16. Een tweede opdracht voor meerwerk werd verleend op 21 maart 2000, conform offerte ref. A468emj02 van 16 maart 2000. Een derde opdracht voor meerwerk werd verleend op 19 mei 2000 conform offerte ref. A468fx24, van 19 mei, 2000.

Het onderzoek is door Alkyon uitgevoerd met de volgende projectbemanning:

ir. I. Onassis	projectleiding, scheepsbewegingen, analyse,
ir. J.J. Veldman	interviews binnenschippers, golfmodellering,
D.P. Hurdle (M.Sc.)	downtime-analyse en -statistiek, analyse en rapportage,
ir. M. Onderwater	downtime-analyse,
Ir. F.C. Vis	kwaliteitscontrole.

De bewegingen en lijnkrachten in de bestudeerde, gekoppelde eenheden zijn uitgerekend door MARIN met het software pakket LIFSIM. De volgende personen van MARIN zijn betrokken bij het project:

Ir. B. Buchner	projectleiding
Ir. R. van der Wal	projectuitvoering
Ir. A. van Dijk	LIFSIM berekeningen.

De limiterende buigende momenten in de schepen zijn berekend door Intersona. De projectleider bij Intersona was Ir. C.J. Hollander.

1.3 Doel van de studie

Het doel van het onderzoek is om voor een aantal type binnenschepen te bepalen welke downtime met betrekking tot de toegankelijkheid moet worden verwacht voor de huidige situatie en voor vier varianten van de havenuitbreiding.

Voor een definitie van de varianten, de scheepstypes en de aspecten van het gedrag van schepen in golven die hinder en downtime kunnen geven, wordt verwezen naar paragraaf 1.4.4.

Verder is het doel om per variant en per scheepstype de specifieke gebieden te identificeren welke het meest kritisch zijn alsmede het meest voorkomende probleem veroorzaakt door de golven.

1.4 Aanpak

De volgende activiteiten zijn uitgevoerd om de golfhinder bij de verschillende varianten vast te stellen:

1.4.1 Voorstudies

Deze omvatten het verzamelen van informatie en gegevens nodig om de berekeningen goed uit te voeren. Te weten:

- Het interviewen van een aantal binnenschippers om vast te stellen welke situaties kritisch zijn voor varende binnenschepen. Deze activiteit geeft waardevolle informatie voor het vaststellen van vaartrajecten, het identificeren van kritische faalmechanismen en bij de controle op de berekeningen;
- Definieren van vaartrajecten voor de huidige situatie en voor elk van de beschouwde varianten. Het definiëren van uitvoerpunten langs deze trajecten. Op de uitvoerpunten worden tijdseries van golfcondities afgeleid.
- Vaststellen van criteria voor elke scheepsrespons.

1.4.2 Modelberekeningen

Het doel van de modelberekeningen is het gedrag van de binnenschepen te simuleren op vaartrajecten naar en op de Maasvlakte voor een representatieve periode van 5 jaar. Dit is uitgevoerd voor de huidige situatie (MVI) en in drie situaties met MV2-varianten. De volgende activiteiten zijn uitgevoerd:

- Golfberekeningen voor elk van de varianten om de golfcondities voor elk alternatief te voorspellen op basis van golfmetingen (Europlatform), windmetingen (Hoek van Holland) en waterstandsmetingen (Hoek van Holland). Op ieder punt langs de verschillende vaartrajecten resulteert dit in een tijdserie van golfcondities ten gevolge van plaatselijke opwekking door wind, transmissie over de Noorderdam en andere dammen en doordringing in de haveningang.
- Simulatie van scheepsbewegingen en diverse krachten voor een aantal combinaties van golfhoogte, -periode en -richting voor varende binnenschepen.

1.4.3 Downtime-berekeningen

Op basis van de resultaten van de modelberekeningen zijn tijdseries gemaakt van de scheepsresponsies. Op basis hiervan is de downtime als volgt berekend:

- Vaststellen van de faalkans voor elk beschouwd type schip in elke variant en voor elk tijdstip in de tijdreeks van 5 jaar. De faalkans is de totale kans dat tenminste één van de criteria wordt overschreden over het hele traject. Als deze faalkans te hoog is, zal er niet gevaren worden, wat zich uit in een bijdrage aan de downtime.
- Bij elk tijdstip in de tijdserie noteren of er downtime is en welke golven en scheepsresponsies een bijdrage hieraan leveren;
- Analyse van de resulterende tijdserie om het totale percentage downtime uit te rekenen voor elk schip bij ieder alternatief en het vaststellen van de oorzaken ervan.

1.4.4 Varianten, scheepstypes en responsies

De huidige situatie en de varianten A t/m C zijn weergegeven in Figuren 1.01 t/m 1.04. Deze varianten worden ook "de basis varianten" genoemd. In een latere fase is een vierde variant toegevoegd, Variant C_{NT} ($C_{NT} = C$ met Nul Transmissie) die gelijk is aan variant C maar waarbij de westelijke buitendam geen golven doorlaat. Dit verschil behoeft geen additionele golfberekeningen en kon worden meegenomen in de nabewerking. Variant C_{NT} is ook niet expliciet meegenomen in de interviews met de binnenschippers.

Een samenvatting van de bestudeerde scheepstypes wordt weergegeven in Tabel 1.1.

De volgende responsies zijn geanalyseerd:

- Hoogte van de den ten opzichte van de wateroppervlakte (kans op water in het ruim);
- Hoogte van de boeg ten opzichte van de wateroppervlakte (kans op overnemen van water over de boeg);
- De buigende momenten in het schip (kans op schade aan de romp);
- De wringende momenten in het schip (kans op schade aan de romp);
- De spanningen in de koppeldraden gebruikt bij gekoppelde eenheden (kans op het breken van draden).

2 Praktijkwaarnemingen binnenvaart

2.1 Doel en werkwijze

In de aanzet van de studie is een beperkt aantal schippers geïnterviewd. Hun praktijkwaarnemingen van het scheepsgedrag in golven dienen als achtergrond voor het beoordelen van de uiteindelijke berekeningsresultaten.

2.1.1 Vragenlijst

Voor de praktijkwaarnemingen is een vragenlijst gemaakt. De vragenlijst bevat een aantal onderdelen, zoals vragen over zeewaardigheid, kritieke situaties in de huidige Maasvlakte, in de varianten A, B, en C voor Maasvlakte 2 en specifieke vragen over de verbinding tussen gekoppelde eenheden (koppelverbanden en duwvaart).

Het concept van de vragenlijst is voorgelegd aan de opdrachtgever (dhr J. Stolk van AVV en dhr. J. Groenewold van de begeleidingsgroep vanuit de binnenvaart). De suggesties en opmerkingen zijn vervolgens verwerkt in de vragenlijst. De interviews zijn uitgevoerd aan de hand van de definitieve vragenlijst als weergegeven in Bijlage A.

2.1.2 Selectie schippers

In totaal zijn er vijf schippers geïnterviewd: vier schippers van een koppelverband (duwschip met duwbak) en een schipper van een duweenheid (duwboot met duwbakken). De vier schippers van een koppelverband hebben ook ervaring met enkelvoudige binnenschepen. De geïnterviewde schippers zijn voorgedragen door de opdrachtgever en de begeleidingsgroep vanuit de binnenvaart, waarbij men heeft gestreefd naar een zo groot mogelijke spreiding van vaargebieden, scheepsafmetingen en ervaringen, zonder en met gekoppelde eenheden.

2.1.3 Interviews

De interviews zijn afgenomen in de periode december 1999 t/m maart 2000. Elk interview duurde ongeveer twee uur. De interviews verliepen min of meer volgens hetzelfde stramien, waarbij de volgende onderwerpen aan bod kwamen:

1. inleiding, waarin doel en achtergrond van de interviews worden uitgelegd;
2. invullen: Naam schipper en basiskenmerken van zijn schip;
3. besluitvormingsproces met betrekking tot het varen naar de Maasvlakte (of een andere plaats waar zeewaardigheid van belang is);
4. kritieke (maatgevende) situaties voor de binnenvaart in de huidige Maasvlakte (en elders waar zeewaardigheid van belang is);
5. kritieke (maatgevende) situaties voor de binnenvaart in drie basis varianten voor de tweede Maasvlakte;
6. gegevens van het schip (kenmerkende afmetingen); en
7. vragen met betrekking tot de verbinding tussen de eenheden van het koppelverband.

In het kader van het interview werd de schipper gevraagd de vaarroute voor de bestaande situatie (T0) en de drie basis varianten (A, B en C) in de kaarten in te tekenen, en aan te geven op welke posities de situatie het meest kritiek is of wordt verwacht. Ook werd de schipper verzocht om de wijze waarop de eenheden gebruikelijk gekoppeld zijn weer te geven in een schets en daarbij de karakteristieke maten, zoals de lengte van de koppelingsdraden en de afstanden tussen de bolders, te vermelden.

2.2 Resultaten

In deze paragraaf zijn de resultaten van de interviews per onderwerp weergegeven. Op sommige aspecten zijn de praktijkwaarnemingen afhankelijk van het type schip of hebben niet alle schippers dezelfde ervaring. Waar dit van belang is voor de resultaten is dit aangegeven.

2.2.1 Gegevens schepen

De afmetingen en belangrijkste kenmerken van de duwschepen, de duwbakken en de koppeling tussen schip en bak zijn weergegeven in tabel 2.1 en 2.2 en van de duwboot met vier bakken in tabel 2.3. In figuur 2.5 is een voorbeeld gegeven van de koppeling van een duwbak.

2.2.2 Omstandigheden die de vaart beperken

De schippers werd gevraagd aan te geven welke omstandigheden er de oorzaak van kunnen zijn dat men niet veilig verder kan varen. Dit zowel voor de Maasvlakte als voor andere vaarwateren.

Als belangrijkste beperking werd meestal de windkracht en richting genoemd. Doorvragen leerde echter dat het alleen in bijzondere situaties ook echt om de windhinder ging. Meestal bedoelde men impliciet de door een bepaalde windkracht en richting veroorzaakte golfhinder.

Daarmee werd dan ook meteen de belangrijkste reden genoemd die de vaart beperkt: de golfslag, en dan met name golven die van opzij inkomen. Golven op de kop worden minder snel als kritiek ervaren. Sommige schippers zeiden dat de kritieke golfhoogte voor golven op de kop 1,5 á 2 maal zo groot is als voor van opzij inkomende golven. Verder werd met betrekking tot de golfhinder genoemd dat korte en steile golven (zoals op het IJsselmeer) veel meer buiswater en golfoverslag tot gevolg hebben dan lange deiningsgolven.

Andere bronnen van golfhinder vormen de door schepen opgewekte golven. Dit betreft vooral de snelle patrouillevaartuigen, los varende havensleepboten en snelle zeegaande veerboten (ferries). Men ondervindt echter ook hinder van de middelgrote en kleine zeevaart op doorvaart naar de landinwaarts gelegen havens. Vooral onder moeilijke omstandigheden kunnen deze door schepen opgewekte golven er voor zorgen dat bepaalde kritieke grenzen worden overschreden.

2.2.3 Maatregelen om langer door te kunnen varen

Onder moeilijke omstandigheden kan de schipper maatregelen nemen die de zeewaardigheid van zijn schip vergroten. De te nemen maatregelen zijn sterk afhankelijk van het type schip, het type lading en de beladingsgraad. Zo zijn er bij afgeladen, open schepen zonder luiken weinig mogelijkheden om de golfoverslag over de den te beperken, terwijl er bij half beladen (container-) schepen nauwelijks noodzaak toe is. Bij diep geladen schepen met luiken werden de luiken extra geborgd en afgedekt met dekkleden. Ook hebben sommige schepen voorzieningen om de ramen en deuren extra af te dekken.

De wijze waarop een duwbak met stalen draden aan een duwboot of duwbak wordt gekoppeld, is min of meer standaard. De schipper van de duwboot zei het aantal draden te laten afhangen van het tonnage in de bakken en de lengte van het vaartraject waarbij veiligheid en manoeuvreerbaarheid de maatstaven vormen. Sommige schippers van de

koppelverbanden vertelden onder zeer ongunstige omstandigheden extra voorzieningen te treffen.

De aard van de extra voorzieningen verschilde nogal. Een schipper zette hetzelfde aantal draden over een wat grotere lengte (4 tot 5 m in plaats van 2 tot 3 m tussen de bevestigingspunten); een ander zette aan weerszijden één draad (in plaats van drie) maar dan over een veel grotere (15 m in plaats van 3 tot 4 m) afstand. Het over een grotere afstand zetten van de draden vergroot de elasticiteit van de verbinding. Hierdoor neemt de beweging van de bakken ten opzichte van elkaar wel toe, maar, wat belangrijker is, nemen de krachten in de draden af.

Een schipper bracht tussen de kop van het duwschip en de bak wrijfhouten aan. Hiermee bracht hij het scharnierpunt tussen bak en schip naar boven, waardoor het scharnierpunt vlak onder het niveau van de koppeldraden kwam te liggen. Dit heeft tot gevolg dat de relatieve stamp bewegingen niet tot grote verlenging van de draden leiden. Tevens brengt een wrijfhout enige elasticiteit in de verbinding. Fluctuaties van de krachten in de koppeldraden ten gevolge van dompen van bak en schip worden hierdoor beperkt. Deze maatregel werkt beter bij korte schepen dan bij lange schepen.

Alle schippers gaven aan dat verminderen van de vaarsnelheid de golfoverslag vermindert.

De schippers van de koppelverbanden gaven aan dat de relatieve beweging tussen duwschip en duwbak vermindert als de kop in de wind (golf) wordt gehouden. Ook vermindert dan de golfoverslag over de den. In verband met de overige vaart is het echter lang niet overal mogelijk om de kop in de wind te houden.

2.2.4 Keuze vaarroute naar de Maasvlakte

Voor de vaart naar de Maasvlakte kan de schipper uit verschillende routes kiezen, bij voorbeeld zuidelijk via de Oude Maas en het Hartelkanaal of noordelijk via de Nieuwe Maas, de Nieuwe Waterweg en het Beerkanaal of combinaties van beide routes. Een voorbeeld van zo'n combinatie is via Oude Maas, Hartelkanaal, Rozenburgsesluis, Calandkanaal en Beerkanaal.

Voor de noordelijke route geldt de beperking dat gekoppelde eenheden niet door het (smalle) Breeddiep mogen. Koppelverbanden en overige duwvaart die via de Nieuwe Waterweg naar de Maasvlakte varen worden daardoor gedwongen om nog 3,5 km door te varen en de Splitsingsdam te ronden.

In het algemeen kiest de schipper voor de route met de kortste vaartijd. De vaartijd wordt bepaald door de getijfase en de plaats van bestemming in de Maasvlakte (bij voorbeeld Amazonehaven of Hartelhaven). Zo is voor schepen vanuit de Nieuwe Maas met bestemming Amazonehaven de route via de Nieuwe Waterweg ongeveer een uur korter dan de route via het Hartelkanaal. Voor schepen met bestemming Hartelhaven is het verschil veel kleiner.

De keuzevrijheid van de schipper wordt verder beperkt door de omgevingscondities zoals de windrichting en windkracht en de golfsituatie langs de vaarroute. De keuze tussen de noordelijke route (Nieuwe Waterweg) en de zuidelijke route (Hartelkanaal) wordt uiterlijk bij de Botlek/mond Hartelkanaal gemaakt. Afhankelijk van de vaarsnelheid van het schip en de getijfase bedraagt de vaartijd tot de Maasvlakte dan nog 1,5 tot 2,5 uur.

Sommige schippers kiezen, vanwege hun bestemming (Hartelhaven), altijd voor de zuidelijke route. Anderen maken elke reis opnieuw een keuze tussen de voor hen snellere noordelijke route en de zuidelijke route. Bij deze keuze spelen verschillende aspecten een rol. De belangrijkste zijn de eigen visuele waarneming, de (verwachte) weers- en windsituatie en de getijfase. Daarnaast spelen ook het type lading, de beladingsgraad, en de verdeling van de lading over het schip een rol in de afweging.

De informatiebronnen zijn: het weerbericht (radio/telex), de eigen visuele waarnemingen, een eigen windmeter, een vóór hen uit varende collegaschipper, de verkeersbegeleiding (verkeersposten), en soms ook wel eens het eigen bevrachtingskantoor.

De schipper neemt de beslissing altijd zelf, waarbij de wind, de windduur en de golven van doorslaggevend belang zijn. De getijfase beïnvloedt de golven in gunstige of ongunstige zin en is in die zin van secundair belang.

2.2.5 Kritieke trajecten in de huidige Maasvlakte

De vaarroute naar de Maasvlakte (zie Fig. 1.01) kent een aantal trajecten die als kritiek worden ervaren. Dit betreft zowel gedeelten van de route via de Nieuwe Waterweg als gedeelten van de route via het Hartelkanaal. Voor de kritieke trajecten konden de schippers meestal aangeven wat voor hun eigen schip de limiet was.

Noordroute via Nieuwe Waterweg

Gekoppelde eenheden mogen niet door het Breddiep. Koppilverbanden en de overige duwvaart die via de Nieuwe Waterweg naar de Maasvlakte varen worden daardoor gedwongen om bij het Breddiep nog 3,5 km door te varen en de Splitsingsdam te rondan. Bij het rondan van de westpunt van de Splitsingsdam, ontstaat er een situatie waarbij men korte tijd dwars op de uit zee komende golven komt te liggen. Deze vaak lange deining golven creëren een hele zware situatie en dit is dan ook het meest kritieke traject op deze route. Twee geïnterviewde schippers die ervaring hebben met deze route, gaven aan dat het bij 5 Bft (uit W en NW) nog net gaat, maar bij 6 Bft of meer niet meer. De optredende golfhoogte werd door de ene schipper geschat op 0,7 m en door de andere op ruim 1 m.

Voor het Duwstel met 2*2 bakken is het iets eerder kritiek dan voor een duwschip met een bak opzij. Voor beide geldt dat de naast elkaar gekoppelde eenheden tegengesteld gaan slingeren en dompen, waardoor de stalen dwarsdraden op het dek niveau (dreigen te) breken.

Een schipper, die enkele malen per week met containers naar de Maasvlakte vaart, vertelde dat hij ongeveer de helft van de keren vanwege de wind en golven gedwongen is via de zuidroute te varen.

Noordroute via Calandkanaal

Het meest kritieke punt in de route via het Calandkanaal (via Breddiep of Rozenburgse-sluis) is het punt waar Calandkanaal en Beerkanaal bij elkaar komen. Het koppilverband met containers zou hier langer kunnen doorvaren dan via de westpunt van de Splitsingsdam. Als deze schipper de kop in de wind kan houden zou hij zelfs tot 8 Bft door kunnen varen via deze route. Hiervoor moet hij dan wel eerst doorvaren richting Maasmond en vervolgens achter uit het Beerkanaal in. Dit betreft echter een zeer ongebruikelijke

manoeuvre die veel ruimte vereist. Deze manoeuvre is daardoor ook alleen mogelijk als de overige vaart (waaronder de zeevaart) dit toelaat.

Zuidroute via Hartelkanaal

In de zuidroute via het Hartelkanaal zit een aantal vervelende (kritieke) trajecten. Het meest kritieke traject is het gedeelte nabij de opening in de Beerdam. Bij wind uit noord- en noordwestelijke richtingen kan hier een vervelende korte golfslag ontstaan. Bij de schepen die van en naar de Hartelhaven varen komen deze golven van opzij in. Bij open en diep afgeladen schepen ontstaat hierdoor bij 9-10 Bft een kritiek traject. Overigens werd opgemerkt dat bij dergelijke windsnelheden de overslag van lading ook gehinderd wordt en soms moet worden gestaakt.

Verder zijn er ook algemene opmerkingen geplaatst over deze route. Deze opmerkingen staan los van de golfproblematiek. Een kritiek punt is de plotselinge verbreding en verdieping van het Hartelkanaal bij de mond van de Dintelhaven. Bij hoogwater staat er in het nauwe gedeelte bij de Suurhoffbrug een zeer sterke vloedstroom. In de verbreding bij de mond van de Dintelhaven is er vervolgens een plotselinge stroomverlamming, waardoor de snelheid van het schip ten opzichte van het omringende water plotseling zeer sterk toeneemt. Het resultaat is een sterke en zeer plotselinge toename van de hoogte van de boeggolf.

De schipper moet daarom ruim van tevoren vaart minderen. Een schipper vertelde dat hij hier de eerste keer niet voldoende op bedacht was en dat het resulteerde in een boeggolf die het complete voorschip overspoelde.

Voor schippers die ter plaatse goed bekend zijn, is het vooral een lastige situatie.

Anderen, die ter plaatse minder goed bekend zijn, kunnen er door worden overrompeld waardoor er een gevaarlijke situatie kan ontstaan.

Tenslotte werd nog gemeld dat de capaciteit van het Hartelkanaal onvoldoende is. Op de smalle gedeeltes is het voor de containerschepen vaak onmogelijk om een langzamer varende 4-baks duwcombinatie voor bij te varen. Tenslotte werd nog genoemd dat de beperkte vaarbreedte bij met name de Suurhoffbrug bij het passeren van tegenliggers tot gevaarlijke situaties kan leiden. Vooral als er ook nog een sterke getijstroom staat.

2.2.6 Kritieke trajecten in andere vaarroutes

Het identificeren van kritieke trajecten elders in Nederland kan nuttige achtergrond informatie opleveren, bij voorbeeld over de kritische wind- en golfcondities voor binnenschepen bij grotere wateroppervlaktes.

Genoemde kritische routes zijn o.a. het IJsselmeer, en enkele trajecten in het Deltagebied. Dit laatste betrof de volgende trajecten: van de Moerdijk tot en met het Volkerak, de oversteek van Wemeldinge naar Zijpe, en de Westerschelde. De laatste twee trajecten vormen vooral een probleem bij hoog water, als de golven over de platen komen.

IJsselmeer

Slechts één schipper meldde ervaring te hebben met een koppelverband op het IJsselmeer. Hij voer op het traject Amsterdam - Lelystad. Bij een windkracht 8-9 uit het noordwesten werd de situatie kritiek omdat hierbij de golven van opzij inkwamen. Schip en bak maakten onafhankelijke (tegengestelde) slingerbewegingen wat uiteindelijk ertoe leidde dat (een deel) van de koppeldraden bezweek.

Hollandsch Diep - Volkerak

Een schipper van een open schip (zonder luiken) meldde dat er op dit traject voor hem een kritieke situatie ontstaat bij windkracht 6-7 uit westelijke richting. De kritieke situatie ontstaat met name als hij afvarend is en er bij het afgeladen schip (te veel) water over de den slaat. Bij een leeg (of half geladen schip) treedt dit probleem niet zo snel op en kan er langer worden doorgevaren.

Oosterschelde: Wemeldinge - Zijpe

Een schipper van een koppelverband meldde op het traject Wemeldinge-Zijpe bij windkracht 7-8 uit het zuidwesten even buiten de voorhaven te zijn gekeerd (29 januari 2000 om 10:00 uur). Het was op dat moment hoogwater. Vier en een half uur later waren de platen weer droog en kon de reis met de beschutting van de platen worden voortgezet. Als de platen droog zijn, kunnen golven van buiten niet binnendringen. Tevens zijn dan de strijklengtes kort waardoor de golfhoogte van lokaal opgewekte golven beperkt is.

Westerschelde

Diverse schippers meldden voor de Westerschelde verwaaid te hebben gelegen (d.w.z. in afwachting van betere weersomstandigheden beschutting te hebben gezocht in een beschermde omgeving, bij voorbeeld een haven). Op de Westerschelde vormt, naast de door de wind opgewekte golven, de door de zeevaart opgewekte golfslag een extra probleem. Tot windkracht 4-5 kunnen alle schepen onafhankelijk van de getijsituatie varen. Open en afgeladen schepen kunnen bij windkracht 6-7 alleen nog bij laagwater varen.

- Een schipper met een koppelverband met luiken meldde dat het voor hem bij de Sloehaven met West 7 over de eb kritiek wordt.

Een andere schipper meldde dat hij met zijn schip (zonder duwbak) bij laagwater met windkracht 10 nog net van Vlissingen naar Hansweert kon varen.

2.2.7 Vaarttrajecten naar Maasvlakte 2

- Voor dit onderdeel werd aan de vier schippers van de koppelverbanden de tekeningen van de varianten A, B en C voorgelegd. Vervolgens werd gevraagd om in elk van de varianten de route te schetsen die zij zouden volgen op weg naar de nieuwe havens. Tenslotte werd verzocht om langs de vaarroutes de kritieke punten aan te geven.

De routes, zoals aangegeven door de schippers kwamen redelijk met elkaar overeen. De in de berekeningen gehanteerde vaarttrajecten (figuren 3.05 t/m 3.08) zijn representatief voor de door de schippers getekende routes.

Variant A (zie fig. 1.02)

Alle vier de schippers gaven op deze route twee kritieke trajecten aan: de opening in de Beerdam en het westelijk uiteinde van de doorsteek naar de 2e Maasvlakte.

Bij de opening van de Beerdam is het vooral de door wind uit noordelijke en noordwestelijke richtingen binnen de haven opgewekte golfslag, die voor problemen zorgt. Deze korte golfslag is vooral een probleem voor diep afgeladen schepen met een open ruim (zonder luiken). Deze opmerking kwam ook al bij de bestaande situatie (T0) naar voren en geldt ook voor de andere varianten.

Bij het westelijk uiteinde van de doorsteek verwacht men dat de deining van zee problemen kan geven. Op dit traject heeft men de golven over enige afstand van opzij, waardoor het schip sterk kan gaan slingeren. Dit laatste is vooral voor de duwvaart

(inclusief de koppilverbanden) een probleem. Sommige schippers willen als bescherming tegen de golfslag graag een gedeelte van de bestaande Zuiderdam handhaven. Anderen willen bij voorkeur direct rechtdoor varen en snel oversteken naar de westelijke oever.

Variant B (zie fig. 1.03)

Bij deze variant geven de schippers dezelfde kritieke trajecten en problemen aan als bij variant A. Wel verwachten de schippers, dat in deze variant de kritieke situaties vaker bereikt worden dan in variant A.

Bij de opening in de Beerdam verwacht men een iets ongunstiger situatie omdat de mond van het Beerkanaal in variant B ruimer is.

Bij het uiteinde van de doorsteek in variant B verwacht men hogere golven, omdat bij variant B de Maasmond dichter bij ligt.

Verder verwacht men meer hinder van de zeevaart en de vrij varende havensleepboten in de doorsteek. Hierdoor zullen meer gevaarlijke situaties ontstaan. Van de havenslepers verwacht men vooral hinder van de door hen opgewekte golven.

Als voordeel van variant B wordt aangemerkt dat er geen brug is over de doorsteek naar de tweede Maasvlakte.

Variant C (zie fig. 1.04)

Variant C wijkt enigszins af van de varianten A en B, omdat er geen aparte ingang voor de zeevaart is voorzien naar de tweede Maasvlakte. Wel wordt de mond van het Beerkanaal flink verruimd. Door deze verruiming verwachten de schippers extra golf-groei op het Beerkanaal en ook toename van de deining vanuit zee. Men verwacht dat dit resulteert in een toename van de golfhinder op het vaartraject door het Beerkanaal en op het kritieke traject bij de opening in de Beerdam.

Doordat er in deze variant gekozen is voor één gezamenlijke toegang tot de Maasvlakte 2 zullen zee- en binnenvaart voor een deel van dezelfde vaarroute gebruik moeten maken. Men verwacht hierdoor meer beperkingen bij het kiezen van de vaarroute en extra hinder van de door de havenslepers opgewekte golven.

Verder merkte men op, dat er door golfoverslag over de nieuwe zuidelijke havendam (bij toepassing van dezelfde blokken en kruinhoogte als voor de huidige zuiderdam) een kritieke situatie kan ontstaan bij de mond van de doorsteek.

Zone indeling binnenwateren

De Rijn- en Binnenvaart reglementen (1999) kennen een lijst van (Europese) binnenwateren. In bijlage 1 van het hier bijbehorende Binnenschepenbesluit is een lijst opgenomen van het communautaire van binnenwateren, ingedeeld in de Zones 1, 2, 3 en 4. De indeling van deze wateren is gebaseerd op richtlijn 82/714.EEG en vastgesteld op grond van de voorkomende golfhoogtes.

De betreffende golfhoogtes zijn vastgelegd in het ECE document TRANS/SC.3/104/Add.2 en zijn als volgt geclassificeerd:

- Zone 1 $H_{1/10} > 1,2$ m, maar $H_{1/10} < 2,0$ m
- Zone 2 $H_{1/10} > 0,6$ m, maar $H_{1/10} < 1,2$ m
- Zone 3 $H_{1/10} < 0,6$ m
- Zone 4 geen opgave van golfhoogte.

Voor de Nederlandse binnenwateren zijn alleen de Zones 2, 3 en 4 van toepassing:

Onder Zone 2 vallen de kust- en de grote open binnenwateren zoals de Waddenzee, het IJsselmeer en de Zeeuwse wateren.

Van het Rotterdamse haven gebied valt het westelijke deel met: de Nieuwe Waterweg en het Scheur, het Calandkanaal ten westen van de Beneluxhaven, het Breëddiep, het

Beerkanaal en de op het Beerkanaal aansluitende havens onder de grote open wateren van Zone 2.

Onder Zone 3 vallen de kleine open wateren zoals de Friese meren, de Randmeren en de brede rivieren en kanalen.

Van het Rotterdamse havengebied valt het oostelijk deel met: Havengebied van Rotterdam, Europoort, Calandkanaal en Hartelkanaal en de Nieuwe Maas, onder de kleine open wateren van Zone 3

Onder Zone 4 vallen de overige meest kleine wateren.

Alle binnenschepen zijn op grond van het Communautaire certificaat dan wel het aanvullend Rijnvaartcertificaat geschikt om de wateren van de zones 2 en 3 te bevaren.

De zone indeling is tot stand gekomen op basis van de golfhoogte $H_{1/10}$ (1/10 hoogste golven, top/dal) die gedurende 5% van de tijd wordt overschreden.

De in dit rapport gebruikte significante golfhoogte H_s is echter lager dan de bij de zone indeling gehanteerde $H_{1/10}$. (H_s is gebaseerd op de 1/3 hoogste golven). De verhouding tussen $H_{1/10}$ (gemiddelde 1/10 hoogste golven) en H_s (gemiddelde 1/3 hoogste golven) bedraagt voor standaard spectra met Rayleigh golfhoogte verdeling: $H_{1/10} = 1,271 * H_s$. In termen van H_s wordt de zone indeling dan:

- Zone 1 $H_s > 0,94$ m, maar $H_s < 1,57$ m
- Zone 2 $H_s > 0,47$ m, maar $H_s < 0,94$ m
- Zone 3 $H_s < 0,47$ m
- Zone 4 geen opgave van golfhoogte.

Sommige binnenschepen varen dagelijks over de wateren uit Zone 2. Anderen vermijden havens in Zone 2 zoals Vlissingen en Terneuzen aan de Westerschelde en bestemmingen in het noorden van Nederland als ze daarbij het IJsselmeer of de Waddenzee moeten oversteken. Deze schippers nemen alleen vracht aan voor bestemmingen waarbij ze niet over de grote open wateren van Zone 2 behoeven te varen. De golfhinder voor de binnenvaart op de grote wateroppervlaktes in de verschillende varianten voor de uitbreiding van de Maasvlakte moet in deze context worden gezien.

2.3 Slotopmerkingen praktijkwaarnemingen

De interviews verliepen op een prettige wijze. De schippers waren geïnteresseerd in het onderwerp en enthousiast om mee te werken aan het interview. De bekendheid van de interviewer met de binnenvaart en de binnenvaartterminologie werd door de schippers op prijs gesteld.

De persoonlijke ervaring en verhalen over situaties waarbij het net (niet) mis ging, leverden unieke informatie op. Deze informatie is waardevol voor het beschrijven van de kritieke (maatgevende situatie). Voor enkele van deze situaties kan een directe vergelijking worden gemaakt met de berekende scheepsresponsie in de huidige Maasvlakte. Deze vergelijking wordt beschreven in de hoofdstukken die de berekening van de scheepsrespons en de downtime beschrijven (Hoofdstukken 4 en 5).

3 Bepaling golfcondities

3.1 Inleiding golfberekeningen

De toegankelijkheid voor binnenvaart is een belangrijke voorwaarde voor de uitbreiding van de Maasvlakte. Bij uitbreiding naar het westen komt de vaarroute naar de Maasvlakte kort bij de open zee te liggen. Dit heeft consequenties voor de golfhinder op de vaarroute voor de binnenvaart.

In deze studie zijn in eerste instantie de drie ontwerp-varianten (A, B, en C) voor de uitbreiding van de Maasvlakte onderzocht. In een later stadium zijn hier nog referentieberekeningen voor de bestaande situatie (T0) aan toegevoegd. De bestaande situatie en de varianten A, B en C zijn weergegeven in de figuren 3.01 t/m 3.04 en de vaarroutes voor de binnenvaart in de figuren 3.05 t/m 3.08. De resultaten voor variant C zijn ook gebruikt voor de vierde variant, C_{NT} (=C met Nul Transmissie over de nieuwe havendam), door in de nabewerking de bijdrage van de transmissie van de westelijke dam niet mee te nemen.

In dit hoofdstuk wordt de berekening van de golfvoortplanting van open zee naar de vaarroutes beschreven. Voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van het golfmodel SWAN (zie hoofdstuk 3.1.3). De resultaten van de berekeningen zijn gebruikt voor de vertaling van de tijdseries van golven, wind en waterstand op open zee naar tijdseries van golfcondities langs de vaarroute voor de binnenvaart. De aanpak en de opzet van de berekeningen worden hieronder beschreven.

3.1.1 Verschijnselen en definities

Hieronder volgen de definities van een aantal termen die worden gebruikt in dit hoofdstuk:

- H_s , de significante golfhoogte - uitgerekend op basis van de energie in het golfspectrum. De simulaties van de golfcondities zijn uitgevoerd voor onregelmatige golven. Voor onregelmatige golven op diep water is deze golfhoogte ongeveer gelijk aan de gemiddelde hoogte van het 1/3 hoogste deel van alle individuele golven
- T_p , de spectrale piek periode, is gelijk aan $1/f_p$, waarbij f_p de frequentie is waarbij de energiedichtheid van het frequentie spectrum van de golven maximaal is
- Golfsteilheid. Hier wordt golfsteilheid gebruikt als een nominale waarde om de relatie tussen golfhoogte en periode weer te geven. Voor de doeleinden van het huidige project, wordt de steilheid gedefinieerd als $H_s / (1,56 \cdot T_p^2)$. Voor een vaste spectrale vorm bestaat er wel een vaste relatie tussen deze steilheid en de daadwerkelijke steilheid van de golven. Deze relatie is echter niet van belang voor dit project.
- Golfbinnendringing: het resultaat van alle processen (bij voorbeeld refractie, diffractie) waarbij golven zich voortplanten in een afgeschermd gebied door een opening, bij voorbeeld tussen twee havenhoofden. In dit rapport wordt hieronder de effecten van transmissie door of over een golfbreker (zie hieronder) niet begrepen. Eveneens wordt groei door wind niet hieronder begrepen.
- Golftransmissie: een verschijnsel waarbij golven zich over en/of door een golfbreker voortplanten. De transmissie coëfficiënt is de verhouding tussen de golfhoogte aan de havenzijde van de golfbreker en die aan de zeezijde.
- Refractie: een verschijnsel waarbij de golfrichting draait in de richting van ondiep water. Dit veroorzaakt veelal een verlaging van de golfhoogte. Voor golven in een geul die in de richting van de geul lopen resulteert dit in een afname van golfenergie in de geul en in een verhoging langs de randen daar de golven de diepe geul uitdraaien naar de ondiepere omringende gebieden toe.

- Reflectie: een verschijnsel waarbij de golven die naar een oever lopen worden weerkaatst. De voortplantingsrichting van de golf wordt ter plaatse van de kade of oever gespiegeld ten opzichte van de oever of kade. De hoogte van de teruggekaatste golf is maximaal gelijk zijn aan die van de inkomende golf (bijvoorbeeld bij een gladde verticale oever), maar meestal kleiner (partiële reflectie bij taluds).
- Diffractie: een verschijnsel dat een rol speelt in gebieden waar er een sterke gradiënt in de golfhoogte optreedt. Diffractie vermindert deze gradiënten. De effecten van diffractie zijn over het algemeen alleen van betekenis binnen een paar golflengtes van een afschermd gebied (bijvoorbeeld een golfbreker) of in heel goed beschermde gebieden (golfhoogte minder dan 20 % van de hoogte bij de haveningang).
- SWAN is een golfmodel dat de voortplanting van golven berekend en daarbij alle belangrijke golfverschijnselen modelleert (zie hoofdstuk 3.1.3).

3.1.2 Probleemstelling

De bereikbaarheid van de Maasvlakte 2 voor de binnenvaart wordt bepaald door de golfcondities langs de vaarroute van de binnenschepen en de toelaatbare golfbelasting op de binnenschepen.

De golfcondities langs de vaarroute worden bepaald door vertaling van tijdseries van golfcondities bij het Europlatform en tijdseries van de wind en waterstand bij Hoek van Holland.

Bij deze vertaling van de tijdseries is onderscheid gemaakt tussen de bijdragen van:

- Golfbinnendringing door de havenmond,
- Golftransmissie over en door de poreuze havendammen en
- Binnen de haven door wind opgewekte golven.

Deze exercitie resulteert in drie tijdseries (de afzonderlijke bijdragen van binnendringing, transmissie en wind) van golfcondities voor een groot aantal posities (elke 200 m) langs de vaarroutes voor de binnenvaart.

Een belangrijke nieuwe bijdrage aan de downtime (ten opzichte van de huidige Maasvlakte) wordt verwacht van golfbinnendringing, daar de afstand tussen de vaarroute voor de binnenvaart en de Maasmond bij de varianten A, B en C kleiner is dan in de bestaande situatie. De golfcondities zullen vooral daar kritiek zijn waar de vaarroute de havenmond dicht nadert. Achter in de haven zal de bijdrage van golfbinnendringing veel kleiner zijn. Door gezamenlijke bijdragen van golfbinnendringing, golftransmissie en wind zullen echter ook elders kritieke condities worden overschreden.

3.1.3 Aanpak

Golfbinnendringing

De belangrijkste processen die de golfdoordringing in de haven bepalen zijn:

- Refractie (zeegebied, toegangseul en oplopende oevers).
- Diffractie (gebieden afgeschermd van direct invallende golven).
- Reflectie (vooral bij verticale wanden en in afgeschermd gebied).

In het gebied vanaf zee tot en met de havenmond wordt het gedrag van de golven vooral bepaald door refractie. Diffractie en reflectie zijn hier van ondergeschikt belang. Binnenin de haven en bij de kades is diffractie en reflectie van de binnendringende golven wel van belang. Dat diffractie bij de havenmond van ondergeschikt belang is

wordt bevestigd bij het vergelijken van de resultaten van twee verschillende golfmodellen. Bij berekeningen voor de huidige Maasvlakte blijken de resultaten goed overeen te komen ondanks dat het ene model diffractie wel meeneemt en het andere niet (zie paragraaf 3.2).

Sommige gebieden in de nieuwe varianten zijn betrekkelijk dichtbij de haveningang en zijn ook afgeschermd door de golfbrekers. Het is mogelijk dat in zulke gevallen (met name bij variant B) golfdiffractie een belangrijker rol speelt dan bij de huidige situatie. In deze gevallen is het effect van golfdiffractie geschat met behulp van een analytisch model en ook hier is gevonden dat diffractie geen noemenswaardig betekenis heeft.

Met betrekking tot de golfdoordringing vanaf zee bevinden de kritieke gedeeltes van de vaartrajecten zich (uiteraard) in de directe nabijheid van de havenmond. De golfvoortplanting van open zee tot deze kritieke gedeeltes van de vaarroute wordt dan ook voornamelijk bepaald door refractie. De golfmodellering dient daarom vooral te zijn gericht op een nauwkeurige modellering van het refractie-effect in de voortplanting van de golven.

Transmissie

De kruinhoogte van de Noorder- en Zuiderdam is relatief laag. Transmissie over deze dammen kan daardoor, met name bij hoge waterstanden, een significante bijdrage leveren aan de golfagitatatie op sommige gedeelten van het vaartraject. Tevens is de afdeklaag van deze golfbrekers poreus wat betekent dat golfenergie ook door de golfbrekers kan. Dit soort transmissie blijft dus ook bij lagere waterstanden een rol spelen.

Wind

De afmetingen van de havens zijn in de orde van enkele kilometers. Afhankelijk van de windkracht en richting kan de lokaal opgewekte golf daardoor een redelijke hoogte bereiken en een belangrijke bijdrage leveren aan de golfagitatatie op sommige trajecten van de vaarroute. Vooral als de oriëntatie van de haven samenvalt met de windrichting kunnen de golven aan het eind van de haven (lager wal) aanzienlijk hoog worden.

Naast golfgroei door wind, kan ook reflectie van golven op de oevers een bijdrage leveren aan de door wind opgewekte golfhoogte op de vaartrajecten. Golfreflectie wordt (nog) niet in SWAN gemodelleerd. Het effect van golfreflectie door middel van een nabewerking is in de SWAN resultaten voor de uitvoerpunten langs de vaarroute verdisconteerd. In de uitvoerpunten langs de vaarroutes zijn de golfhoogtes hiertoe met 15% verhoogd. Dit percentage komt overeen met een gemiddelde reflectie aan de oever van 50% ($H_{refl}/H_{ink} = 0,50$). Dit is bij dit soort golven voor de meeste oevers in de Maasvlakte een realistische waarde voor de reflectie-coëfficiënt.

Eerdere studies

In de eerdere studies (Alkyon, 1999a, 1999c en 1999d) zijn twee verschillende golfmodellen gebruikt voor het bepalen van de golfcondities in de havens. Voor het zeegebied tot aan de havenmond is SWAN (Versie 30.62) toegepast omdat refractie hier erg belangrijk is. Vanaf de havenmond tot achter in de havenbekkens is vanwege het toenemende belang van diffractie en reflectie gerekend met MIKE21BW.

Aanpak ten behoeve van het vaartraject

Voor de huidige studie is de havenmond het belangrijkste interessegebied. Hier zijn refractie en in mindere mate transmissie de processen die de golfagitatie bepalen. Diffractie en reflectie zijn in de havenmond nog van ondergeschikt belang. Voor de berekening van de golfcondities langs de vaarroutes is daarom gebruik gemaakt van het golfmodel SWAN.

Ter verantwoording van bovenstaande aanpak zijn de resultaten van het golfmodel SWAN en resultaten van eerdere gepresenteerde berekeningen met het golfmodel MIKE21BW met elkaar vergeleken. Uit deze vergelijking (zie paragraaf 3.2) bleek dat de voorgestelde aanpak met SWAN 40.01 voor het belangrijkste interessegebied, d.w.z. voor de vaartrajecten in de nabijheid van de havenmond verantwoord is. Daarnaast blijkt dat de aanpak met alléén het model SWAN ook andere voordelen heeft, zoals:

- Een veel kortere rekentijd waardoor veel meer condities doorgerekend kunnen worden;
- Geen verlies aan informatie bij overdracht tussen het rekenmodel voor het zeegebied en het verschillende type rekenmodel voor de haven;
- Geen beperking met betrekking tot de bodemschematisatie; en
- Mogelijkheid tot het uitrekenen van golfgeneratie door wind in de haven (dit werd in de vorige studie met een apart -derde- model gedaan).

3.1.4 Golfmodel SWAN

Het gekozen numerieke model voor deze studie is versie 40.01 van het SWAN model. SWAN is een derde generatie model voor de ontwikkeling van de spectrale energie van golven. Het beschrijft het golfveld in termen van een spectrum met discrete intervallen voor zowel frequentie als richting op een ruimtelijk rooster dat gelegd wordt over het te modelleren gebied. SWAN (Booij e.a., 1999) simuleert de effecten van de volgende verschijnselen:

- Golfgroei door de actie van wind;
- White capping (breken op steilheid);
- Refractie over een onregelmatige bodem (zie paragraaf 3.1.2 voor beschrijving);
- shoaling (het toenemen van de golfhoogte bij ondieptes);
- Niet-lineaire vier golf interacties (deze geven een verhoging van de piekperiode van de golven bij langdurige voortplanting);
- Niet-lineaire drie golf interacties (deze veroorzaken o.a. een verschuiving van energie van lage naar hoge frequenties bij golfvoortplanting over een ondiepe bank);
- Dissipatie door bodemwrijving (water onder golf beweegt in de horizontale richtingen bij de zeebodem). Wrijving en turbulentie veroorzaken een afname van de golfenergie en een vermindering van de golfhoogte;
- Dissipatie door breken in ondiep water; en
- Transmissie van golven ter plaatse van obstakels die te dun zijn om mee te nemen in de bodemschematisatie zoals golfbrekers (geparametriseerd) (zie paragraaf 3.1.2 voor beschrijving).

De laatste genoemde optie voor de modellering van golftransmissie, was niet operationeel in SWAN Versie 30.62, en vormde de belangrijkste reden om voor de nieuwere versie (Versie 40.01) van SWAN te kiezen, waarbij deze optie wel operationeel is.

3.2 Vergelijking SWAN en MIKE21BW

Het numerieke model MIKE21BW

In de eerder uitgevoerde studie (Alkyon, 1999a) is voor de modellering van de golfdoor-dringing (indringing en transmissie) het Boussinesq golfmodel MIKE21 BW gebruikt.

MIKE21 modelleert de gecombineerde effecten van de meest belangrijke golf verschijnselen binnen de haven. Het model berekent de effecten van shoaling, refractie, diffractie en reflectie. Op de randen kunnen de effecten partiële reflectie van en partiële transmissie door poreuze constructies zoals golfbrekers worden gemodelleerd. Het model simuleert de voortplanting van regelmatige en onregelmatige en lang- en kortkammige golven. Verder berekent het model het effect van niet-lineaire golf-golf interactie.

Kenmerkende eigenschappen van het MIKE21BW golfmodel zijn o.a.:

- Het model werkt in het tijdsdomein. Het wordt aangestuurd door golfcondities welke beschreven zijn door tijdseries van de wateroppervlakte uitwijking op de randen van het model. Voorafgaand aan de simulatie worden deze tijdseries gegenereerd op basis van een specifiek golfspectrum, waarbij rekening wordt gehouden met richtingspreiding.
- Het model berekent de niet-lineariteit en frequentie dispersie, waarbij de maximum diepte/golflengte verhouding kan oplopen tot 0,5.
- Bij open uiteinden van het model waar geen reflectie mag voorkomen worden zogeheten "spons lagen" gebruikt die alle golfenergie absorberen.

Randvoorwaarden voor vergelijkende berekeningen

In de studie (Alkyon, 1999a) zijn voor de bestaande situatie en een aantal varianten voor de uitbreiding van de Maasvlakte de resultaten van MIKE21 berekeningen gepresenteerd. Voor de bestaande situatie zijn de resultaten voor drie golfrichtingen (260, 300 en 340°N) bij twee golfperiodes (6,5 en 8,5 s) en een waterstand (NAP +0,0 m) gepresenteerd. Uit deze zes condities is de volgende conditie gekozen voor een vergelijking van de twee golfmodellen:

- golfhoogte: $H_s = 4,2$ m;
- periode: $T_p = 8,5$ s;
- richting: 300°N; en
- waterstand: NAP +0,0 m

Van de zes met MIKE onderzochte condities resulteerde deze in de grootste golfdoordringing. De resultaten van deze MIKE21BW berekening zijn gepresenteerd in figuur 3.09.

Vergelijkingen zijn ook verricht voor de andere twee bovengenoemde golfrichtingen. Deze vergelijkingen bevestigen het beeld verkregen met een golfrichting van 300°N. Een uitgebreide beschrijving voor deze richtingen wordt echter niet gegeven omdat in die condities de bijbehorende golven vrijwel niet maatgevend zijn daar ze klein zijn in vergelijking met de golven die het gevolg zijn van windgroei of transmissie.

Vergelijkende SWAN berekening

Voor deze SWAN berekening zijn de schematisatie en de randvoorwaarden zo goed mogelijk in overeenstemming gebracht met de modelschematisatie en de modelrandvoorwaarden zoals die voor de MIKE berekening zijn toegepast (zie figuur 3.10):

- Gelijke afmeting van de rekengebieden;
- Bodems gelijk, dat wil zeggen dat ook in SWAN een minimale waterdiepte van 15 m is toegepast waar de werkelijke diepte kleiner is;
- Het golfrichtingspectrum bij de twee berekeningen was gelijk in de richtingssector van +/- 30° t.o.v. de gemiddelde golfrichting. De hoogte van de inkomende golf is gebaseerd op de golfenergie in deze richtingssector. Buiten deze sector heeft MIKE geen energie en SWAN wel. De energie buiten deze golfsector loopt echter zijdelings weg en heeft geen effect op de golfhoogte verder naar binnen.
- Gelijke locaties voor de uitvoerpunten.

De resultaten van de vergelijkende SWAN berekening zijn weergegeven in figuur 3.11.

3.2.1 Bespreking resultaten

Golfhoogte patroon

Een directe vergelijking van de resultaten van de MIKE en de SWAN berekening laat zien dat beide modellen hetzelfde golfhoogtepatroon berekenen met tongen van hoge en lage golfhoogte, vergelijk figuur 3.09 met 3.11.

Beide modellen berekenen tongen met hoge golfhoogte ten noord en ten zuiden van de Splitsingsdam. Op de zijranden van deze tongen vertonen beide modellen een grote gradiënt in de golfhoogte.

Tussen de twee tongen, voor de kop van de Splitsingsdam berekenen beide modellen een gebied met lage golfhoogte.

Wanneer we de plaats van, bij voorbeeld, de $H_s = 2$ m contour (gele gebied) vergelijken, dan blijkt er een goede overeenkomst te zijn. Zo dringt de punt van de 2 m golfhoogte contour in beide modellen ongeveer even ver naar binnen. De tongen bij SWAN zijn (rond de 2,0 m contour) echter iets minder geprononceerd dan bij MIKE.

In de mond van het Beerkanaal liggen ook de $H_s = 0,4$ en $H_s = 0,8$ m contour ongeveer op de zelfde plek.

Alleen in het Calandkanaal is de tong van de $H_s = 1,2$ m contour bij SWAN iets smaller en langer en ligt deze ook iets noordelijker dan bij MIKE. Dit zou kunnen komen door het ontbreken van reflectie in SWAN.

Golfhoogte in de uitvoerpunten

Voor een beperkt aantal posities konden de resultaten van de twee modellen direct met elkaar worden vergeleken. Hierbij dient te worden opgemerkt dat een deel van de punten waarvoor van de MIKE berekeningen numerieke resultaten beschikbaar zijn op locaties liggen met zeer grote gradiënten in de golfhoogte.

Van de MIKE berekeningen zijn golfhoogte resultaten beschikbaar in de vorm van de gemiddelde, minimum en maximum golfhoogte in een gebied van 100×100 m² rondom het uitvoerpunt. Bij SWAN is uitvoer gegenereerd op het uitvoerpunt en de vier hoekpunten van het gebied van 100×100 m². Uit het verschil tussen de minimum en maximum golfhoogte binnen dit kleine gebied blijkt al hoe moeilijk het is om (gezien de scherpe gradiënt) een directe vergelijking te maken tussen de MIKE en SWAN resultaten.

Golfhoogte verloop van havenmond tot havenbekken

In de havenmond, bij uitvoerpunt 1, bedraagt de variatie binnen het MIKE uitvoergebied meer dan 0,5 m (13% van de gemiddelde golfhoogte), terwijl het verschil tussen de modellen minder is dan 0,13 m (3% van de golfhoogte).

Uitvoerpunt 2 ligt enige honderden meters voor de kop van de Splitsingsdam, tussen de twee tongen met hoge golfhoogte. Bij SWAN zijn deze tongen echter iets minder geprononceerd dan bij MIKE. Bij SWAN ligt het "begin" van de 2,0 m contour tong zo'n 200 m verder naar binnen dan bij MIKE. Door de zeer grote golfhoogte-gradiënt resul-

teert dit bij SWAN in een grotere golfdoordringing: gemiddeld 45% voor SWAN versus 38% voor MIKE.

Uitvoerpunt 3 ligt ten zuiden van de kop van de Splitsingsdam, midden op een tong met grote golfhoogte. Zoals eerder gemeld zijn de tongen rond de 2,0 m contour bij SWAN iets minder geprononceerd waardoor het "eind" van de 2,0 m tong bij SWAN nu juist ca. 250 m minder ver doorloopt in vergelijking met MIKE. Het gevolg is dat de golfdoordringing bij SWAN hier juist lager is, gemiddeld 43% versus 51% voor MIKE.

De meest interessante punten voor de binnenvaart als ijkpunt voor varianten waarbij niet via een "binnendoor" route naar een 2^e Maasvlakte wordt gevaren maar via de noordelijke "buitenom" route die langs de toegang tot de haven voert zijn de punten 5 en 6.

Uitvoerpunt 5 ligt ten zuiden van de Splitsingsdam, in het Calandkanaal net voor de afslag naar het Beerkanaal. De doordringende tong (1,2 m contour) ligt bij SWAN ca. 100 m noordelijker dan bij MIKE. Hoewel dit maar een klein verschil is resulteert dit, omdat de gradiënt hier zeer groot is, toch in een hogere doordringing bij SWAN, gemiddeld 31% versus 26% voor MIKE.

Uitvoerpunt 6 ligt in de ingang van het Beerkanaal. De golfdoordringing komt hier goed overeen tussen de twee modellen. De 0,4 m contouren liggen nagenoeg boven op elkaar. Beide modellen geven hier een golfdoordringing van 5%.

Verder naar binnen (uitvoerpunten 7 en 8) is de golfdoordringing (minder dan 2%) zo laag dat deze in principe geen bijdrage zal leveren in downtime voor de binnenvaart.

3.2.2 Samenvatting en conclusies vergelijking SWAN-MIKE

Vergelijking resultaten SWAN-MIKE

Uit de vergelijking van de resultaten van MIKE en SWAN komen we tot de volgende bevindingen:

- In het mondingsgebied (uitvoerpositie 1 en 2) komen de resultaten goed overeen;
- Iets verder naar binnen (uitvoerpositie 3,4 en 5) nemen de verschillen iets toe. Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door een geringe verschuiving van de tongen met grote golfhoogte in combinatie met grote golfhoogte-gradiënten.
- In de monding van het Beerkanaal is de overeenkomst tussen MIKE en SWAN weer zeer groot.
- In de monding van het Calandkanaal is de overeenkomst ook groot, zij het dat de tong met grote golfhoogte bij SWAN smaller is en iets noordelijker ligt dan bij MIKE.
- Achter in de havens zijn de berekende golfhoogtes door golfdoordringing bij beide modellen erg klein en niet relevant voor de downtime-berekening.

Vergelijking aanpak SWAN-MIKE

Naast het verschil in de resultaten spelen ook de beperkingen in de aanpak een rol bij de keuze van de methodiek. Behalve beperkingen (geen diffractie en reflectie) heeft toepassing van SWAN ook voordelen die de nauwkeurigheid ten goede komen:

- Met SWAN kunnen, door de kortere rekentijd, meer condities (golfrichtingen) doorgerekend worden. Hierdoor verkleint de kans dat de meest kritieke conditie "gemist" wordt.
- Door één golfmodel te gebruiken ontstaat er geen verlies aan informatie (vorm van het spectrum, golfhoogtevariëaties langs rand) bij de overdracht tussen golfmodel voor zeegebied en golfmodel voor de haven.

- SWAN kent veel minder beperkingen in het schematiseren van de bodem dan MIKE.

Op grond van bovenstaande bevindingen wordt geconcludeerd dat de resultaten van SWAN en MIKE in het interesse gebied voor de huidige studie redelijk goed met elkaar overeenkomen waardoor toepassing van SWAN voor de bepaling van de golfhoogte langs de vaartrajecten gerechtvaardigd is.

3.3 Swan berekeningen varianten T0, A, B en C

3.3.1 Opzet golfberekeningen

Deze paragraaf beschrijft de opzet van de SWAN berekeningen voor de bestaande situatie (T0) en de varianten A, B en C voor de uitbreiding van de Maasvlakte. Bij de opzet van de golfberekeningen is gebruik gemaakt van de ervaringen en de berekeningsresultaten uit de eerdere studie (Alkyon, 1999a). Dit uit zich onder andere in de keuze van de rekenroosters en de gebruikte instellingen van het golfmodel SWAN.

Bijdragen drie componenten

In deze studie zijn de bijdragen van golfbinnendringing, golftransmissie en golfgroei door wind binnen de haven in afzonderlijk berekeningen bepaald (tabel 3.1 geeft een overzicht van deze SWAN berekeningen). Met de resultaten van de SWAN berekeningen kunnen de tijdseries van golven, wind en waterstand voor elk van de componenten afzonderlijk worden getransformeerd naar de uitvoerpunten op de vaarroutes.

SWAN rekenroosters

In de eerder uitgevoerde studie is gebruik gemaakt van vier rekenroosters voor de modellering van de golfvoortplanting vanaf het Europlatform tot de havenmond.

Voor de huidige studie, waarbij SWAN is toegepast tot in de haven, zijn zes roosters gebruikt. Bij de buitenste twee grofmazige roosters (maaswijdte 600 en 310 m) zijn de afmetingen overgenomen uit de vorige studie. De binnenste vier roosters voor de toegangsgeul, de havenmond en het binnengebied zijn nieuw ontworpen met een maaswijdte van respectievelijk 100, 50, 50 en 50 meter. Voor de bestaande situatie en de drie basis varianten zijn steeds drie van de vier nieuwe roosters gebruikt.

Een overzicht van de kenmerken van de rekengrids is gegeven in tabel 3.2. De contouren van de grids zijn geplot in figuur 3.12.

Bodemtopografie

De bodemtopografie van het studiegebied is gebaseerd op de bestanden die ook gebruikt zijn in de eerdere studie (Alkyon, 1999a) voor de schematisatie van de bestaande situatie. Dit betreft de volgende drie bestanden:

- Voor de grootschalige bodem is de schematisatie zoals bepaald voor golfberekeningen voor de Westerschelde (Alkyon, 1998a) gebruikt.
- Daarin is ingebed een van de opdrachtgever verkregen schematisatie van de zeebodem voor de kust ter hoogte van de Maasvlakte, uitgedund naar een 100x100 m² grid. Deze schematisatie beslaat een gebied van ca. 17x13 km².
- Voor de wateren binnen de kustlijn is de bodemschematisatie van het Zeedelta Model gebruikt (Alkyon, 1998b), geïnterpoleerd naar een 25x25m² grid.

Op basis van deze bodembestanden voor de bestaande situatie zijn de schematisaties voor de bestaande situatie (T0) en voor de varianten A, B en C gemaakt. Voor de

schematisatie is uitgegaan van de havenvarianten "Set 8". Voor de schematisatie is gebruik gemaakt van de door de opdrachtgever verstrekte AUTOCAD van deze varianten. Dit betrof de volgende Zip-files:

1. VarA.zip (5524454byte, 21 nov 1999, 11:38) waarin opgenomen:
tk s08 xxx 001 h.dwg (849673bytes, 21 okt 1999, 13:13),
2. VarB.zip (594071byte, 21 nov 1999, 11:38) waarin opgenomen:
tk s08 xxx 002 h.dwg (943269bytes, 20 okt 1999, 14:00), en
3. VarC.zip (672548byte, 21 nov 1999, 11:38) waarin opgenomen:
tk s08 xxx 003 h.dwg (749743bytes, 21 okt 1999, 13:16).

Voor de verschillende havens en de stroomverlammingskuil zijn de volgende dieptes aangehouden:

- Stroomverlammingskuil: NAP -40 m zijtaluds 1:25, begin en eind talud 1:60.
- Maasmond: NAP -23,8 m
- Verbreding mond Beerkanaal: NAP -23,8 m (variant B en C)
- Verlenging Amazone haven: NAP -21,7 m
- Verlenging Europa haven: NAP -13,7 m
- Doorsteek Maasvlakte: NAP -13,7 m (variant A)
- Doorsteek Maasvlakte: NAP -20 m (variant B en C)
- Nieuwe havens in 2^e Maasvlakte: NAP -20 m

De contouren voor de havens zijn ontleend aan de AUTOCAD-files, waarbij door Alkyon de geulen van taluds zijn voorzien. De schematisaties van het zeegebied zijn weergegeven in figuur 3.12. Het binnengebied met de havens is weergegeven in de figuren 3.01 t/m 3.04.

Golfbinnendringing

Voor de golfbinnendringing zijn in de berekeningen de bijdragen van transmissie en wind uitgeschakeld. Dit betekent dat de coëfficiënt voor transmissie door de golfbrekers, Tr , is gesteld op 0% en dat in de haven de golfgroei door wind is uitgeschakeld (NB In het zeegebied en de geul is er wel golfgroei door wind).

Golftransmissie

Voor de transmissie zijn in de berekeningen de bijdragen van binnendringen en wind uitgeschakeld. Dit betekent dat de havenmond is dicht gezet door middel van een transmissie rand met een transmissie coëfficiënt, Tr , van 0%, en dat in de haven de golfgroei door wind is uitgeschakeld (in het zeegebied en de geul is wel golfgroei door wind). In SWAN is de transmissie ter plaatse van de golfbrekers gesteld op $Tr = 30\%$.

In de haven door wind opgewekt golven

De grids voor het zee-, kust-, geul- en het mondingsgebied zijn voor deze berekening niet gebruikt. Voor de berekening van de golfgroei in de haven is alleen het grid van de haven van belang. Op de buitenrand is geen inkomende golf gedefinieerd ($H_{s,i} = 0$ m) en de golftransmissie ter plaatse van de golfbrekers is gesteld op: $Tr = 0\%$.

Overige instellingen SWAN model

De SWAN berekeningen zijn uitgevoerd met de volgende fysische en numerieke instellingen:

- Golfopwekking en dissipatie door white-capping volgens de derde generatie instellingen volgens Komen (Komen e.a., 1984).

- Dissipatie door diepte-gelimiteerd breken beschreven volgens de Battjes-Janssen formulering (Battjes, e.a., 1978).
- Bodemwrijving beschreven volgens de JONSWAP formulering.
- Processen voor niet-lineaire drie- en vier-golfinteracties actief.

Voorbeelden van SWAN invoerfiles zijn gegeven in Bijlage A. In deze bijlage worden de invoerfiles van drie SWAN berekening gepresenteerd voor de variant A. Voor het grid en de randvoorwaarden wordt verwezen naar de header van de invoerfile. Het betreft één voorbeeld voor golfbinnendringing, één voor golftransmissie, en één voor wind. In de invoerfiles zijn de gebruikte instellingen te zien.

3.3.2 Randvoorwaarden

De keuze van de randvoorwaarden voor de SWAN berekeningen sluit aan bij de eerder uitgevoerde studie (Alkyon, 1999a). Bij de keuze van de randvoorwaarden is gelet op de relevantie voor de kritieke condities op de vaarroutes voor de binnenvaart. Concreet betekent dit, bij voorbeeld, dat de richtingstap groot is gekozen tussen richtingen die nauwelijks binnendringen, en klein in de richtingsector waarvoor de verwachte golf-doordringing groot is. Op deze wijze kan zonder het totaal aantal berekeningen te vergroten toch een hogere nauwkeurigheid worden bereikt voor de kritieke condities.

Voor de berekening van de golfbinnendringing zijn voor elke variant 432 condities doorgerekend, voor de berekening van de golftransmissie 63 en voor de berekening van de golfgroei door wind 72. Een overzicht van de randvoorwaarden wordt gegeven in tabel 3.1.

Golfhoogte en windsnelheid

Voor elk van de drie processen (binnendringing, transmissie en wind) is gerekend met drie golfhoogte/windsnelheid combinaties.

Golfrichting

Daar de kritieke golfrichting voor elk van de drie processen verschilt, zijn ook de golfrichtingen voor de berekeningen verschillend gekozen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor 7, 8 of 11 golfrichtingen zoals vermeld in tabel 3.2.

Golfperiode/golfsteilheid

De berekeningen voor de golfbinnendringing zijn uitgevoerd voor drie golfperioden behorend bij een drietal diepwater golfsteilheden s_p ($s_p = H_s / (1,56 * T_p^2)$): 0,02, 0,04, 0,06. Voor het verband tussen de in SWAN benodigde piekperiode T_p en de bij het Europlat-form beschikbare tijdreeks van spectraal gemiddelde periode T_{m02} , is de relatie genomen volgens data van RIKZ uit (Maasvlakte 2, 1996). Deze relatie luidt:

$$T_p = 1,36 * T_{m02} - 0,45 \quad (s)$$

De berekeningen voor golftransmissie zijn uitgevoerd bij een steilheid van de inkomende golf: $s_p = 0,04$.

Windsnelheid

De relatie tussen de windsnelheid en de significante golfhoogte is afgeleid uit het overschrijdingspercentage van de windsnelheid per golfhoogte voor elke golfrichtingsector (zuidwest, west, noordwest en noord). De windsnelheid bij een bepaalde golfhoogte komt daarbij overeen met die windsnelheid die gedurende een zelfde percentage van

voorkomen van die golfhoogte wordt overschreden. Dit blijkt voor alle golfrichtingen min of meer hetzelfde te zijn. De bijbehorende windrichting is gelijk aan de golfrichting.

Waterstand

De *golfbinnendringing* is berekend bij twee waterstanden. De waterstanden zijn zodanig gekozen dat bij de verdere verwerking van de resultaten geïnterpoleerd kan worden. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de waterstanden: NAP -1 m en NAP +3 m.

De SWAN berekeningen voor *golftransmissie* zijn uitgevoerd bij een vaste transmissie-coëfficiënt van 30% ($=H_{trans}/H_{ink}$) en een vaste waterstand (NAP +1 m). De golftransmissie over de havendammen varieert met de waterstand. Bij de vertaling van de tijdseries naar de uitvoerpunten in de haven (zie Hoofdstuk 4) is daarom voor elke tijdstap, aan de hand van waterstand de waarde van de transmissie-coëfficiënt uitgerekend. Deze aangepaste coëfficiënten zijn gebruikt om de rekenresultaten aan te passen bij de transformatie van de tijdseries.

Bij de berekeningen voor *golfgroei door wind* is de invloed van de waterstand relatief gering. Deze berekeningen zijn daarom bij slechts een waterstand (NAP +1 m) uitgevoerd.

3.3.3 Uitvoer

De resultaten van de SWAN berekeningen zijn op twee manieren beschikbaar gemaakt. Ten eerste in de vorm van kleuren plots en daarnaast in de vorm van numerieke uitvoer op de vaarroutes.

Kleuren plots

Voor de controle van de berekening zijn voor alle berekeningen (digitale) kleuren plots gemaakt. Ter illustratie is in de Figuren 3.13 t/m 3.24 een kleine selectie van deze plots gepresenteerd. Het betreft kleurenplots van de significante golfhoogte met vectoren. De lengte en richting van de pijlen geven de golfhoogte en -golfrichting weer.

In de figuren zijn de resultaten van 12 berekeningen gepresenteerd: voor de bestaande situatie en de drie basis varianten de bijdragen van golfdoordringing, golftransmissie en golfgroei in de haven door wind. De gepresenteerde condities betreffen voorbeelden van randvoorwaarden die resulteren in hoge golven in de haven en langs de vaarroutes. De randvoorwaarden zijn weergegeven in de legenda van de plots.

Vaarroutes

Voor elk van de varianten is een vaarroute gedefinieerd. Deze route begint in het Hartelkanaal en loopt via de opening in de Beerdam, het Beerkanaal, de mond van de Europahaven, en de doorsteek door de Maasvlakte naar de geplande havens in de 2e Maasvlakte. De lengte van deze route bedraagt ca 10 km, de afstand tussen de uitvoerpunten op deze route is 200 m, hetgeen voor elk van de vier situaties resulteert in een set van ongeveer 50 uitvoerpunten. De punten zijn geplot in de kleurenplots.

De resultaten in de uitvoerpunten langs de vaarroutes zijn verwerkt in transformatie matrices voor het vertalen van de tijdseries van golven (Europlatform) en wind en waterstand (Hoek van Holland) naar tijdseries van golven voor de uitvoerpunten langs de vaarroutes. Uiteindelijk resulteert dit in ca. 600 tijdseries ([bestaande situatie + 3

varianten] * 3 bijdragen * 50 punten) van golven voor de berekening van de scheepsrespons langs de vaarroutes.

Wind en golfklimaat langs de vaarroutes

Het wind en golfklimaat langs de vaarroute hangt samen met het golfklimaat op zee en het windklimaat bij Hoek van Holland. Het golfklimaat langs de vaarroute is voor een beperkt aantal (kritische) vaartrajecten gepresenteerd in de vorm van een golfroos.

Achtereenvolgens zijn in de figuren 3.25 t/m 3.31 gepresenteerd:

- Golfklimaat op zee (Europlatform) in figuur 3.25,
- Windklimaat bij Hoek van Holland in figuur 3.26,
- Golfklimaat langs de vaarroute in de bestaande situatie in figuur 3.27,
- Golfklimaat langs de vaarroute in Variant A in figuur 3.28,
- Golfklimaat langs de vaarroute in Variant B in figuur 3.29,
- Golfklimaat langs de vaarroute in Variant C in figuur 3.30,
- Golfklimaat langs de vaarroute in Variant C_{NT} in figuur 3.31,

De bovenstaande figuren geven de golfcondities weer in de vorm van golfrozen. In deze figuren geeft de richting van een arm van de roos aan uit welke richting de golven komen. De breedte en patroon van een gedeelte van de arm geeft de bijbehorende golfhoogte klasse en de lengte van dit gedeelte het percentage van voorkomen van de golven in de bijbehorende golfhoogte en richting klasse (zie onder aan plot voor schaal en legende). De cijfer in het centrum van de roos geeft het percentage van de tijd aan dat golven voorkomen in de laagste golfhoogte klasse.

Uit deze golfrozen blijkt duidelijk de bijdrage van de verschillende componenten (doordringing, transmissie en wind) in de vier situaties.

4 Scheepsresponsie

4.1 Inleiding

Golfhinder uit zich bij binnenschepen in een aantal problemen (zogenaamde "faalmechanismen") die gerelateerd zijn aan de bewegingen van het schip in golven en aan de door golven veroorzaakte krachten op schip en verbindingen. Onder hinder wordt in deze studie verstaan dat de problemen van zodanige omvang zijn dat er een onacceptabele kans op falen ontstaat, bijvoorbeeld als er water in het ruim komt of als er een koppeldraad breekt.

Dit "falen" hoeft op zich, voor een individueel schip op een enkele vaart, nog geen noodsituatie te betekenen. Voor het geval van bijvoorbeeld water in het ruim betekent het dat de kans dat tijdens de hele vaart één enkele golf de denhoogte overschrijdt te hoog is. Hier wordt nader op ingegaan in hoofdstuk 5.

In dit hoofdstuk wordt voor elk faalmechanisme ook de limiet afgeleid.

Tot slot wordt in het kort de software beschreven die gebruikt is om de scheepsbewegingen en krachten in golven te berekenen, evenals de invoer voor deze software. Een overzicht van de gedane berekeningen wordt gegeven in hoofdstuk 5.

4.2 Faalmechanismen

Voor de berekening van de scheepsrespons in golven ten behoeve van de diverse faalmechanismen zijn verschillende methodieken gebruikt, zowel voor de enkelvoudige schepen als voor de gekoppelde eenheden.

4.2.1 Enkelvoudige schepen

Voor de enkelvoudige schepen zijn via nabewerkingsprogramma's de RAO's (response amplitude operators - deze geven de respons van het schip als functie van frequentie en zijn gelijk aan een overdrachtsfunctie maar zonder fase informatie) gerelateerd aan maatgevende golfspectra. Vervolgens is de kans op falen berekend. De volgende faalmechanismen zijn in beschouwing genomen:

Water over de boeg (enkelvoudige schepen)

Voor de berekening van de overschrijding van dit criterium is de beweging van de boeg berekend, ten gevolgen van de bewegingen van het schip in de golven. Simultaan is de beweging van het golfoppervlak bij de boeg berekend. Uit deze twee bewegingen is de zogenaamde "relatieve" (ten opzichte van het golvende wateroppervlak) verticale beweging van de boeg bepaald. De relatieve beweging geeft dus de verticale afstand tussen de boeg en het momentane wateroppervlak. Als de relatieve beweging van de boeg groter is dan de boeghoogte (het vrijboord ter hoogte van de boeg) komt er water over de boeg.

Water over de den (enkelvoudige schepen)

Analoog aan water over de boeg is ook voor vijf locaties langs de scheepshuid ter hoogte van de den de verticale relatieve scheepsbeweging t.o.v. het golfoppervlak berekend. Afhankelijk van de golfcondities (periode, richting) en vaarrichting is vervolgens steeds de locatie met de grootste beweging gekozen (zie paragraaf 4.6 voor de vijf locaties).

Een exacte berekening van water over de den is niet mogelijk, omdat de den inspringt ten opzichte van de zijkant. Numerieke bepaling van de beweging van golven op het

dek, die misschien opgestuwd worden over de den, is in dit kader te complex. Het criterium "water over de den" is bepaald voor het overschrijden van de denhoogte op de plaats van de vijf locaties langs de zijkant van het schip.

Overschrijding maximaal buigend- en wringend moment (enkelvoudige schepen)

Analoog aan het criterium water over de den is het buigend en wringend moment in vijf locaties (doorsneden) langs het schip uitgerekend. Hier wordt het schip denkbeeldig opgesplitst in segmenten en worden de verbindingskrachten tussen de segmenten uitgerekend in het frequentiedomein. Uit integratie volgen buigende en wringende momentlijnen.

Voor het bepalen van de buigende en wringende momenten in de diverse doorsneden is de gewichtsverdeling over de lengte van het schip vereist. De berekende momenten worden vervolgens vergeleken met toelaatbare momenten. Deze toelaatbare momenten zijn afhankelijk van de constructie en de toelaatbare materiaalspanningen, gebaseerd op regelgeving en/of gebruikelijke ontwerp-standaarden.

4.2.2 Gekoppelde eenheden

Voor twee gekoppelde eenheden (brede tweebaks-duwcombinatie en lang koppelverband) is een andere aanpak gevolgd. De bewegingen van duwstellen en koppelverbanden in golven zijn een complex probleem. In golven kunnen de bakken ten opzicht van elkaar bewegen en daardoor kunnen grote belastingen optreden in de verbindingsdraden.

Om deze effecten mee te nemen is het nodig om tijdsdomeinsimulaties uit te voeren, waarbij deze niet-lineaire effecten gemodelleerd zijn. Het tijdsdomein simulatie programma LIFSIM (zie paragraaf 4.3) kan de bewegingen van drie gekoppelde lichamen berekenen, inclusief de krachten in de verbindingsdraden. Het programma rekent voor een systeem dat niet vaart (voorwaartse snelheid nul). Wel wordt rekening gehouden met de hogere c.q. lagere (ontmoetings-) frequentie van de golven welke het schip ondervindt ten gevolge van zijn snelheid.

Het programma wordt gevoed met de hydrodynamische karakteristieken van de schepen, berekend met een diffractie-programma (DIFFRAC) en met de karakteristieken van de koppelverbindingen. De hydrodynamische eigenschappen omvatten de toegevoegde massa, hydrodynamische damping en golfkrachtenoverdrachtsfuncties, inclusief de golfinteracties tussen de componenten (zie paragraaf 4.3).

Kracht in de verbindingen

De tijdsdomeinsimulaties geven een eerste indicatie van het bewegingsgedrag en de typische belastingniveaus in de verbindingsdraden. Echter, de complexe waterbewegingen tussen de verschillende bakken (wegpersen en weer aanzuigen van water) kunnen niet nauwkeurig worden berekend. Deze waterbewegingen zullen in het algemeen de bewegingen dempen waardoor ook de krachten in de koppeldraden lager kunnen zijn dan berekend. Ook andere zaken, zoals de wrijving tussen de schepen door oneffenheden van de scheepshuid en de precieze configuratie van de koppeldraden hebben een grote invloed op de resultaten. Daar deze zaken van schip tot schip sterk verschillen en deels ook moeilijk exact te reproduceren zijn in het rekenmodel, betekent dit, dat bij de toepassing van deze resultaten enige voorzichtigheid is geboden. In paragraaf 4.6 wordt hier verder op ingegaan.

Water over de boeg en water over de den

Voor de gekoppelde systemen zijn geen aparte berekeningen uitgevoerd voor de relatieve bewegingen. Conform de offerte is hiervoor gebruik gemaakt van de resultaten van het meest kritische element van het gekoppelde systeem (de bak of het schip), zoals dat uit de enkelvoudige berekeningen volgt. Dit betekent dat de invloed, die de schepen op elkaar hebben, niet is meegenomen. Voor korte golven (die het meest kritisch zijn voor water over de boeg en den) zijn de verticale scheepsbewegingen klein in vergelijking met de golfoppervlakte beweging. Om deze reden zijn wij van mening dat deze benadering redelijk is.

Buigend en wringend moment

Het is, met het gebruikte tijdsdomeinsimulatieprogramma, niet mogelijk om de interne belastingen (buiging en wringing) te bepalen van een koppverband, en daarbij ook nog alle interacties mee te nemen. Net als voor de relatieve bewegingen zijn hiervoor de resultaten van het meest kritische element van het gekoppelde systeem gebruikt, volgend uit de enkelvoudige berekeningen voor de duwbak en, waar van toepassing, het Rijnschip. Niet-overschrijding van dit moment dient slechts als minimumeis.

Voor de vierbakker zijn in het geheel geen berekeningen uitgevoerd daar de berekeningsprogramma's niet meer dan 3 elementen aankunnen. Om toch een uitspraak te kunnen doen zijn hier de limiterende condities geschat op basis van expert-judgement, gebruik makend van de responsberekeningen en limiterende condities van de andere schepen.

4.3 Beschrijving van software

4.3.1 DIFFRAC-3D en DBSNELH

Het DIFFRAC-3D-model berekent (in zes graden van vrijheid) de hydrodynamische krachten op een niet-varend schip in golven. DBSNELH is een nabewerkingsprogramma van DIFFRAC. Het gebruikt de resultaten van DIFFRAC-3D om, nu voor een varend schip, de RAO's ("response amplitude operators") te berekenen van de relatieve bewegingen van de boeg en de den bij inkomende (regelmatige) golven met een gegeven frequentie en richting. Door deze RAO's toe te passen op het totale spectrum van de inkomende golven worden spectra van de relatieve bewegingen bepaald.

DIFFRAC is een potentiaal theorie randelementenmodel dat opereert in het frequentiedomein. Dit houdt in, dat het probleem wordt gelineariseerd en dat de vergelijkingen voor elke frequentie apart worden opgelost. De romp van het schip en eventueel de oppervlakte van de kade worden belegd met bronnen van onbekende sterkte en fase. Elk van de bronnen geeft een oplossing voor de potentiaalvergelijking van de vloeistofbeweging.

Voor elke bewegingsmode (vrijheidsgraad) en frequentie is het mogelijk de sterkte en fase van de bronnen in te stellen om de bewegingen van de vloeistof rondom het schip na te bootsen voor die bepaalde mode. Vervolgens worden de hydrodynamische vloeistofreactiekrachten op het schip bepaald en omgezet in toegevoegde massa- en dempingscoëfficiënten.

Naast de reactiekrachten veroorzaakt door de scheepsbeweging worden ook de krachten veroorzaakt door de golven berekend. Dit gebeurt door een golf in te laten vallen op het

vastgehouden schip en de bronsterktes en fases zodanig in te stellen dat de vloeistofsnelheid loodrecht op de romp gelijk is aan nul.

DBSNELH is een nabewerkingsprogramma om de responsie van een varend schip uit te rekenen. Om rekening te houden met het varen, wordt er vanuit gegaan dat de golfkrachten bij een bepaalde golffrequentie niet veranderen (omdat deze afhankelijk zijn van de golflengte en de simultane verschillen in golffase langs de lengte van het schip), maar dat de "ontmoetingsfrequentie" van deze krachten toeneemt wanneer het schip tegen de golven in vaart, of afneemt wanneer het schip met de golven meevaart. Bij elke frequentie en elke mode berekent DBSNELH de respons vanuit de component van de golfkracht, de massa van het schip in die mode, de toegevoegde massa en de damping. De totale beweging wordt vervolgens uitgerekend door te integreren over de frequenties. Zo nodig kan iteratief rekening worden gehouden met niet-lineaire krachten. Hiervoor is het nodig dat de inkomende golfcondities bekend zijn. Deze bepalen de grootte van de responsie en bij gevolg de grootte van de niet-lineaire effecten. Bijvoorbeeld, de effecten van de viskeuze damping voor slingeren wordt meegenomen door de totale slingerbeweging uit te rekenen. De bijbehorende viskeuze damping wordt dan uitgerekend, gelineariseerd, en toegevoegd aan de lineaire dempingscoëfficiënt. Vervolgens wordt de beweging opnieuw uitgerekend en wordt de gehele procedure herhaald totdat convergentie wordt bereikt.

4.3.2 SEAWAY

SEAWAY is een striptheoriemodel dat de golfkrachten en respons van een schip uitrekent voor de modes: verzetten, dompen, slingeren, stampen en gieren. Vanwege de toegepaste methode is SEAWAY bijzonder geschikt voor het uitrekenen van buigende en torsiemomenten in een schip.

In SEAWAY wordt het schip weergegeven als een serie secties (dwarsdoorsneden van de lengte-as). Elk van deze secties wordt behandeld alsof het deel uitmaakt van een oneindig lang object met dezelfde vorm. Voor elke sectie kunnen, met gebruik van potentiaaltheorie, de hydrodynamische coëfficiënten en de golfkrachten worden uitgerekend. Door te integreren over de lengte van het schip kunnen de totale coëfficiënten worden verkregen. Net zoals hierboven beschreven voor DBSNELH, kunnen vervolgens ook hier de bewegingen worden uitgerekend.

Na uitrekening van de bewegingen zijn de versnellingen van elke sectie bekend voor de verticale richting, de horizontale richting en draaiing om de lengte-as. Samen met de informatie over de massaverdeling, de hydrodynamische krachten en de golfkrachten in elke sectie is deze informatie voldoende om (door integratie in de lengterichting) de buigende momenten en de torsie uit te rekenen voor iedere sectie in de lengte van het schip.

4.3.3 LIFSIM

LIFSIM is een tijdsdomein model dat de bewegingen van twee of drie gekoppelde eenheden in zes graden van vrijheid berekent onder de invloed van:

- Krachten in de koppeldraden en afmeerdraden;
- Golfkrachten;
- Hydrodynamische reactiekrachten, gebaseerd op convolutie-integralen van de frequentie-afhankelijke toegevoegde massa- en dempingscoëfficiënten.

De hydrodynamische interacties tussen gekoppelde eenheden worden niet meegenomen.

De uitvoer van het model is in de vorm van tijdseries van:

- de krachten in de koppeldraden;
- de bewegingen van de schepen in zes graden van vrijheid.

Tevens worden de gemiddelde waarde en de standaardafwijking van de krachten en de bewegingen uitgevoerd.

4.4 Limiterende condities.

Voor elk faalmechanisme, dat in beschouwing is genomen zijn limiterende condities afgeleid. De limiterende condities zijn samengevat in Tabel 4.1.

In de volgende paragrafen wordt beschreven hoe de diverse limiterende condities zijn afgeleid.

4.4.1 Water over de boeg

De limiterende conditie voor deze mode is bepaald op basis van de hoogte van de boeg t.o.v. het stilwateroppervlak en op basis van de boeggolf. Er bestaat verschil in deze boeghoogtes binnen een klasse, afhankelijk van de leeftijd van een schip. De uiteindelijk geselecteerde waarden zijn vastgelegd in overleg met de opdrachtgever.

4.4.2 Water over de den

De limiterende conditie voor deze mode is bepaald op basis van de hoogte van de den t.o.v. het stilwateroppervlak en op basis van de spiegeldaling. Net als voor de boeg, bestaat er verschil in deze hoogtes binnen een klasse, afhankelijk van de leeftijd van een schip. De uiteindelijk geselecteerde waarden zijn vastgelegd in overleg met de opdrachtgever.

4.4.3 Buigende moment

De limiterende buigende momenten voor elk scheepstype zijn vastgelegd op basis van een studie door Intersona (zie bijlage C).

De traagheidsmomenten voor buiging om de horizontale neutrale lijn van de beschouwde binnenvaartschepen zijn berekend aan de hand van beschikbare gegevens van het grootspant (alleen voor het Groot Rijnschip waren ook gegevens van andere spanten beschikbaar). Hieruit zijn de weerstandsmomenten ter plaatse van het vlak en ter plaatse van de bovenkant van het luikhoofd bepaald. Bij de berekening is alleen rekening gehouden met in de langsrichting doorlopende constructiedelen, conform de voorschriften van de classificatiebureaus.

Buigende momenten resulteren in buigspanningen in het vlak, respectievelijk het luikhoofd. De grootte van de buigspanning is in het twee-dimensionale geval gelijk aan het quotiënt van het buigende moment ter plaatse van de berekende doorsnee en het betreffende weerstandsmoment. De toelaatbare buigspanning is volgens de classificatiebureaus afhankelijk van de toepassing. Voor buigspanningen veroorzaakt door buiging in lengte richting (σ_y) is volgens Lloyd's register of Shipping de toelaatbare spanning 137 N/mm². Deze waarde is hier toegepast om het toelaatbare buigende moment vast te stellen.

Voor het uitwerken van de statistiek (zie hoofdstuk 5) is het buigende moment onderverdeeld in een statisch (stil water) en een dynamisch (golfconditie afhankelijk) gedeelte. Deze waarden zijn ook terug te vinden in tabel 4.1.

4.4.4 Torsiemoment

De totale torsiestijfheid van elke doorsnee wordt berekend op basis van de berekende torsiestijfheden van alle dunwandige constructiedelen, zowel van de plaatconstructies als de kokerconstructies. Aannemend dat de hoekverdraaiing per lengte-eenheid van alle constructiedelen gelijk is, kan met behulp van de torsiestijfheid de maximale schuifspanning halverwege alle constructiedelen worden berekend.

De maximale schuifspanning, τ , wordt berekend door het torsiemoment ter plaatse van de berekende doorsnede, M_t , (bij voorbeeld het grootspant) te delen door het betreffende weerstandsmoment W_t :

$$\tau = M_t / W_t$$

Vervolgens worden alle meest kritische weerstandsmomenten in beschouwing genomen.

Spanningsconcentraties ter plaatse van onderlinge verbindingen zijn niet in de berekeningen meegenomen.

Voor de Spits, de Kempenaar en de Dortmunder zijn de resultaten van de Intersona-studie niet gebruikt. In plaats hiervan zijn de resultaten uit een voorgaande studie gebruikt (WL, 1985). De reden hiervoor is dat geen nieuwere constructie tekeningen van deze schepen beschikbaar zijn.

4.4.5 Krachten in de koppeldraden

De minimum breeksterkte (Minimum Breaking Load, MBL) in de koppeldraden voor het 2-baks duwstel is gesteld op 48 ton en voor het koppelverband (Rijnschip met bak) op 60 ton. De breeksterkte is een functie van de draaddiameter en is conform opgaven van leveranciers van zulke koppeldraden. De diameter van de koppeldraden is opgegeven door de begeleidingsgroep vanuit de binnenvaart. In verband met veroudering van draden en het niet-statische karakter van de belasting wordt in de scheepvaart gewerkt met een lagere maximum aanvaardbare kracht in de draden (zogenaamde Maximum Working Load, MWL) welke gelijk is aan 60% van de breeksterkte (d.w.z. MWL = 28.8 ton voor duwstel en MWL = 36 ton voor koppelverband).

De voorschriften voor de vaarwegen waar het Binnenschepen Besluit geldt, specificeren de breeksterkte van de koppeldraden. Voor een typisch geval (duwschip van lengte 95 m met een vermogen van 2800 kW in combinatie met een duwbak van lengte 86 m) is de totale vereiste breeksterkte van de koppeldraden aan één kant van het schip dan 166 ton.

In deze studie, lopen vier korte koppeldraden tussen de schepen, elk met breeksterkte van 60 ton. Bovendien zijn er twee lange koppeldraden aan de beide kanten van het schip. Dus is in deze studie de totale breeksterkte aan één kant van het schip minstens 240 ton, ruim hoger dan de sterkte vereist door de voorschriften (166 ton).

4.5 Simulaties

Alle simulaties zijn uitgevoerd voor unidirectionele (langkammige), onregelmatige golven. De golfcondities zijn gedefinieerd door de significante golfhoogte H_s , de spectrale piekperiode T_p , en de richting van de golven ten opzichte van de as van het schip. Een golf met richting 0° komt recht van achteren, 90° loodrecht van opzij en 180° recht van voren in. Alle toegepaste spectra waren JONSWAP spectra met een "piek enhancement factor", γ , van 3.3. Verder is er gerekend met een vaarsnelheid van 12 km/uur voor alle schepen.

4.5.1 DIFFRAC-3D EN DBSNELH

De invoer voor DIFFRAC-3D bestaat uit de vorm van de romp. Deze wordt geschematiseerd door de positie van de bronpotentialen en de richting van de scheepshuidnormaal. Deze gegevens worden gebruikt om, voor een geschikt frequentiebereik, de golfkrachten en hydrodynamische reactiekrachten op het schip uit te rekenen.

De vorm van de romp is geschematiseerd aan de hand van tekeningen van de opdrachtgever, te weten:

- Spits: Lijnenplan Motorspits, BouwNo. 1001-1010. NV v/h Fa. D. Boot, Alphen aan de Rijn;
- Kempenaar: M.S. Veldwijk. RWS Dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart. Tekening S80.41, 3/6/83;
- Dortmunder: Motorvrachtschip tek no. 80-01, dd. 3/1/80, Scheepswerf Grave BV.
- Duwbak B30 E.W.T. Tekening No. 701/703-100-01. Dd. 23/01/79. Scheepswerf De Biesbosch- Dordrecht.
- Europaschip: Ontwerpplan Droogl. Schip. Tek. No. 81-001. 13/2/81. Hendricks Scheepsmakelaardij B.V.
- Rijnschip: Binnenvaart Containerschip. Bouw No. 8601. Revisie C, December 1985. Shipyard Alblas b.v.;
- Jowi: General Arrangement Plan Rhine going Containership. Tek. No. 01 F dd. 20/7/95. Breko b.v. / Technomar

De invoer voor DBSNELH bestaat uit de voorwaartse snelheid van het schip, de hydrodynamische coëfficiënten, berekend met DIFFRAC-3D en de informatie over de visceuze-damping voor de slingerbewegingen en de coördinaten op het schip van de uitvoerpunten van de boeg en langs de den.

4.5.2 SEAWAY

De invoer voor SEAWAY bestaat uit een aantal verticale dwarsdoorsneden van de scheepshuid (spanten), de voorwaartse snelheid en de massaverdeling (massa en zwaartepunt) over de lengte van het schip.

De vorm van de dwarsdoorsneden is gebaseerd op dezelfde tekeningen als gebruikt voor DIFFRAC-3D (zie 4.5.1).

Voor de berekening van de buigende momenten en de torsie moet dus informatie worden toegeleverd over de massaverdeling van het schip. Deze informatie wordt per sectie als volgt gegeven:

- Het gewicht per eenheidslengte;
- De hoogte van het zwaartepunt boven de kiel;
- De massastraagheid (voor slingeren) van de sectie per eenheidslengte t.o.v. de x-as door het zwaartepunt.

Een voorbeeld van deze informatie is weergegeven in figuur 4.1 voor de Jowi. De rode lijn geeft de verdeling van het gewicht in het schip weer, de blauwe lijn de hoogte van het zwaartepunt en de groene lijn geeft de massatraagheid voor slingeren. Dezelfde informatie voor de overige schepen wordt weergegeven in Excel files op de CD Rom bijgeleverd met dit rapport.

Bij gebrek aan gegevens is de massaverdeling voor de meeste schepen door Alkyon geschat, rekening houdend met:

- De waterverplaatsing;
- De trim van het schip (indien in lege toestand);
- Het drukpunt van het verplaatste water;
- Het soortelijk gewicht en de positie van de lading;
- Het leeg scheepsgewicht en (voor zover mogelijk) de daarbij behorende gewichtsverdeling;
- De benodigde ballast om in lege toestand de gewenste diepgang voor en achter te verkrijgen, rekening houdend met de locaties van de ballasttanks.

De buigende momenten zijn erg gevoelig voor (zelfs kleine) fouten in de opgegeven gewichtsverdeling. Daarom is het van belang om bovengenoemde massa verdeling zo realistisch mogelijk uit te voeren.

4.5.3 LIFSIM

De invoer voor LIFSIM bestaat uit de hydrodynamische kenmerken van de schepen in het systeem (berekend met DIFFRAC), een tijdserie van de golfkrachten op de schepen en de layout van de koppeldraden tussen de schepen. De hydrodynamische kenmerken zijn weergegeven in de vorm van retardatiefuncties en de toegevoegde massa voor frequentie oneindig. De retardatiefuncties zijn verkregen door de convolutie integraal te nemen van de dempingscoëfficiënten als functie van frequentie.

De configuratie van de koppeldraden en het volledige berekenings-schema voor de LIFSIM-berekeningen worden weergegeven in het rapport van Marin (2000a en 2000b).

4.6 Resultaten

De resultaten van de LIFSIM-berekeningen voor de koppelverbanden zijn weergegeven in bijlage B. Een paar belangrijke aspecten van de resultaten worden hieronder besproken.

Voor het koppelverband (Rijnschip met duwbak) bleek dat bij langere golfperiodes en golven van opzij, de relatieve gierhoek tussen de twee schepen snel kan oplopen tot 4°. Bij deze kop-kont verbonden elementen zijn de mogelijkheden om het onderling gieren te beperken zeer klein. Grotere voorspanning in de lijnen heeft maar weinig effect. Het gevolg van de grote gierbeweging is dat de koppeldraden al bij een betrekkelijk lage golfhoogte breken.

Eén van de aspecten die kan verklaren waarom deze gierbeweging zo geprononceerd is, is het rekenen met langkamige golven (zonder richtingspreiding). Met de huidige software is het niet mogelijk om voor varende gekoppelde eenheden richtingspreiding mee te nemen. Om te onderzoeken of deze grote gierbewegingen niet slechts model-effecten zijn, zijn een paar gevoeligheidssommen gemaakt waarbij het effect van richtingspreiding op de resultaten is onderzocht voor een stilliggend schip. De sommen zijn uitgevoerd voor een maatgevende conditie (te weten bij een golfperiode van 5 s,

een golfhoogte 0,5 m en een golfrichting van 75°). Een vergelijking is gemaakt tussen twee koppilverbanden in condities met en zonder richtingsverspreiding. Uit deze vergelijking bleek dat in geval van richtingsverspreiding de maximale kracht in de koppeldraden tussen 30% en 40% kleiner is dan zonder richtingsverspreiding.

Verder blijkt dat de limiterende condities verkregen met behulp van de LIFSIM berekeningen, niet consistent zijn met de praktijkwaarnemingen (zie ook hoofdstuk 5). De variatie van de limiterende condities met de inkomende golfrichting zijn wel consistent met de praktijkwaarnemingen evenals de variatie met de golfperiode. De verkregen krachten bij variërende golfhoogte zijn echter niet consistent.

Om deze redenen is besloten om de absolute waarde voor de limiterende golfhoogte bij korte periodes voor van opzij inkomende golven te baseren op de praktijkwaarnemingen en de trends voor de variatie voor andere richtingen en periodes over te nemen van de resultaten van de LIFSIM berekeningen.

De resultaten voor de overige schepen, berekend met DIFFRAC-3D / DBSNELH (criteria den en boeg) en met SEAWAY (criteria buigend en wringend moment) worden hieronder weergegeven. Deze resultaten worden in Figuren 4.2 t/m 4.17 gepresenteerd in de vorm van plots van de RAO's en de respons van het schip:

- 4.2 t/m 4.5 - relatieve verticale beweging den;
- 4.6 t/m 4.9 - relatieve verticale beweging boeg;
- 4.10 t/m 4.13 - buigende momenten;
- 4.14 t/m 4.17 - torsie momenten.

Met betrekking tot de relatieve bewegingen van de den en boeg t.o.v. het golfoppervlak zijn de resultaten consistent met de verwachtingen. Bij hoge golffrequenties is het te verwachten dat het schip nauwelijks beweegt. Golven die van opzij komen worden gereflecteerd en moeten dus bij een hoge frequentie een RAO van 2 hebben (de "relatieve" bewegingsamplitude van de den ten opzichte van wateroppervlak -of vice versa- is twee maal de amplitude van de inkomende golf). Voor golven van voren of van achteren speelt reflectie nauwelijks een rol zodat bij hoge frequenties voor de den een RAO kan worden verwacht van 1 (de golven "strijken" langs de romp).

Voor water over de boeg zijn de gepresenteerde waarden de feitelijk gebruikte gegevens bij de downtime analyse. Voor water over de den zijn steeds vijf uitvoerpunten langs de den beschikbaar (zie Figuur 4.6 voor een principe schets). In elke berekening is, afhankelijk van de golf invalshoek en golfperiode, het uitvoerpunt langs de den gebruikt met de grootste significante amplitude van de relatieve beweging.

Om op eenvoudige wijze de resultaten voor de den weer te geven wordt in de hier gepresenteerde figuren een samengestelde RAO gepresenteerd. Hier staat, voor elke frequentie, de hoogste waarde van de vijf betreffende den-uitvoerpunten weergegeven. Dit geeft een goede indruk van de relatieve waterbeweging langs de hele den, maar is als zodanig niet bruikbaar voor het narekenen van feitelijke responsies (de gecombineerde RAO's zullen altijd een conservatief resultaat opleveren; voor een correcte berekeningen moeten steeds alle vijf uitvoerpunten afzonderlijk bekeken worden).

De resultaten voor de wringende en buigende momenten worden gepresenteerd op een analoge manier, behalve dat de gepresenteerde amplitudes momenten zijn en de RAO's de verhouding weergeven tussen moment (maximum over de beschouwde secties) en golfamplitude. Op dezelfde wijze is de gepresenteerde significante amplitude van de momenten het maximum over de vijf beschouwde secties.

5 Downtime

5.1 Definitie van downtime

In deze paragraaf wordt de definitie van downtime gegeven en vervolgens verduidelijkt aan de hand van een voorbeeld.

Definitie en toelichting

De downtime is het verwachte percentage van de tijd dat er niet gevaren kan worden over een vooraf gedefinieerd traject omdat de kans te groot is dat er zich problemen (water over de den, water over de boeg etc.) voordoen tijdens de vaart over dit traject. De berekende downtime is afhankelijk van het type schip en de beladingstoestand. Bij deze berekening wordt overigens geen rekening gehouden met risicobeperkende maatregelen zoals:

- Varen langs een aangepaste vaarroute;
- Het afdekken en extra borgen van de luiken;
- Het minderen van de vaarsnelheid.

De tijd dat er niet gevaren kan worden, wordt berekend op basis van drie-uurlijkse perioden waarvoor golf- en windcondities beschikbaar zijn. Als gedurende een drie-uurlijkse periode de kans op problemen te groot is, dan wordt ervan uitgegaan dat er tijdens de gehele periode van drie uur niet gevaren kan worden. Een "te grote kans op problemen" (faalkans) betekent dat de kans dat er problemen kunnen ontstaan boven een kritische limiet uitkomt. Het maakt hierbij niet uit hoe ver de limiet wordt overschreden, als hij wordt overschreden dan is er downtime. De downtime wordt dan uitgerekend als zijnde de totale duur van de downtime (de som van de drie-uurlijkse perioden gedurende welke niet gevaren kan worden) gedeeld door de totale simulatieduur (de som van alle drie-uurlijkse perioden die in de simulatie zijn beschouwd). De faalkans over het gehele vaartraject is bij benadering de som van de faalkans per faalmode (water over de den, over de boeg, etc.) en per deeltraject. In het vorige project (Alkyon, 1999a) werd de faalkans bekeken per faalmode. In dat geval was er downtime als de faalkans voor één van de faalmodes boven de kritische limiet uitkwam. In de praktijk maakt dit verschil in definitie weinig uit omdat bij een gegeven golfconditie de faalkans van één van de modes bijna altijd dominant is.

Een voorbeeld

In dit voorbeeld wordt de downtime berekend voor twee faalmodes (water over de den en buigend moment). Dit gebeurt in een simulatie voor een periode van drie dagen. De kritische limiet voor de faalkans wordt gesteld op 1 %. Er wordt ook verondersteld dat het vaartraject bestaat uit 3 deeltrajecten. Verder wordt er vanuit gegaan dat er per deeltraject slechts één golfsysteem actief is. (In de feitelijke studie werden 5 modes beschouwd, bedroeg de simulatieperiode 5 jaar, was het aantal deeltrajecten 50 en waren er drie golfsystemen actief).

De in het voorbeeld beschouwde golf- en windcondities zijn weergegeven in Tabel 5.1. De tabel geeft ook de bijbehorende (fictieve) faalkans voor de twee faalmodes voor een fictief binnenschip. Vervolgens wordt de totale faalkans uitgerekend.

Het eerste deeltraject is voornamelijk open voor uit zee binnendringende en transmissie golven met (als gevolg daarvan) golfcondities met een relatief lange periode. Deeltraject 2 loopt langs een groot wateroppervlak en is daardoor gevoelig voor plaatselijk opgewekte golven met een relatief korte periode. Deeltraject 3 is wat beter afgeschermd voor alle golven.

Bij de eerste twee tijdstippen zijn in Tabel 5.1 alle golfcondities ingevuld. Daarna zijn alleen bij die tijdstippen waar downtime optreedt, de golfcondities weergegeven.

Er zijn drie tijdstippen met downtime (met index 12, 13 en 14). Bij deze tijdstippen is de totale faalkans (over de beide faalmodes en alle 3 deeltrajecten) groter dan 1 %.

Bij tijdstip 12 spelen de door wind opgewekte golven de belangrijkste rol. Aan de faalkans wordt daarbij het meest bijgedragen door deeltraject 2. De mode die de grootste faalkans heeft is water over de den. Bij tijdstip 13 spelen doordringings / transmissie golven bij deeltraject 1 een belangrijke rol. Deze lange golven veroorzaken grote buigende momenten in het fictieve binnenschip. Bij tijdstip 14 spelen de beide faalmechanismen een rol.

In tabel 5.1 zijn de totale faalkansen berekend uit de individuele faalkansen volgens de formules in paragraaf 5.6. Bij benadering is de totale faalkans over alle modes en deeltrajecten gelijk aan de som van de bijbehorende faalkansen. Bij tijdstip 5 is de totale faalkans net onder 1 %. Tijdstip 5 draagt dus niet bij aan de downtime. Als de faalkans bij dit tijdstip wordt bepaald door een simpele sommering dan wordt een faalkans gevonden van 1.001 % en zou dit tijdstip (onterecht) bijdragen aan de downtime.

In het voorbeeld is er dus downtime bij 3 van de 24 tijdstippen (oftewel tijdens 9 van de 72 uur). Dit komt dan overeen met een downtime percentage van 12.5 %.

5.2 Algemeen

Voor de bepaling van de downtime is gebruik gemaakt van een tijdreeks van een aantal metingen, te weten iedere 3 uur, voor de periode januari 1987 t/m december 1991 (vijf volledige jaren). Deze tijdreeks omvat golfmetingen op de locatie van het Europlatform en wind- en waterstandsmetingen bij Hoek van Holland.

De in hoofdstuk 3 besproken SWAN-resultaten zijn gebruikt om de tijdseries bij het Europlatform en Hoek van Holland te transformeren tot tijdseries van golfcondities langs de vaartrajecten van de verschillende varianten. De methodes hiervoor zijn beschreven in paragraaf 5.2. Deze golfcondities bestaan uit drie componenten: doordringing, transmissie en plaatselijke opwekking door wind.

Vervolgens zijn de in hoofdstuk 4 besproken DIFFRAC en SEAWAY resultaten gebruikt om voor elk van de drie tijdseries van golfcomponenten (binnendringing, transmissie en wind) de scheepsresponsies uit te rekenen. Door de energie van drie responsies van elk van de golfcomponenten te combineren wordt de totale respons en de frequentie daarvan bepaald. Dit gebeurt voor alle type responsies (water over de boeg, buiging etc.) op alle uitvoerpunten langs het hele vaartraject.

Aan de hand van de aldus berekende responsies wordt de kans uitgerekend dat er tijdens een vaart op het traject de limiet van deze responsies wordt overschreden. Dit overschrijden van een limiet wordt "falen" genoemd. Dit "falen" hoeft geen noodsituatie te zijn. Het kan bijvoorbeeld betekenen dat over het gehele traject de kans, dat één enkele golf de denhoogte overschrijdt, 1 % bedraagt.

In deze studie is uiteindelijk een aanvaardbare faalkans van 1 % gehanteerd.

Om de downtime uit te rekenen wordt berekend hoe vaak deze faalkans groter is dan aanvaardbaar (1%). Is de faalkans groter, dan hoort er niet gevaren te worden en draagt dit tijdstip in de tijdreeks bij aan de downtime. Bij een kleinere faalkans is dit niet het geval.

De totale hoeveelheid downtime is als volgt berekend:

$$downtime = N_F / N_T * 100\%$$

waarin: N_T het totaal aantal (3-uurlijkse) perioden in de 5 jaar simulatie is
en

N_F het aantal (3-uurlijkse) perioden in de simulatie is waarbij de faalkans groter is dan aanvaardbaar

Op deze manier kan de hoeveelheid downtime uitgezet worden tegenover de aanvaardbare faalkans. In het samenvattingsrapport worden resultaten gepresenteerd met een aanvaardbare faalkans van 1 %. In dit rapport worden verschillende faalkansen beschouwd.

De faalmechanismen zijn gerelateerd aan een responsie van het schip op de golven, bij voorbeeld de hoogte van het wateroppervlak ten opzichte van de den of de kracht in een koppeldraad. Elke responsie varieert in een onregelmatig golfveld en heeft een serie van pieken bij onregelmatige intervallen. De hoogte van elke piek is afhankelijk van de variatie in de invallende golven en het dynamische gedrag van het schip of het koppelverband. Over een traject vindt een serie respons-pieken plaats. Deze pieken zijn statistisch geanalyseerd (zie paragraaf 5.3) en de kans dat de hoogste piek in het traject hoger is dan de limiterende waarde, is vastgesteld voor elke variant, voor elk scheepstype en voor elk faalmechanisme. Tevens is dit apart gebeurd voor vaarten naar en vanuit de nieuwe Maasvlakte. Vervolgens is de totale kans berekend dat één of meer van de faalmechanismen worden overschreden.

De beschouwde faalmechanismen zijn beschreven in hoofdstuk 3. Deze kunnen samengevat worden voor de enkelvoudige schepen:

- Water over de den;
- Water over de boeg;
- Wringend moment in de romp;
- Buigend moment in de romp.

Voor de gekoppelde eenheden zijn de krachten in de koppeldraden ook beschouwd als een mogelijk faalmechanisme. De overige hierboven genoemde faalmechanismen zijn voor de gekoppelde eenheden op schematische wijze gemodelleerd zoals beschreven in hoofdstuk 3. Dit houdt in dat alleen het meest kritische element van het koppelverband wordt meegenomen (bijvoorbeeld de bak) en dat de invloed van de overige elementen op de beweging niet wordt meegenomen. Deze benadering is nodig, omdat de software

voor multi-body-systemen (gebruikt om de krachten in de koppeldraden uit te rekenen) op dit moment geen mogelijkheid heeft uitvoer van de overige faalmechanismen te genereren.

In de golfberekeningen is veelal gebruik gemaakt van de spectrale parameter, T_p , de spectrale piek periode. Het gebruik van deze parameter is gebruikelijk in golfmodellering. Het is echter nodig bij de analyse van de scheepsresponsieken (voor de verschillende bewegingen en krachten) om het aantal pieken te kunnen berekenen. Dit aantal kan berekend worden uit T_{M02} (een spectrale periode). Bovendien bestaat er geen eenduidig piek periode voor de responspectra omdat deze het resultaat zijn van meerdere golfsystemen. Daarom wordt T_{M02} gebruikt bij de analyse van de responspectra.

5.3 Golfcondities in de varianten

Over de periode 14 maart 1986 t/m 31 december 1991 zijn met een interval van 3 uur de volgende gegevens beschikbaar:

- Gemeten waterstand bij Hoek van Holland;
- Gemeten windsnelheid en -richting bij Hoek of Holland;
- Gemeten golfhoogte, -periode en -richting bij Europlatform.

Om seizoensinvloeden te vermijden, is alleen de tijdreeks gebruikt tussen 1 januari 1987 en 31 december 1991 (totaal 5 jaren).

De methode om deze randvoorwaarden te vertalen naar een enkel uitvoerpunt in een enkele variant wordt nu afzonderlijk beschreven voor de drie componenten: transmissie, doordringing en opwekking door wind.

5.3.1 Doordringing

De golfcondities in de haven als gevolg van doordringing worden beïnvloed door de volgende parameters:

- De golfcondities bij Europlatform en
- De waterstanden bij Hoek van Holland.

Hiermee is rekening gehouden in de aanpak. Verder is golfgroei door wind meegenomen tot aan de rekenroosters die de varianten omvatten. Hiervoor is de gemiddelde windsnelheid gebruikt die hoort bij de golfhoogte en -richting bij Europlatform. Let op: de windgroei binnen de haven wordt hier niet meegenomen, maar apart beschreven in paragraaf 5.2.3. Verder zijn twee aspecten niet meegenomen die een gering effect kunnen hebben:

- De variatie in de waterstand tussen Hoek van Holland en het Europlatform;
- Het effect van windvlagen die afwijken van de gemiddelde waarde die is toegepast.

Op basis van de resultaten van de SWAN-berekeningen zijn drie tabellen samengesteld die respectievelijk de golfhoogte, -periode en -richting weergeven bij het uitvoerpunt. Elke tabel geeft de resultaten weer voor alle combinaties van de volgende parameters:

- Waterstanden van -1 m en 3 m t.o.v. NAP bij Hoek van Holland;
- Golfhoogtes van 0,0, 1,5, 3,0 en 5,5 m bij Europlatform;
- Nominale golfsteilheid van 0,02, 0,04 en 0,06 bij Europlatform;
- Golfrichtingen van 225°, 270°, 285°, 300°, 315°, 330°, 345°, 015° bij Europlatform (nautische conventie).

De golfperiode voor de SWAN-berekeningen is uitgerekend aan de hand van de golfhoogte en nominale golfsteilheid. Hiervoor is de volgende definitie van de nominale steilheid gebruikt:

$$\text{Steilheid, } s = H_s / (1.56 * T_p^2)$$

Voor elke tijdstap in de series zijn de golfcondities bij het Europlatform en de waterstand bij Hoek van Holland gezocht en de golfsteilheid uitgerekend. Door op basis van deze gegevens lineair te interpoleren in de SWAN resultaten, zijn vervolgens de golfcondities bij het uitvoerpunt bepaald.

Het resultaat hiervan is een nieuwe tijdserie, met de golfcondities bij het betreffende uitvoerpunt die veroorzaakt worden door golfdoordringing.

5.3.2 Transmissie

Evenals bij de doordringing worden de golfcondities in de haven door transmissie beïnvloed door de volgende parameters:

- De golfcondities bij het Europlatform en
- De waterstanden bij Hoek van Holland.

Hiermee is rekening gehouden in de aanpak. Verder is golfgroei door wind meegenomen tot aan de rekenroosters die de varianten omvatten. Hiervoor is de gemiddelde windsnelheid gebruikt die hoort bij de golfhoogte en -richting bij het Europlatform. N.B.: de windgroei binnen de haven wordt hier niet meegenomen, maar wordt apart beschreven in paragraaf 5.2.3.

Verder zijn twee aspecten niet meegenomen die een gering effect kunnen hebben:

- De variatie in de waterstand tussen Hoek van Holland en Europlatform;
- Het effect van wind welke afwijkt van de gemiddelde waarde die is toegepast.

Op basis van de resultaten van de SWAN-berekeningen zijn drie tabellen samengesteld die respectievelijk de golfhoogte, -periode en -richting weergeven bij het uitvoerpunt. Elke tabel geeft de resultaten weer voor alle combinaties van de volgende parameters:

- Waterstanden van -1 m en 3 m t.o.v. NAP, bij Hoek van Holland;
- Golfhoogtes van 0,0, 1,5, 3,0 en 5,5 m bij Europlatform;
- Golfsteilheid van 0,04 bij Europlatform;
- Golfrichtingen van 225°, 270°, 285°, 300°, 315°, 330°, 345°, 015° bij Europlatform (nautische conventie);

De SWAN-berekeningen zijn uitgevoerd met een transmissiecoëfficiënt van 30 %.

Voorafgaande aan de toepassing zijn de golfhoogtes in de tabellen aangepast om rekening te houden met afwijkingen van de berekende transmissie met de transmissie die is gebruikt in de SWAN berekeningen. Voor elk uitvoerpunt en elke golfrichting is de maatgevende golfbreker gekozen (meestal de dichtstbijzijnde). De golfhoogte net buiten de golfbreker is opgezocht en de transmissiecoëfficiënt is uitgerekend. Vervolgens zijn de golfhoogtes in de tabellen aangepast in verhouding tot de transmissiecoëfficiënt.

De transmissie over de golfbrekers is berekend met de formule van Goda. Deze geeft de transmissiecoëfficiënt K_T weer als functie van de waterstand h , de kruinhoogte K_{kr} , de kruinbreedte K_b , de grote van de elementen van de golfbreker D_{50} , en de inkomende golfhoogte H_{s1} .

$$K_T = 0.5 \cdot (1 - \sin\{\pi \cdot [\beta + (h - K_H) / H_{sl}] / (2\alpha)\}) \quad \text{voor } -\beta - \alpha < (h - K_H) / H_{sl} < \alpha - \beta$$

Voor de toepassing van de formule is de golfhoogte vermenigvuldigd met een correctiefactor, $\sqrt{\cos(\theta)}$, waarin θ de richting van de golf is ten opzichte van de golfbreker. Deze factor heeft echter weinig effect op de berekende transmissie coëfficiënt voor golven die invallen met richtingen binnen 60° ten opzichte van de richting loodrecht op de golfbreker. Voor golfrichtingen buiten dit bereik neemt de transmissie coëfficiënt af tot een waarde van 0,0 voor golven die invallen met een richting parallel aan de golfbreker.

Voor elke tijdstap in de tijdseries is vervolgens een tijdserie van de golven bij het uitvoerpunt berekend, op dezelfde wijze als voor de doordringende golven. Het resultaat hiervan is een nieuwe tijdserie met de golfcondities bij het betreffende uitvoerpunt die veroorzaakt worden door golftransmissie.

5.3.3 Golfopwekking door wind

De generatie van golven door wind in de haven wordt beïnvloed door de windsnelheid en -richting bij Hoek van Holland.

SWAN-berekeningen zijn uitgevoerd voor verschillende combinaties van windsnelheid en -richting, zoals beschreven in hoofdstuk 4. Op basis van de resultaten van deze berekeningen zijn drie tabellen samengesteld, die respectievelijk de golfhoogte, -periode en -richting weergeven bij het uitvoerpunt. Elke tabel geeft de resultaten weer voor alle combinaties van de volgende parameters:

- Windsnelheden van: 0,0, 6,6, 14,1 en 21,6 m/s;
- Windrichtingen van 15° , 45° , 90° , 105° , 135° , 195° , 225° , 255° , 285° , 315° , 345°

Voor elke tijdstap in de tijdseries is vervolgens een tijdserie van de golven bij het uitvoerpunt berekend, op dezelfde wijze als voor de overige golven. Het resultaat hiervan is een nieuwe tijdserie met de golfcondities bij het betreffende uitvoerpunt die lokaal door de wind zijn opgewekt.

5.4 Scheepsresponsies

In dit hoofdstuk wordt de methode beschreven om de scheepsresponsies uit te rekenen bij ieder punt langs de vaarttrajecten, op basis van de plaatselijke golfcondities en de overdrachtsfuncties, zoals beschreven in hoofdstukken 3 en 4.

De toegepaste methode gaat ervan uit dat de scheepsresponsies lineair zijn en dat het totale responspectrum de som van de specifieke responspectra voor doordringing, transmissie en windopwekking is. Hieruit volgt dat de spectrale momenten, M_0 en M_2 , van de totale respons als volgt kunnen worden uitgerekend:

$$M_0 = M_{0D} + M_{0T} + M_{0W}$$

$$M_2 = M_{2D} + M_{2T} + M_{2W}$$

of, geschreven in termen van de significante beweging A_s en de bijbehorende periode, T_{M02}

$$A_s^2 = A_{SD}^2 + A_{ST}^2 + A_{SW}^2$$

en

$$A_s^2 / T_{M02}^2 = A_{SD}^2 / T_{M02D}^2 + A_{ST}^2 / T_{M02T}^2 + A_{SW}^2 / T_{M02W}^2$$

waarin de indices D, T en W verwijzen naar de componenten van respectievelijk doordringing, transmissie en lokale opwekking door wind.

Het resultaat van het werk, beschreven in hoofdstuk 4, zijn de waarden van A_s en T_{M02} , berekend voor elk van de faalmechanismen en voor elk schip. Voor de eerste vier faalmechanismen zijn, op basis van de resultaten van deze berekeningen, twee respons-tabellen samengesteld (weergegeven op de CD Rom), die respectievelijk de significante amplitude A_s en de periode T_{M02} van de respons weergeven. Elke tabel geeft de resultaten weer voor alle berekende combinaties van inkomende golfrichting, golfpiekperiode en golfhoogte.

Voor elke tijdstap in de tijdreeks zijn voor elk punt langs het traject de plaatselijke golfcondities veroorzaakt door doordringing, transmissie en generatie door wind bekend. Op basis van deze gegevens wordt in de respons-tabellen geïnterpoleerd om per golfbijdrage de scheepsrespons-amplitude en de respons-periode te bepalen. Vervolgens is de totale respons bij het uitvoerpunt uitgerekend aan de hand van bovenvermelde formules.

Voor de krachten in de koppeldraden is een soortgelijke aanpak gevolgd. De relatie tussen de kracht in de draad en de inkomende golfcondities is echter niet-lineair. Om deze reden zijn de tabellen met de resultaten samengesteld voor alle combinaties van de volgende parameters:

- H_s : 0,3 m, 0,5 m en 0,8 m;
- T_p : 3 s, 5 s en 8 s;
- Richtingen (t.o.v. de as van het schip): 12 richtingen om de 30° , beginnend bij 15° .

Let op: de symmetrie van het schip is gebruikt om resultaten voor 12 richtingen af te leiden uit de resultaten voor de 6 berekende richtingen. Het verschil in de resultaten tussen bakboord en stuurboord wordt automatisch meegenomen daar de hoogste van de relatieve bewegingen aan beide zijden van het schip is meegenomen.

Dat de krachten in de koppeldraden niet-lineair zijn betekent dat het samenstellen van de condities volgens de bovenvermelde formules niet helemaal juist is. Over de meeste delen van de trajecten is echter één van de golfsystemen dominant (bij voorbeeld de golfenergie door plaatselijke windgroei is veel groter dan die veroorzaakt door doordringing of transmissie). Dit betekent dat deze aanpak toch een redelijke benadering blijft.

Aanvullend gevoeligheidsonderzoek waarbij gekeken is naar richtingsspreiding (zie paragraaf 4.6), zowel als vergelijking van de berekeningsresultaten met de praktijkwaarnemingen (zie ook paragraaf 5.4), gaven aanleiding om de berekende scheepsrespons resultaten deels als te onnauwkeurig en ook te conservatief te beschouwen. Daarom is in de eindanalyse ervoor gekozen de resultaten van de praktijkwaarnemingen te gebruiken in het afleiden van de responsies voor de gekoppelde eenheden.

5.5 Verdeling van pieken

De faalmechanismen zijn gerelateerd aan de respons van het schip op de golven, bij voorbeeld de hoogte van het wateroppervlak ten opzichte van de den of de kracht in een koppeldraad. Elke responsie varieert in de tijd en heeft een serie van pieken bij onregelmatige intervallen. De hoogte van elke piek is afhankelijk van de golfconditie en

het dynamische gedrag van het schip of het koppelverband. Op een vaart naar (of van) de MV2 zal een hele serie respons-pieken plaatsvinden.

Deze paragraaf beschrijft hoe de kans dat de hoogste piek in het vaartraject hoger is dan de limiterende waarde wordt bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen gedrag dat beschouwd kan worden als een Gaussisch proces (de scheepsbewegingen en interne krachten) en gedrag dat dusdanig niet-lineair is dat het niet beschouwd kan worden als Gaussisch (de krachten in de lijnen).

Voor een Gaussisch proces kan de verdeling van de pieken worden afgeleid van de energie van het proces M_0 (het nulde moment van het spectrum). Voor hoge pieken met een lage waarschijnlijkheid heeft Cartwright (1958) laten zien dat deze pieken Rayleigh verdeeld zijn en dat de frequentie van deze pieken kan worden berekend aan de hand van M_0 en M_2 (het tweede moment van het spectrum). De volgende formules beschrijven de periode (T_{m02}) van de pieken in een Rayleigh verdeling en de kans (p) dat een individuele piek η_1 hoger is dan de limietwaarde η :

$$p(\eta_1 > \eta) = \exp(-0,5\eta^2/M_0)$$
$$T_{m02} = 2\pi \sqrt{(M_0 / M_2)}$$

De tijdreeksen van de kracht in de koppeldraden zijn anders geanalyseerd. Eerst is de gemiddelde kracht in elke draad uitgerekend waarna het gemiddelde is afgetrokken van het signaal. Vervolgens zijn van het gecorrigeerde signaal de pieken geïdentificeerd en de hoogte van elke piek vastgelegd. De frequentie van de pieken is ook vastgelegd. De verdeling van de vastgelegde pieken is vervolgens geanalyseerd. Uit deze analyse bleek dat voor de maatgevende gevallen de volgende verdeling goed paste bij de gegevens:

$$p(\xi_1 > \xi) = \exp(-(\xi/\zeta)^{1,2})$$

Hierin is ξ de waarde van de piek. ζ is een fitparameter die volgt uit de gegevens (de piekverdeling uit analyse van de tijdserie voor de krachten in de draden); ζ is een maat van de amplitude van de variaties in de belasting - een soort significante belastingamplitude.

ζ en de frequentie van de pieken zijn bepaald voor elke koppeldraad. De analyse is zodanig uitgevoerd dat de overschrijdingskans van de toelaatbare belasting ($MWL = 60$ % van de breeksterkte) correct wordt weergegeven. (Eigenlijk doet de vorm van de verdeling er dan niet meer toe bij de golfcondities waarvoor LIFSIM berekeningen zijn gemaakt - alleen voor interpolatie bij tussenliggende golfcondities is een zo goed mogelijke weergave van de vorm van de verdeling van belang).

Vervolgens zijn de verdelingen genormaliseerd door de kracht te delen door de toelaatbare dynamische belasting (dat deel van de toelaatbare belasting dat overblijft nadat de gemiddelde kracht in de draad er van afgetrokken is).

$$\chi = \zeta / (S_T - S_{GEM})$$

Waarin S_T de toelaatbare spanning is en S_{GEM} de gemiddelde spanning is.

Voor elke berekende golfconditie zijn de maximumwaarden van χ (het maximum over alle draden) en de gemiddelde periode tussen de belastingpieken opgeslagen voor nadere verwerking bij het uitrekenen van de faalkans.

In verband met de complexiteit van de berekeningen van de krachten in de koppeldraden voor de meervoudige schepen (paragraaf 4.6) welke in het algemeen leiden tot te conservatieve resultaten alsmede de gevoeligheid van de resultaten ten aanzien van richtingsspreiding van golven (paragraaf 5.3) is er uiteindelijk voor gekozen de absolute waarden van de downtime parameters (het respons-niveau) primair te baseren op de praktijkwaarnemingen aangevuld met de trends uit de berekeningen.

De praktijkwaarnemingen zijn gebruikt door de limiterende condities, veelal gegeven in windsterkte, aan de hand van eenvoudige modellen te vertalen naar golfhoogte en periode, rekening houdend met de locatie van de waarneming.

5.6 Faalkans over een traject

Voor een gegeven tijdstip worden de golfcondities en de bijbehorende scheepsresponsies opgezocht in de tijdreeks van het specifieke uitvoerpunt op het vaartraject. De faalkans, p_{ij} voor elke responsmode (i) en elke locatie langs het traject (j) wordt vervolgens als volgt uitgerekend:

voor de den, de boeg, het buigende moment en het torsiemoment is de faalkans voor een piek:

$$p_{ij} = p(x > x_i) = \exp(-0,5 \cdot x_i^2 / M_{0ij})$$

Het aantal pieken van een mode over een deel van het traject, N_{ij} , is dan:

$$N_{ij} = T / T_{M02ij}$$

waarin T is de vaartijd van het deeltraject

Volgens een standaard waarschijnlijkheidstheorie is de faalkans over het deeltraject, j , voor deze mode:

$$P_{TH} = 1 - (1 - p_{ij})^{N_{ij}}$$

en de faalkans over alle trajecten en alle modes:

$$P_{total} = 1 - \prod_i \prod_j (1 - p_{ij})^{N_{ij}}$$

5.7 Aanvaardbare faalkans

Een van de parameters die de hoeveelheid downtime bepaalt, is de aanvaardbare faalkans. In deze studie is (net als in de voorgaande studie) een aanvaardbare faalkans van 1 % aangehouden. Wel is de definitie van de faalkans in deze studie strenger geworden. Het is nu de totale kans van falen op een traject over alle faalmechanismen. In de vorige studie was er downtime als de kans op één of meer van de faalmechanismen de kritische waarde overschreed. Wij verwachten echter dat dit in de praktijk weinig uit zal maken omdat in de meeste gevallen één van de mechanismen dominant is.

Om de gekozen waarde van 1 % in perspectief te plaatsen wordt de faalkans nu vergeleken met andere gangbare waarden voor ontwerpdoeleinden, in het bijzonder voor offshore ontwerpen en de dimensionering van het vrijboord voor zeeschepen.

Om de aanvaardbare faalkans te vergelijken met de gebruikelijke waarde voor offshore ontwerpen is het nodig om het aantal responsies in de kritische trajecten te schatten. Stel nu dat de bijdragen aan de faalkans uitsluitend uit één deeltraject (lengte 200 m) voortkomen en dat de periode van de responsie 4 seconde is (representatieve waarde). Bij een (representatieve) snelheid van 12 km/uur doet het schip 60 seconden over dit deeltraject hetgeen overeenkomt met 15 responsies. Een faalkans van 1 % houdt dan verband met de hoogste piek in 1500 responsies. In de offshore wordt vaak ontworpen met de hoogste verwachte golf in een storm van 3 uur. Dit komt ongeveer overeen met de hoogste verwachte golf in 1000 golven. Hieruit kunnen wij opmaken dat de aanvaardbare faalkans toegepast in deze studie ongeveer even streng is als de aanvaardbare faalkans criteria toegepast voor offshore ontwerp.

Een tweede mogelijke vergelijking voor de faalkans is op basis van de methodiek voor het bepalen van het vrijboord van zeeschepen. Ook hier is sprake van een stochastisch proces. Vrijboord en boeghoogte worden geregeld door de regels van de 1966 ICLL, die in feite gebaseerd zijn op falen in het verleden. Als deze boeghoogten vertaald worden naar het overschrijden van deze waarden door de verticale relatieve bewegingen, dan blijkt dit overeen te komen met een LANGE termijn kans van 1.5%-2.5% (voor schepen tussen de 50m en 150m lang, afnemend met de lengte). Hierbij is uitgegaan van snelheid nul in het Winter North Atlantic wave scatter diagram. Voor varende schepen ($F_n=0.10$) worden voor zowel de boeghoogte als het vrijboord aanzienlijk grotere waarden gevonden: 4%-6% voor schepen tussen de 50 en 150 m lengte. Germanische Lloyd werkt in hun studie over vrijboorden met toelaatbare KORTE termijn kansen van zelfs 15,0% in dit wave scatter diagram. Nordforsk 1987 adviseert echter 5% als KORTE termijn criterium voor water aan dek.

Een derde vergelijking is met de aanvaardbare kans op "slamming" bij zeeschepen. Dit is het bij zware golfcondities volledig uit het water komen van de boeg en terugvallen in het water. Hierbij treden grote schokbelastingen op. Om een idee van de orde grootte van geaccepteerde kansen te geven: de geaccepteerde KORTE termijn kansen zijn:

- Lengte minder dan 100 m 3%,
- Lengte groter dan 300 m 1%,
- Tussenvallende lengtes door lineaire interpolatie.

Over het algemeen genomen lijkt de in de huidige studie gebruikte aanvaardbare faalkans van 1 % dus redelijk te zijn, maar eventueel iets aan de zware kant. Bedacht moet echter worden dat het in de genoemde vergelijkingen gaat om offshore en zeeschip operaties waarbij het ontwerp en het gebruik van de installaties specifiek ingericht is op gebruik in zware condities.

5.8 Resultaten

In deze paragraaf worden samenvattingstabellen en plots gepresenteerd van de uitgebreidere analyse van de downtime per variant, waarbij met de aanvaardbare faalkans is gevarieerd.

Figuren 5.1 t/m 5.10 geven de relatie tussen downtime en de aanvaardbare faalkans voor de volgende varianten:

- Variant T - de huidige situatie;
- Variant A;
- Variant B;
- Variant C;
- Variant C_{NT} - variant C zonder transmissie over de buiten dam (wel transmissie over de Noorderdam).

Figuren 5.1 t/m 5.5 geven de resultaten voor de heenreis en 5.6 t/m 5.10 voor de terugreis. De relatie wordt weergegeven voor elk schip en voor de gekoppelde eenheden voor elke van de faalmechanismen apart en de totaal faalkans over alle mechanismen.

Figuren 5.11 t/m 5.20 geven de gemiddelde faalkans per deeltraject in gevallen met downtime voor de vijf bovengenoemde varianten. Figuren 5.11 t/m 5.15 geven de resultaten voor de heenreis en 5.16 t/m 5.20 voor de terugreis. De kritische locaties worden weergegeven voor elk schip en voor de gekoppelde eenheden systeem.

De resultaten zijn ook samengevat in tabellen 5.2 t/m 5.7 als volgt:

- Tabellen 5.2 en 5.5 geven de downtime voor elk scheepstype in elke variant bij een aanvaardbare faalkans van 1 %;
- Tabellen 5.3. en 5.6 geven aan welk deel van de responsie wordt veroorzaakt door elke van de golfsystemen (doordringing, transmissie en plaatselijk gegenereerd) in gevallen met downtime;
- Tabellen 5.4 en 5.7 geven aan in hoeveel van de gevallen met downtime elk van de faalmechanismen de belangrijkste rol speelt.

Tabellen 5.2 t/m 5.4 hebben betrekking op de heenreis en 5.5 t/m 5.7 op de terugreis.

De resultaten worden nu per situatie of variant besproken:

5.8.1 Huidige situatie

Op de beschouwde vaarroute (zie Figuur 1.01) hebben de schepen nauwelijks last van binnendringende of getransmitteerde golven. Golfhinder vindt dan voornamelijk op die delen van het traject plaats, waar golven kunnen worden opgewekt die van opzij op de schepen inkomen. Dit komt met name voor ten oosten van de Mississipihaven en ten noordoosten van de Europahaven.

5.8.2 Variant A

De Spits en de Kempenaar hebben de meeste downtime in die delen van het vaartraject waar veel strijklengte beschikbaar is, d.w.z. tussen de punten 7 en 26 en tussen de punten 42 en 50 (zie Fig. 3.2).

De Dortmunder, het Europaschip, het Groot Rijnschip, de Duwbak, de Jowi (leeg) en de gekoppelde eenheden hebben de meeste hinder tussen de punten 42 en 46. Al wordt op deze locaties de grootste bijdrage aan de golven vaak veroorzaakt door windgolven, ook de golven door transmissie en doordringing leveren hier hun bijdrage. Verder vallen de golven op dit deel van het traject vaak van opzij in. Van deze schepen ondervinden de gekoppelde eenheden de meeste hinder hetgeen zich uit in te hoge spanningen in de koppeldraden. Het is echter ook zo dat de duwbak een te hoge downtime heeft vanwege water over de den. Dit geeft aan dat deze faalmechanismen bijna even belangrijk zijn.

5.8.3 Variant B

Voor de Spits en de Kempenaar wordt het grootste deel van de downtime veroorzaakt door golven opgewekt door wind. Voor deze schepen is de bijdrage van golven door doordringing bij deze variant belangrijker dan bij de overige varianten. Dit is te verwachten, omdat het deel van de vaarroute bij punt 43 (zie Figuur 1.03) is blootgesteld aan van opzij invallende golven vanuit de haveningang.

Voor de Dortmunder, het Europaschip, het Groot Rijnschip en de gekoppelde eenheden, leveren de doordringende golven een bijdrage van betekenis aan de downtime. Dit is terug te vinden in het deel van het traject waar deze schepen de meeste golfhinder ondergaan, d.w.z. rondom punt 43.

Voor de Dortmunder en de Jowi (leeg) zijn het de buigende momenten die de meeste downtime veroorzaken terwijl voor het Europaschip water over de den de meest voorkomende oorzaak is.

5.8.4 Variant C

Voor de Spits en de Kempenaar en de enkelvoudige duwbak wordt het grootste deel van de downtime veroorzaakt door golven opgewekt door wind. Dit correspondeert met het feit dat voor deze schepen het meest voorkomende faalmechanisme water over de den is.

De Dortmunder en de lege Jowi hebben ook allebei meer dan 3 % downtime. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door buigende momenten en hangt samen met transmissie golven. Deze schepen ervaren de meeste problemen daar waar ze de golven op de kop hebben, d.w.z. rondom punt 41 en punt 51 maar niet ertussenin.

De gekoppelde eenheden hebben ongeveer 10 % downtime. Dit wordt veroorzaakt door te hoge spanningen in de koppeldraden en hangt samen met de getransmitteerde golven. Dit is te zien in de deeltrajecten die de downtime geven - tussen traject 41 en 51.

5.8.5 Variant C_{NT}

De downtime voor schepen die gevoelig zijn voor water over de den is voor deze variant, zoals verwacht, vergelijkbaar met variant C omdat dit probleem samenhangt met door wind opgewekte golven. Voor de schepen die gevoelig zijn voor de buigende momenten of de kracht in de koppeldraden biedt deze variant aanzienlijke voordelen vergeleken met variant C. Ook dit is te verwachten omdat hoge buigende momenten en hoge koppelkrachten voornamelijk veroorzaakt worden door de (langere) getransmitteerde golven.

De gekoppelde eenheden hebben een downtime in de orde van 3 %. Het belangrijkste faalmechanisme is nog steeds het breken van draden maar wordt nu voornamelijk veroorzaakt door de lokaal opgewekte windgolven.

De locatie waar de meeste hinder plaatsvindt is voor alle schepen rondom deeltraject 20. Hier is open water voor opwekking van golven beschikbaar terwijl dit gebied ook open is voor golven die doorgelaten zijn over de Noorderdam.

6 Conclusies

Algemeen

De downtime is uitgerekend voor 11 scheepstypes (inclusief drie gekoppelde eenheden) voor de huidige situatie (T0) en vier varianten (A, B, C en C_{NT}).

De downtime is het verwachte percentage van de tijd dat er niet gevaren kan worden langs een vooraf gedefinieerd traject omdat het risico van mogelijke problemen (water over de den, water over de boeg etc.) te groot is.

De berekende downtime is afhankelijk van het type schip en de beladingstoestand. Bij deze berekening wordt overigens geen rekening gehouden met risicobeperkende maatregelen zoals:

- Varen langs een aangepaste vaarroute;
- Het afdekken en extra borgen van de luiken;
- Bij duwvaart en koppelverbanden, het verlengen van de verbindingdraden om de maximale krachten in de lijnen te reduceren;
- Het minderen van de vaarsnelheid.

Dit betekent dat de berekende downtime conservatief kan zijn.

Varianten

In algemene termen, is de huidige situatie (referentie situatie T0) de meest gunstige voor de binnenvaart. De schepen hebben weinig last van doordringende of getransmitteerde golven en als deze wel aanwezig zijn krijgen de schepen ze recht van voren. Deze golfrichting is gunstiger dan van opzij invallende golven voor water over de den en spanningen in de koppeldraden en ongunstiger voor buigende momenten. De binnenschepen hebben echter weinig hinder van de buigende momenten.

Van de nieuwe varianten zijn de varianten A en C_{NT} het gunstigst. Variant A is iets gunstiger voor de kleine enkelvoudige schepen en variant C_{NT} is iets gunstiger voor de gekoppelde eenheden. Schepen in variant A kunnen hinder ondervinden bij deeltraject 42 veroorzaakt door getransmitteerde golven vanuit het noordwesten en noorden, die van opzij op het schip inkomen. Bij variant C_{NT} is er geen transmissie over de buitendam en zijn het, vanwege de relatief grote wateroppervlaktes die beschikbaar zijn voor het opwekken van golven, voornamelijk de lokaal door wind opgewekte golven die de meeste hinder veroorzaken.

Varianten B en C zijn ongunstig vanwege de openheid van de vaartrajecten voor getransmitteerde golven uit veel voorkomende richtingen (west t/m noordwest).

Scheepstypen

In de nieuwe varianten blijkt dat bij de enkelvoudige schepen de golfhinder gerelateerd is aan de scheepsmaat. In het algemeen geldt dat de kleinste schepen de grootste golfhinder ondervinden. Bij de kleinste schepen loopt de downtime op to orde 10%-12% terwijl de grootste schepen nauwelijks last hebben van golven (downtime onder de 1%). De gekoppelde eenheden hebben relatief veel golfhinder (4%-10% afhankelijk van de variant) als gevolg van te hoge krachten in de koppeldraden.

In alle varianten hebben de kleinere schepen (Spits en Kempenaar) een relatief hoge downtime als ze volgeladen zijn. In deze gevallen wordt de grootste bijdrage aan de downtime veroorzaakt door water over de den. In de praktijk zal de schipper bij gevaar van wateroverslag over de den zo mogelijk het ruim met luiken afsluiten en eventueel

afdekken met dekkleden. In het geval van de Kempenaar is het bijna zeker dat de downtime in de praktijk hierdoor minder zal zijn.

Voor de meeste enkelvoudige schepen is water over de den de meest voorkomende oorzaak van downtime. Voor de Dortmunder is het buigende moment in het schip belangrijker dan water over de den, en voor het type Jowi wordt de downtime veroorzaakt door het buigende moment, voornamelijk in lege toestand waarbij het stilwater buigend moment reeds groot is. De gevoeligheid van de Dortmunder voor de buigende momenten is mogelijk conservatief omdat de toelaatbare buigende momenten afgeleid zijn op basis van verouderde gegevens.

Verder lijkt het dat problemen met water over de den eerder samenhangen met windgolven dan met golven door doordringing of transmissie. Daarentegen hangen de problemen met de buigende momenten en krachten in koppeldraden samen met de golven van zee (doordringing en transmissie). Dit komt overeen met de praktijkwaarnemingen.

Voor de gekoppelde eenheden is de belangrijkste oorzaak van downtime verbonden aan het kans op breken van de koppeldraden. Omdat hoge spanningen in deze draden samenhangen met golven met een langere periode, spelen golfdoordringing en -transmissie over de dammen een rol van betekenis, wat met name het geval is bij varianten A, B en C.

Samenvattend

Samenvattend kan het volgende geconcludeerd worden.

- De Maasvlakte 2 varianten hebben een hogere downtime dan de huidige Maasvlakte. Dit komt zowel door de grote wateroppervlaktes waar wind golven kan opwekken als ook door de grote openheid voor golven die van buiten door de poreuze havendammen dringen (transmissie).
- De kleinere schepen (Spits en Kempenaar) hebben in alle varianten relatief veel downtime, voornamelijk ten gevolge van waterovername over de den, terwijl het Europaschip, het Rijnschip en de Jowi hier juist relatief ongevoelig voor zijn. De gekoppelde eenheden (duwstellen en koppelverbanden) ondervinden hinder van met name de langere golven die hoge spanningen in de koppeldraden kunnen veroorzaken.
- Variant A scoort van de oorspronkelijke varianten het best met downtime-percentages in de orde van 3%
- Varianten B en C scoren beide slecht, met name voor de gekoppelde eenheden die daar veel last hebben (10% downtime) van de langere golven die transmitteren over de golfbrekers.
- De nieuwe variant C_{NT} waarbij de buitendam zodanig hoog en breed is dat daar geen transmissie plaatsvindt geeft een aanzienlijke verbetering voor met name de gekoppelde eenheden. Deze variant is hiermee voor deze schepen zelfs iets beter dan variant A.

Aanbevelingen

De volgende algemene principes worden aanbevolen bij het ontwikkelen en nader uitwerken van de varianten:

- Vermijd grote wateroppervlaktes ten westen van de vaarroutes, met name waar golven opgewekt kunnen worden die van opzij inkomen op de varende binnensche-

pen. Dit is van belang om bij de kleinere schepen en de bakken de kans op water-overslag over de den te verminderen.

- Vermijd ontwerpen waarbij binnenschepen blootgesteld worden aan van opzij invallende golven die doordringen vanaf de Noordzee (door de ingang of over/door de golfbrekers). Deze golven hebben een lange periode en veroorzaken zelfs bij kleine golfhoogtes hoge krachten in de koppeldraden van gekoppelde eenheden.

In het bijzonder raden wij het volgende aan:

- Bij punten 46 t/m 49 in variant A (zie Fig. 3.06) worden de binnenschepen blootgesteld aan van opzij invallende golven die het gevolg zijn van transmissie door de Noorderdam en van windopwekking over de grote wateroppervlakte ten noordwesten van deze punten. Deze situatie kan met behulp van een golfbreker, zoals weergegeven in de Figuren 6.1 - 6.4, aanzienlijk worden verbeterd. Verwacht wordt dat dit zal resulteren in een aanzienlijk vermindering van de downtime, met name voor de gekoppelde eenheden.

In de Figuren 6.3 en 6.4 is tevens de wateroppervlakte ten noordwesten van deze golfbreker vervangen door haventerrein. Deze beperking in strijklengte reduceert de hoogte van de lokaal door wind opgewekte golven.

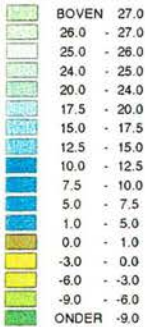
Voorts is bij de Figuren 6.1 - 6.4 op te merken dat de lay-out enigszins is aangepast om de binnenvaartschepen voldoende ruimte te geven om bij het bocht te kunnen manoeuvreren. Daartoe is de brug in oostelijke richting verplaatst, is het haventerrein ten noorden van de vaarbaan en ten westen van de brug ingekort en is de scherpe hoek van het haven terrein ten zuiden van de vaarbaan en ten westen van de brug afgerond. Hierbij is verondersteld dat de brug zelf geen belemmering vormt voor de binnenvaart (i.e. de brug is voldoende breed en hoog) zodat er geen wachtplaatsen aan weerszijden van de brug nodig zijn.

- Bij variant B (zie Figuur 3.07) zal een zelfde aanpassing als bij variant A (zie hierboven) eveneens een aanzienlijke verbetering geven.
- In variant B ondervinden de binnenschepen aanzienlijke hinder door golven getransmitteerd door de nieuwe golfbrekers. Een aanzienlijk verbetering kan gerealiseerd worden door deze golfbrekers niet-poreus (en wellicht hoger) te bouwen om deze transmissie te elimineren.
- In variant C is het grootste probleem transmissie door de westelijke golfbreker. Dit probleem is opgelost in variant C_{NT}.
- In variant C_{NT} ondervinden de gekoppelde eenheden en kleinere schepen hinder van golven opgewekt over de grote oppervlakte ten zuidwesten van punten 43 t/m 47 (zie Figuur 3.08). In het praktijk kan het vaargedrag van de schippers dit probleem aanzienlijk reduceren door eerder over te steken (verkeerde wal houden).

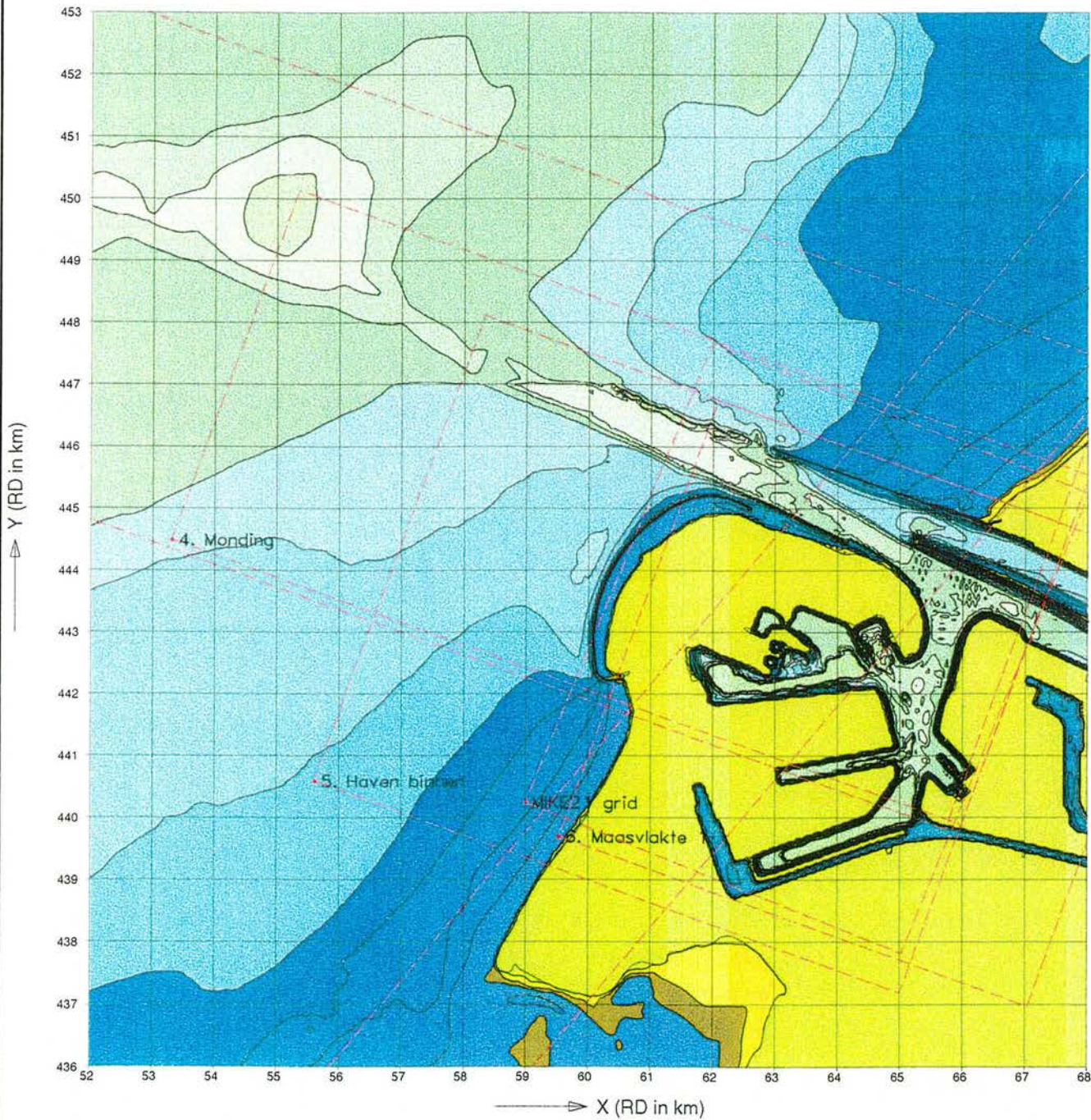
A14, p. 6 - 20090201 - 10 12 27 - 000000 - 000000 1:5

Schematisatie bathemetrie

Diepte
t.o.v. NAP



N



Maasvlakte 2 - Situatie T0
Schematisatie

Schaal 1 : 100000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydrolic Engineering & Research

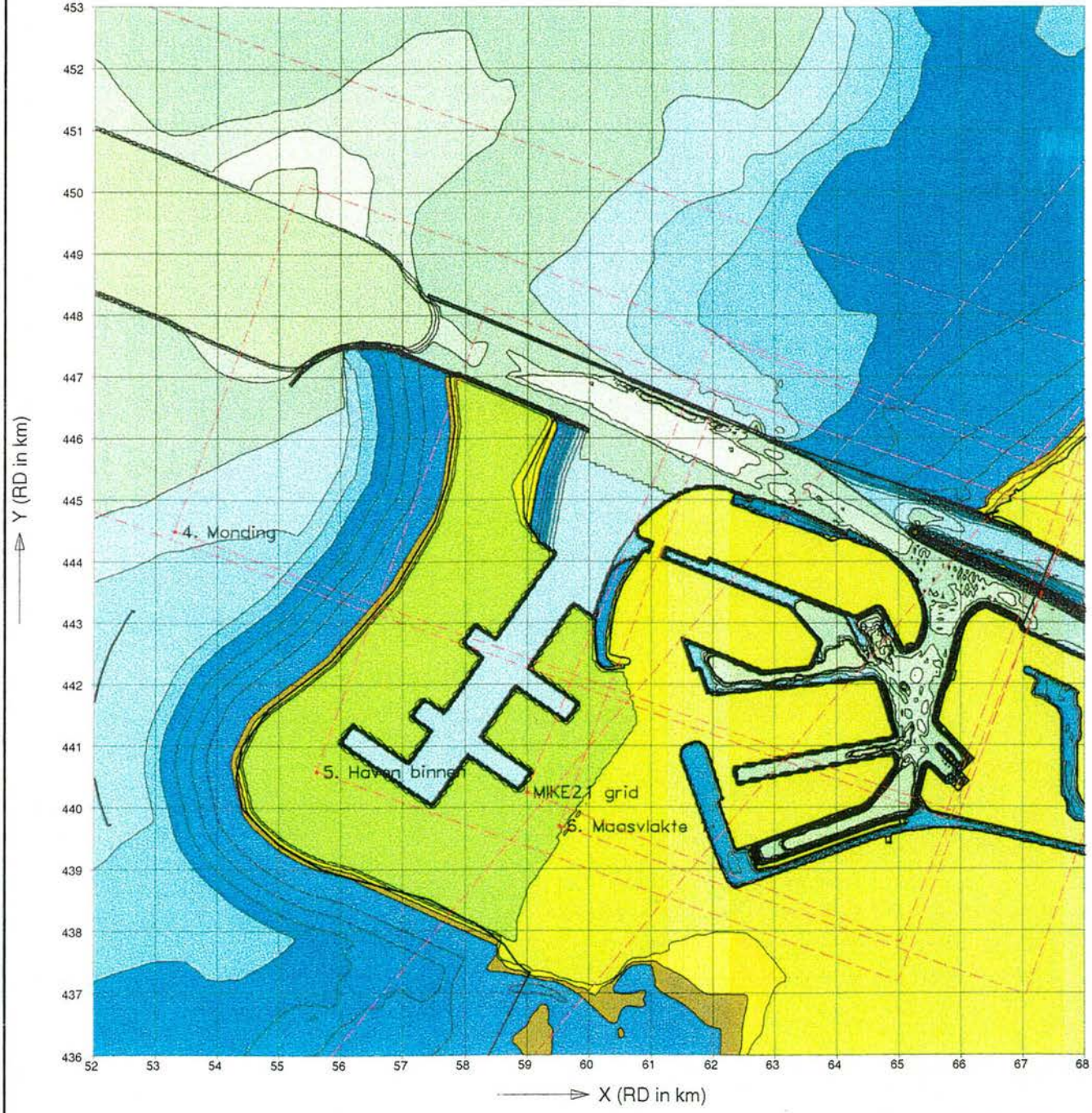
Fig. 3.1

Schematisatie bathemetrie

Alkyon 20000201 1025 20 04446+0300111 82

Diepte
t.o.v. NAP

- BOVEN 27.0
- 26.0 - 27.0
- 25.0 - 26.0
- 24.0 - 25.0
- 20.0 - 24.0
- 17.5 - 20.0
- 15.0 - 17.5
- 12.5 - 15.0
- 10.0 - 12.5
- 7.5 - 10.0
- 5.0 - 7.5
- 1.0 - 5.0
- 0.0 - 1.0
- 3.0 - 0.0
- 6.0 - -3.0
- 9.0 - -6.0
- ONDER -9.0



Maasvlakte 2 - Variant A0
Schematisatie

Schaal 1 : 100000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

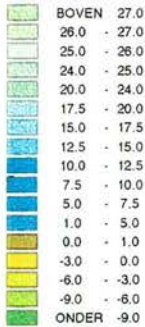
A468



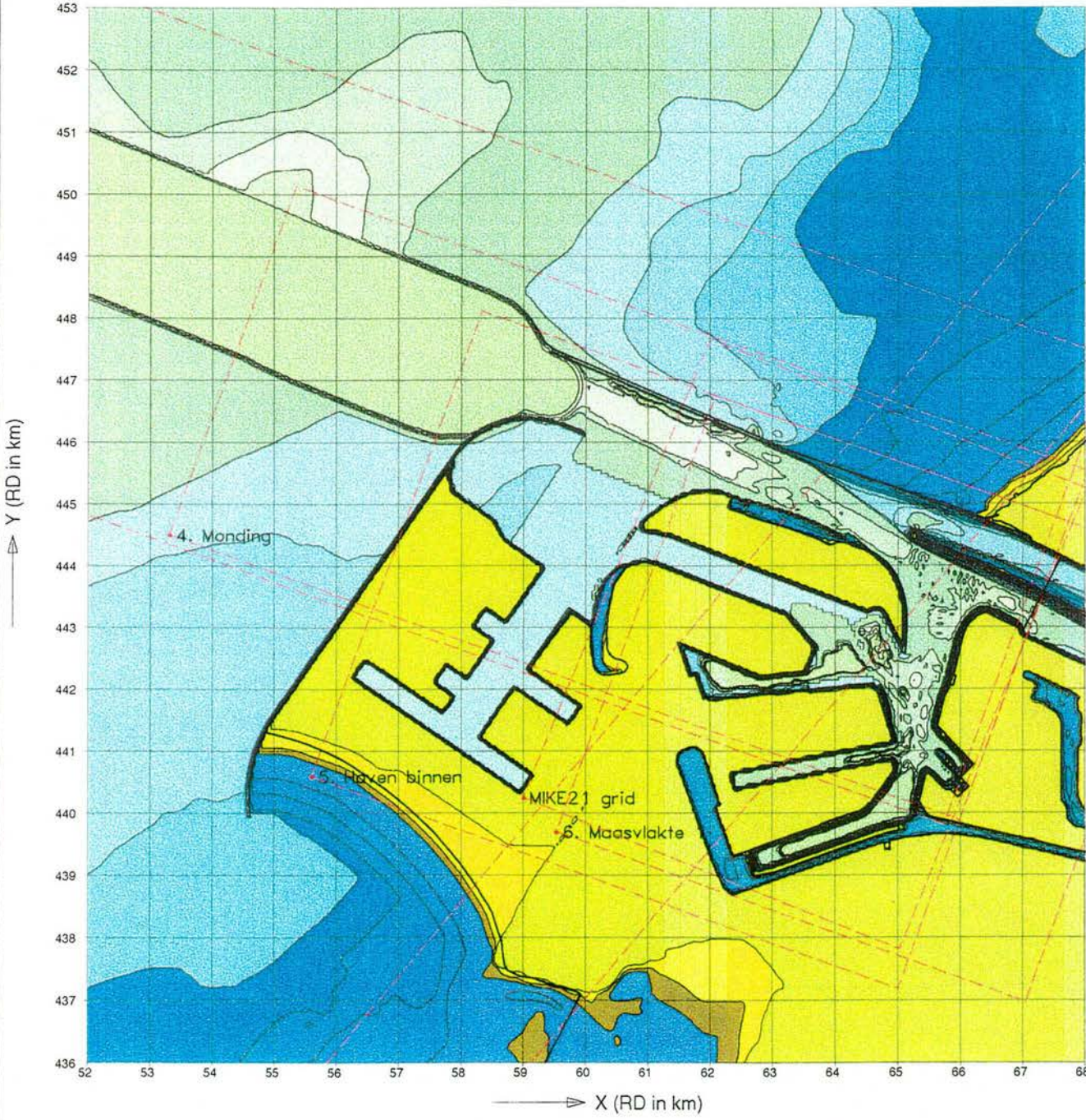
Fig. 3.2

Schematisatie bathemetrie

Diepte
t.o.v. NAP



N



Maasvlakte 2 - Variant B0
Schematisatie

Schaal 1 : 100000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

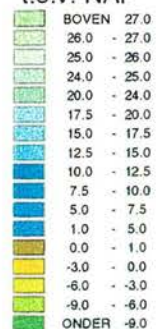
A468



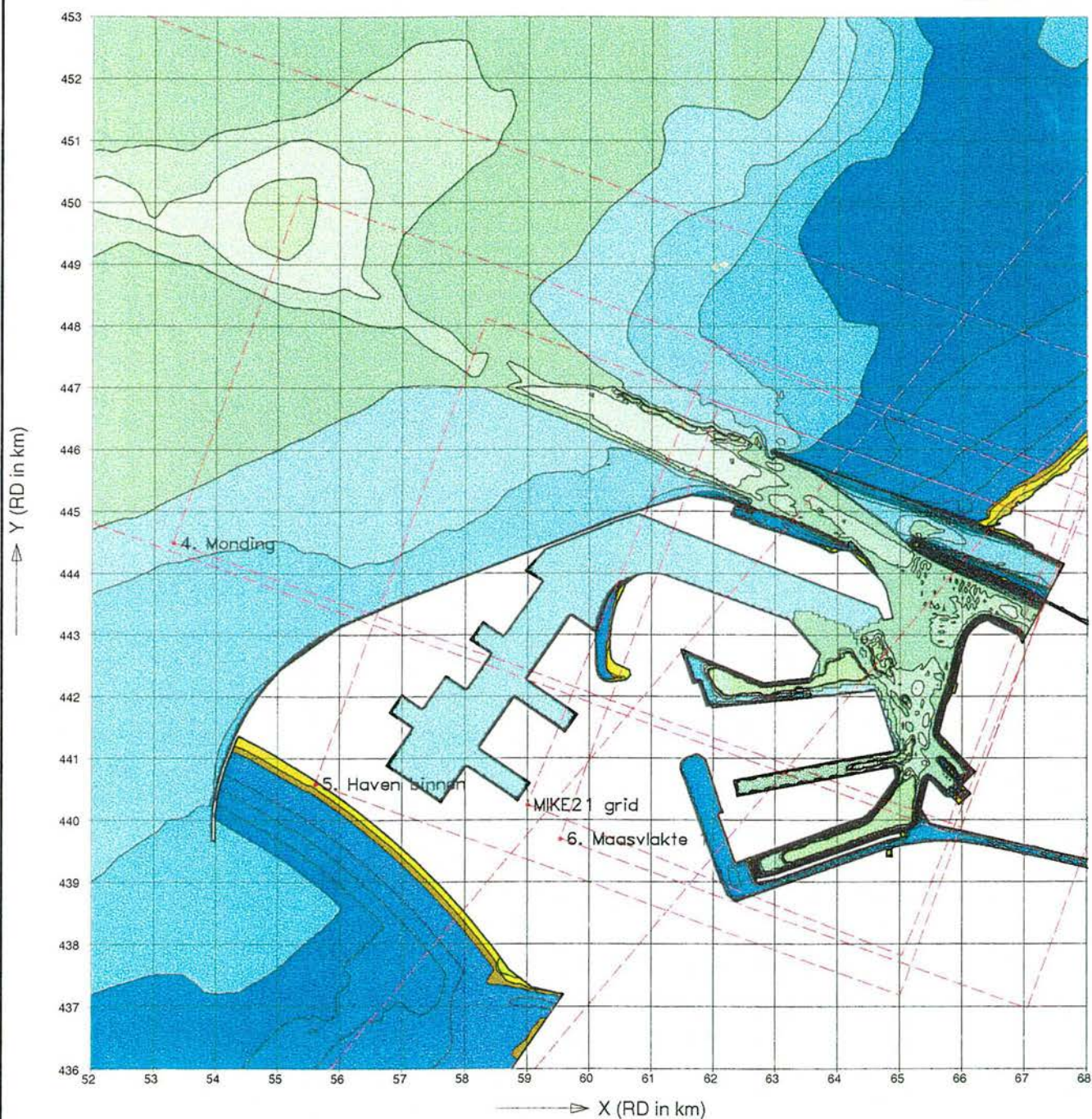
Fig. 3.3

Schematisatie bathemetrie

Diepte
t.o.v. NAP



N



Maasvlakte 2 - Variant C0

Schematisatie

Schaal 1 : 100000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

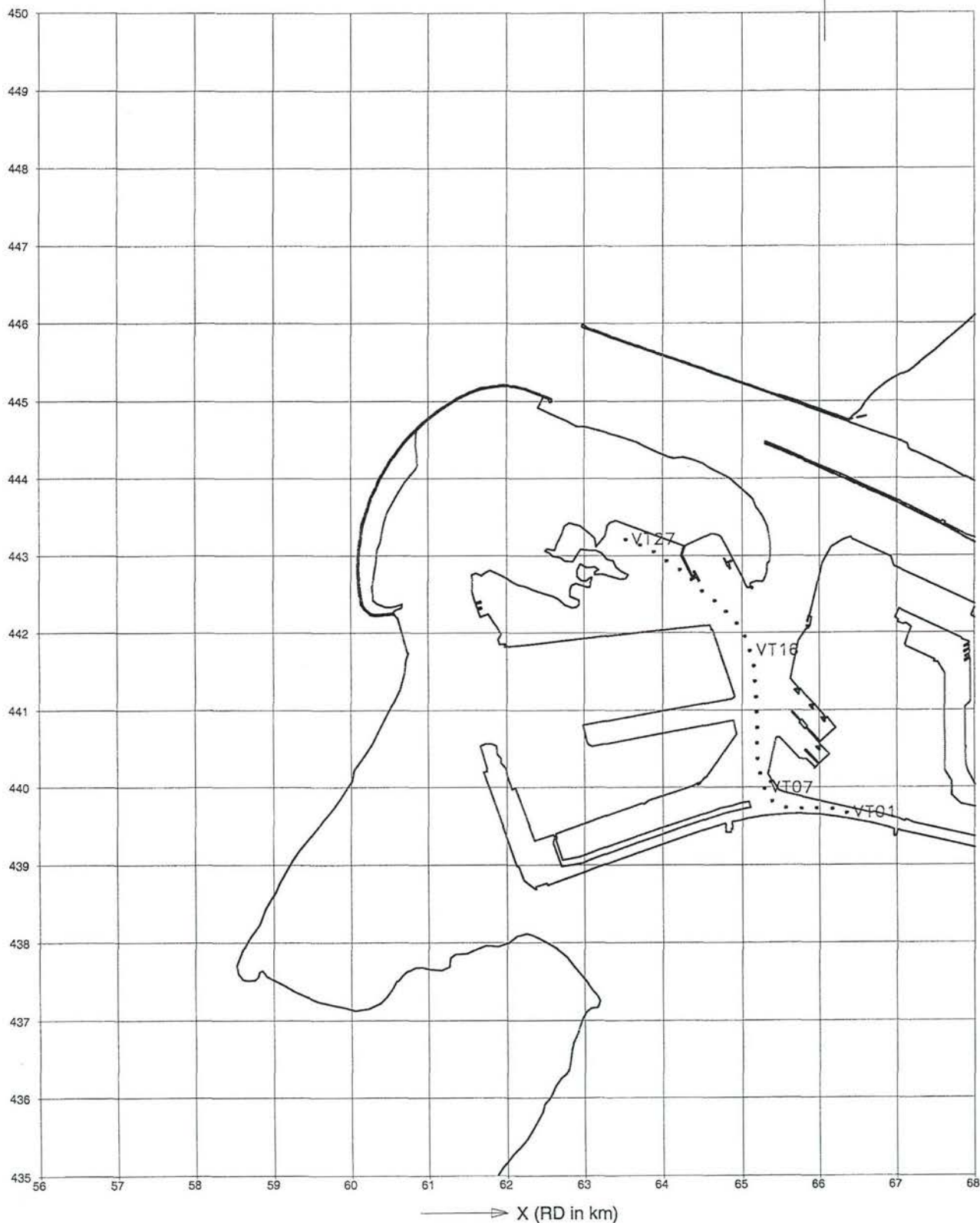


Fig. 3.4

Schematisatie - Vaarroute

Alkyon 1999/1201 1728-50, datales h101112.86

Y (RD in km)



Maasvlakte 2 - Variant T0
Schematisatie - Vaarroute

Schaal 1 : 75000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

 Alkyon
Hydraulic Consultancy & Research

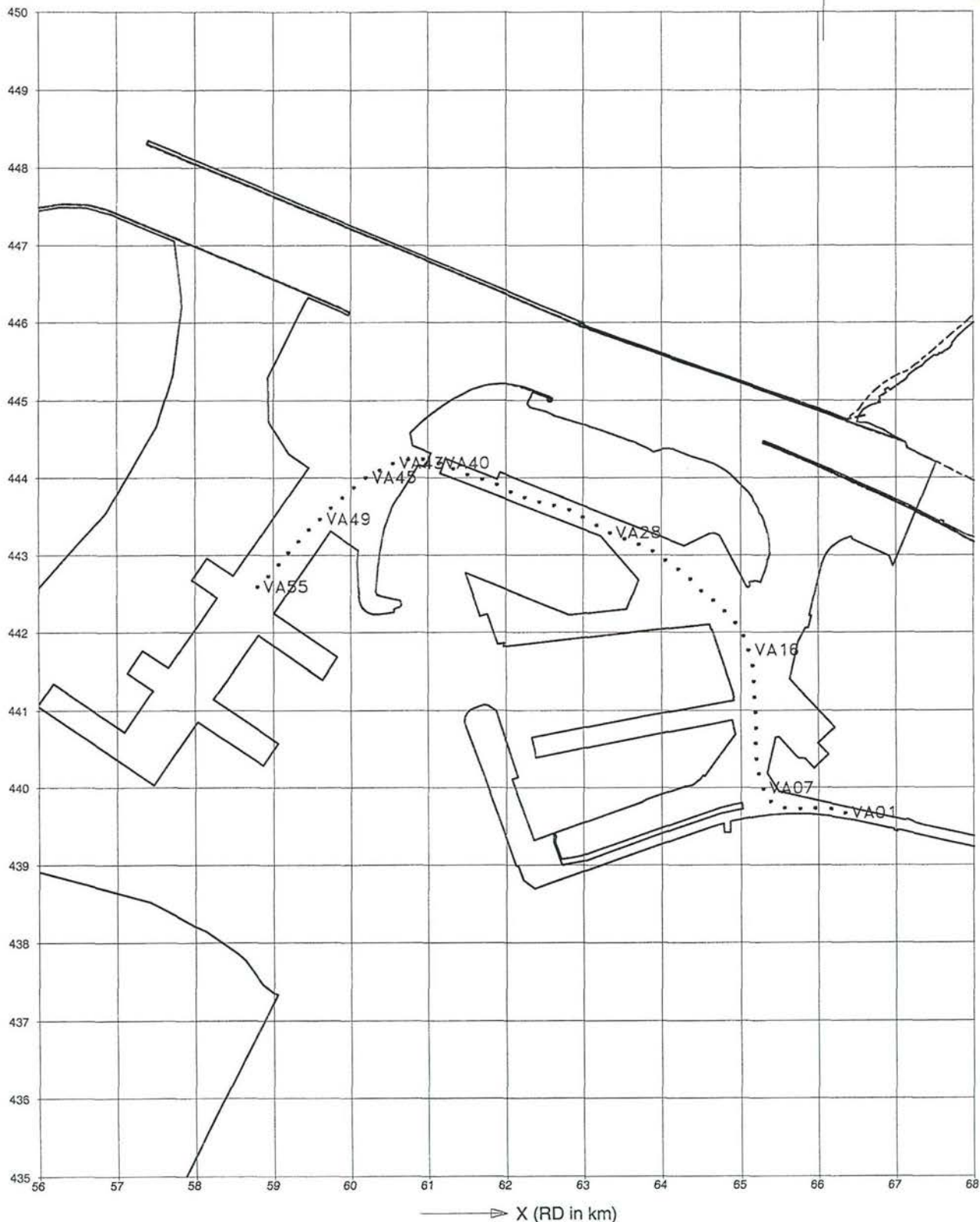
Fig. 3.5

Schematisatie - Vaarroute

Alkyon 19981221 172956 cadastre h190112.96

Y (RD in km)

N



Maasvlakte 2 - Variant A0
Schematisatie - Vaarroute

Schaal 1 : 75000

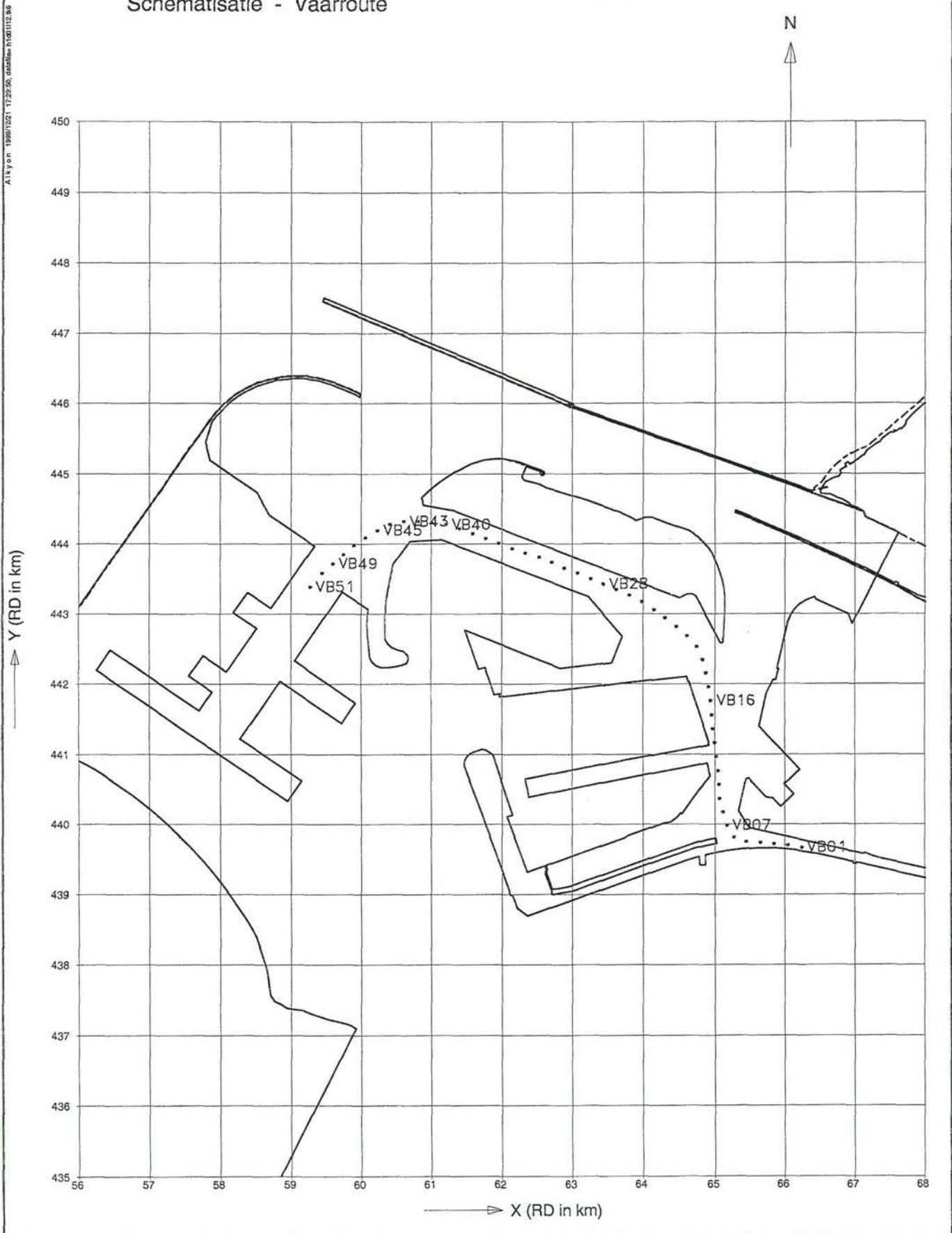
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydraulic Consultants & Research

Fig. 3.6

Schematisatie - Vaarroute



Maasvlakte 2 - Variant B0
Schematisatie - Vaarroute

Schaal 1 : 75000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

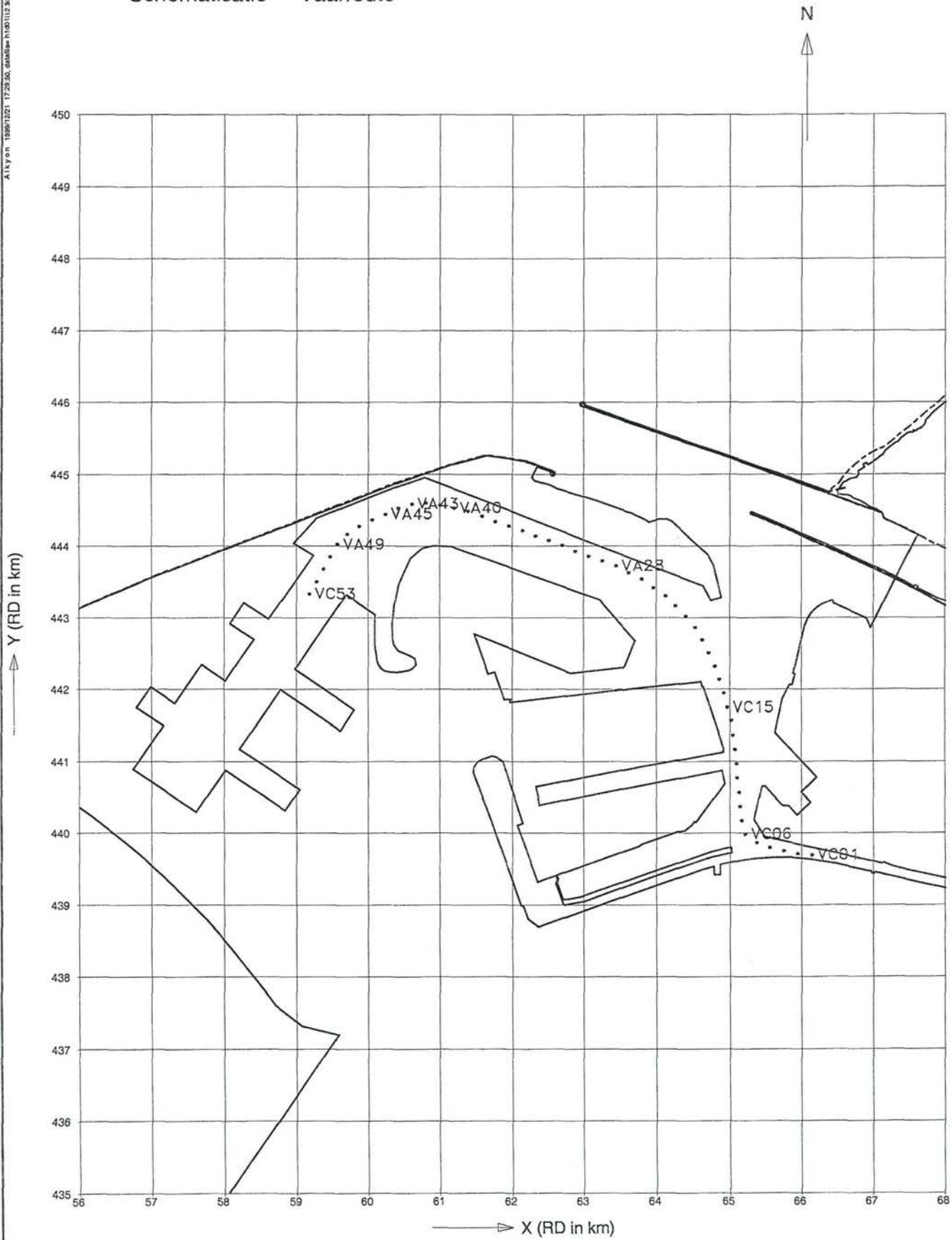
A468



Fig. 3.7

Alkyon 18991221 172930, dallas-h10112 56

Schematisatie - Vaarroute



Maasvlakte 2 - Variant C0
Schematisatie - Vaarroute

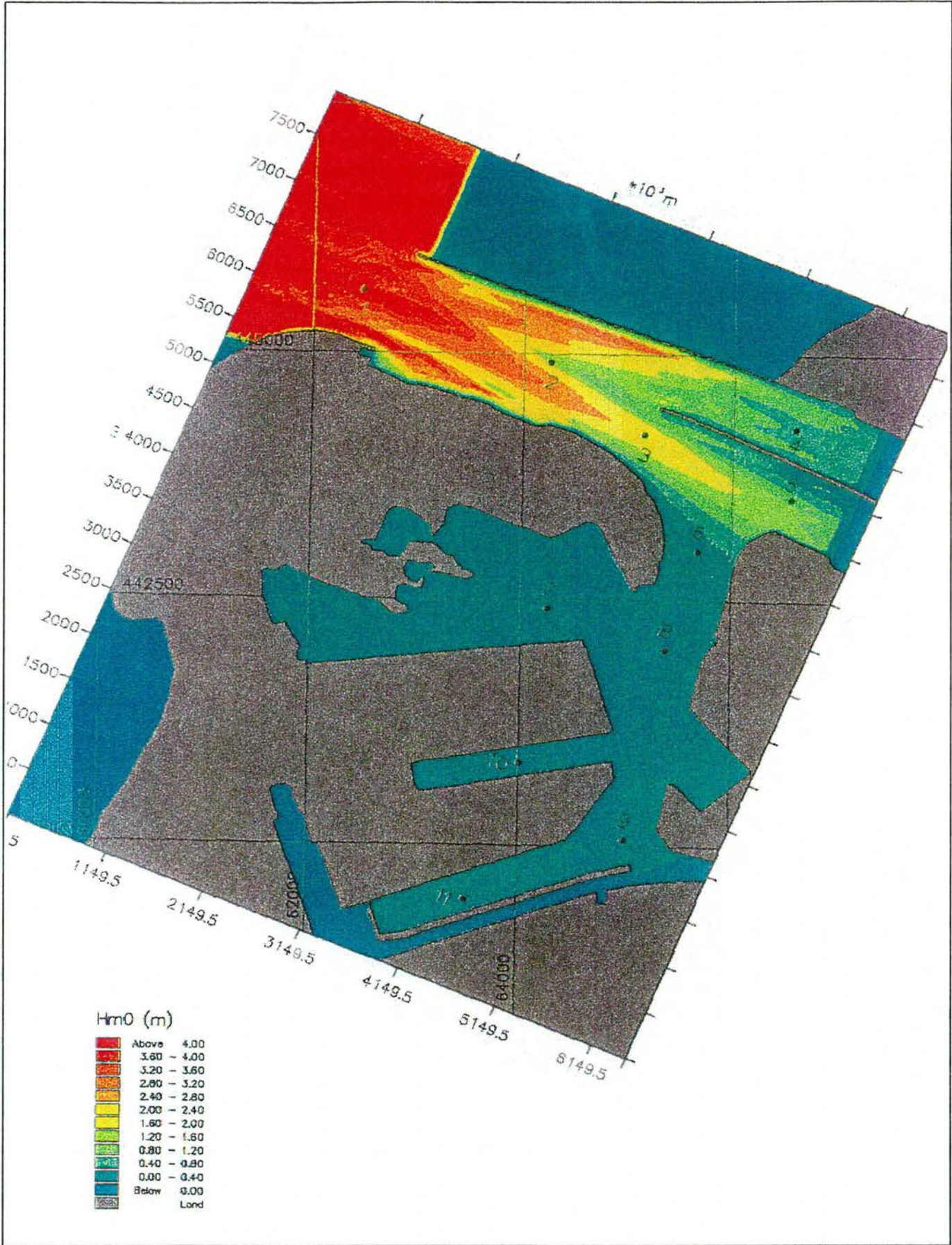
Schaal 1 : 75000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydraulic Competence & Research

Fig. 3.8



Maasvlakte - Vergelijking MIKE21 - Waterstand NAP +0,00 m
Variatie in significante golfhoogte in MIKE - geen transmissie
Golfhoogte: Hs= 4,20 m - richting: 300oN

Schaal 1 : 50000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468



Fig. 3.9

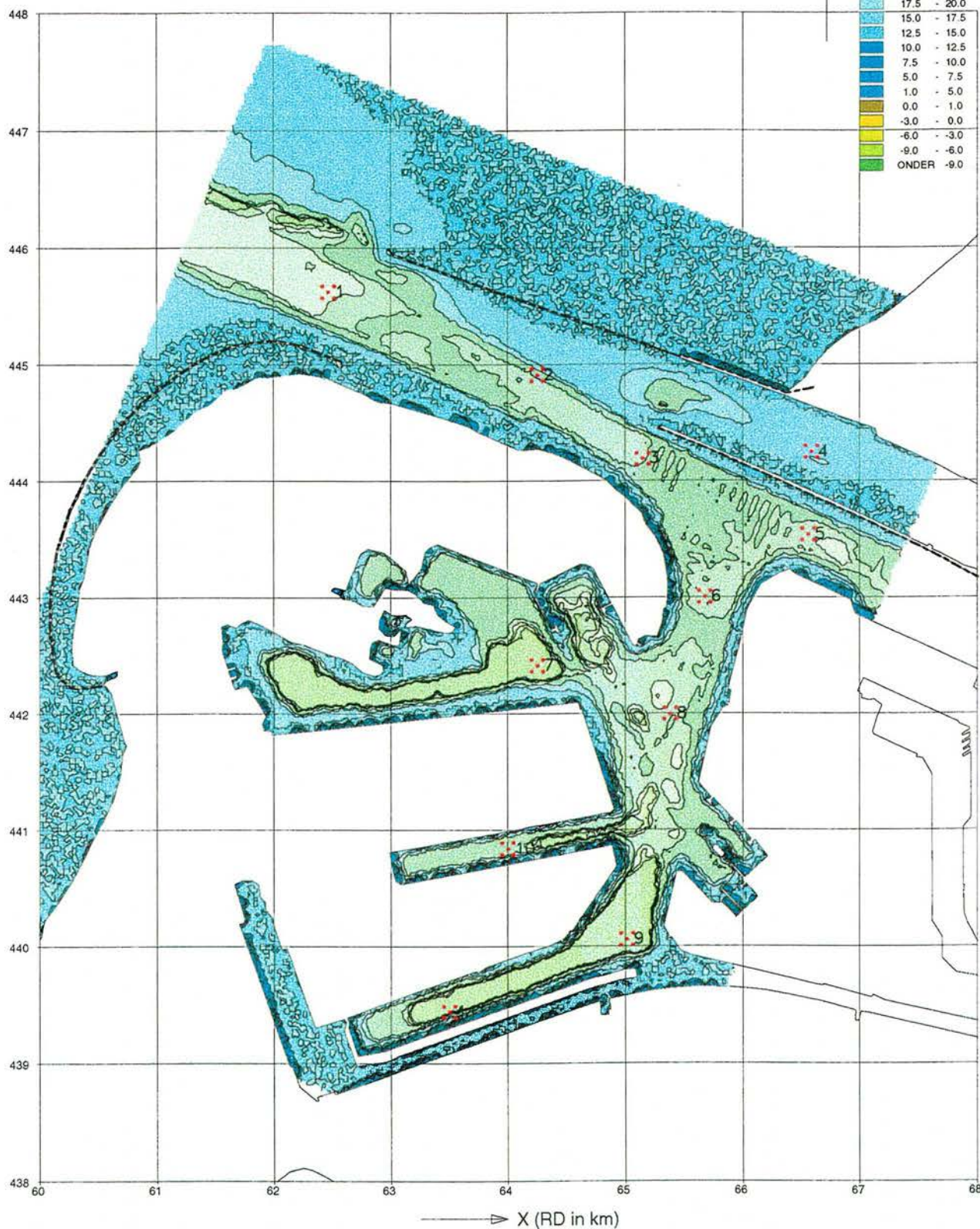
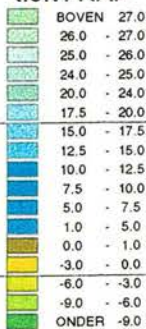
SWAN Schematisatie - MIKE21 grid

A468_v01_20000107_18:40:00_danbae-1550212_21

Y (RD in km)

N

Diepte
t.o.v. NAP



Maasvlakte - Vergelijking MIKE21 - Waterstand: NAP +0.00 m
SWAN Schematisatie - MIKE21 grid

h5d02112

Schaal 1 : 50000

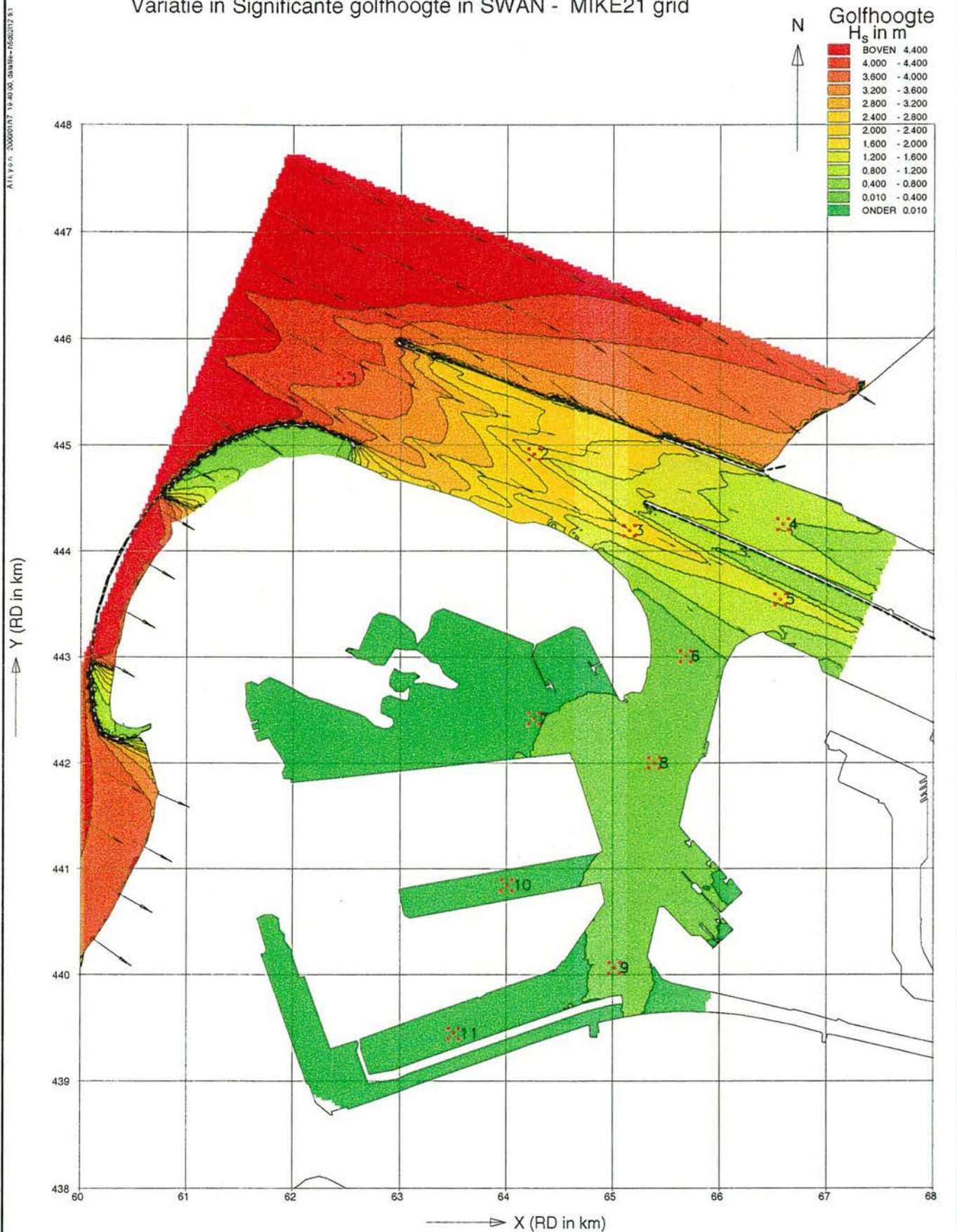
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468



Fig. 3.10

Variatie in Significante golfhoogte in SWAN - MIKE21 grid



Maasvlakte - Vergelijking MIKE21 - Waterstand: NAP +0.00 m

Variatie in Significante golfhoogte in SWAN - geen transmissie

Golfhoogte: $H_s = 4.20$ m - richting: 300.0° N

$U_{10} = 0.0$ m/s h5d02112

$H_{s,ink} = 4.20$ m - $T_{p,ink} = 8.50$ s

Schaal 1 : 50000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydrotechnische Consultancy & Research

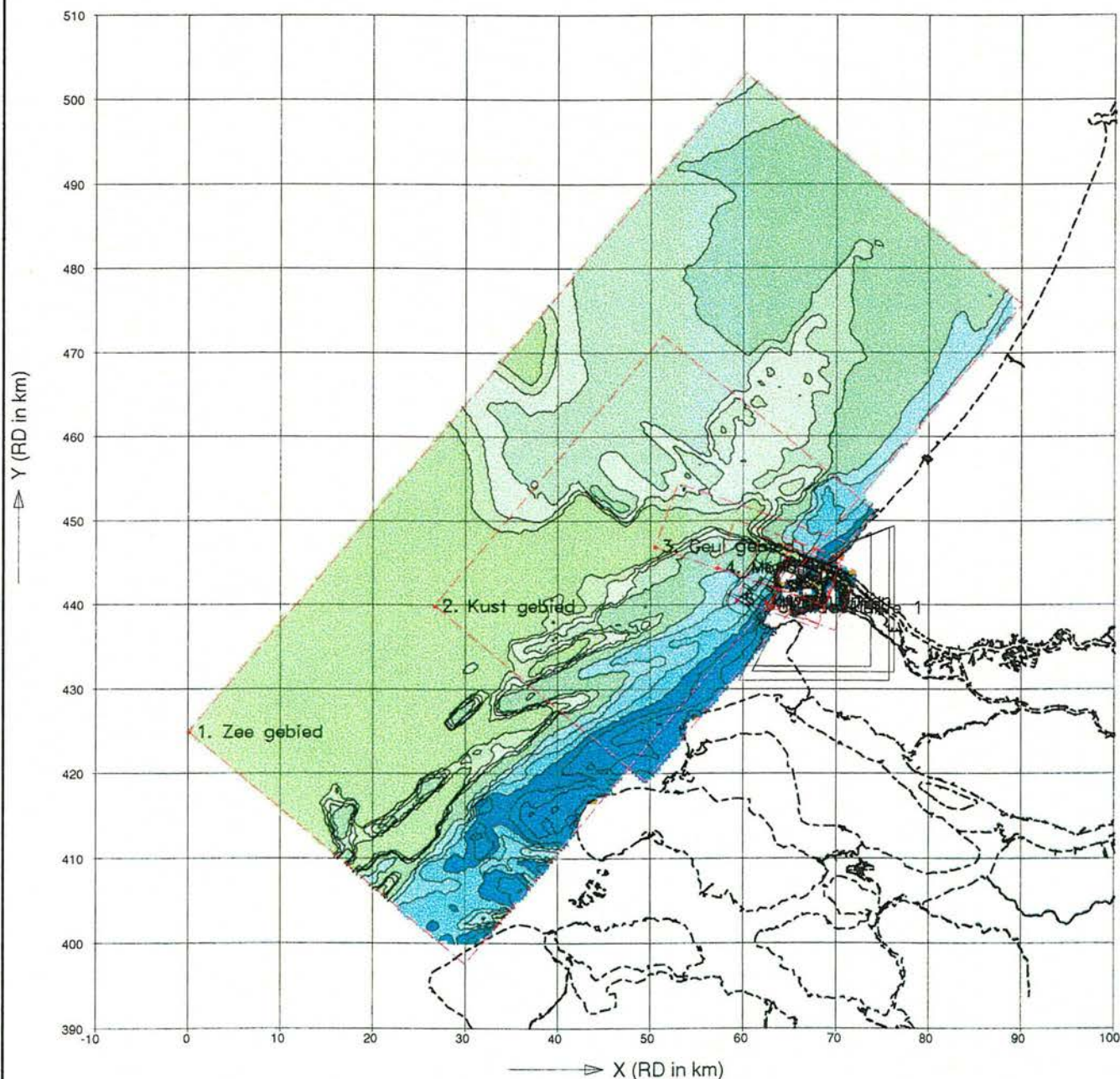
Fig. 3.11

Schematisatie zeegebied

Diepte
t.o.v. NAP



N



Maasvlakte 2 - Schematisatie Zeegebied

Overzicht rekenroosters

Schaal 1 : 750000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

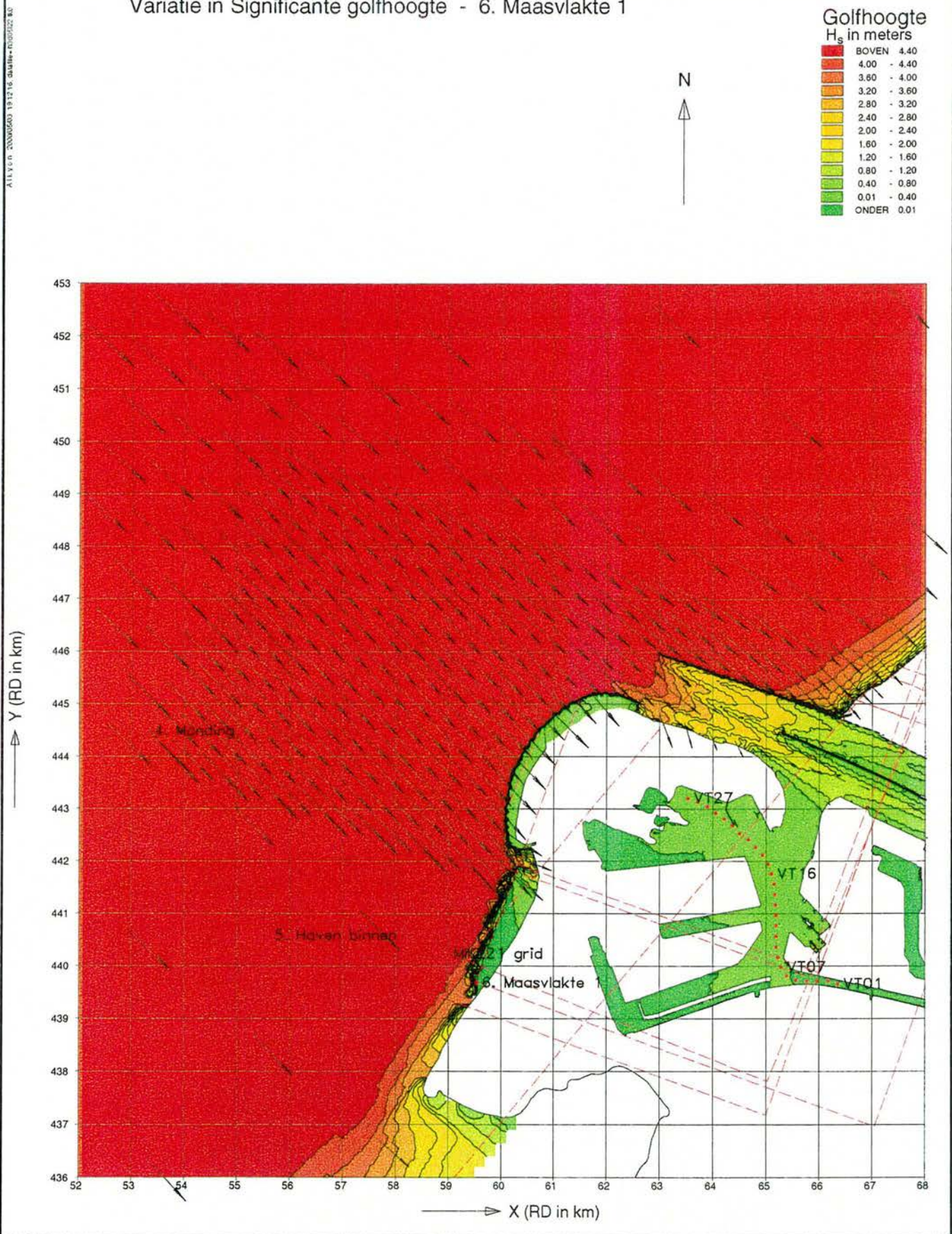
A468



Fig. 3.12

ALKYON 20060600 131216 dnlite-r005022.R0

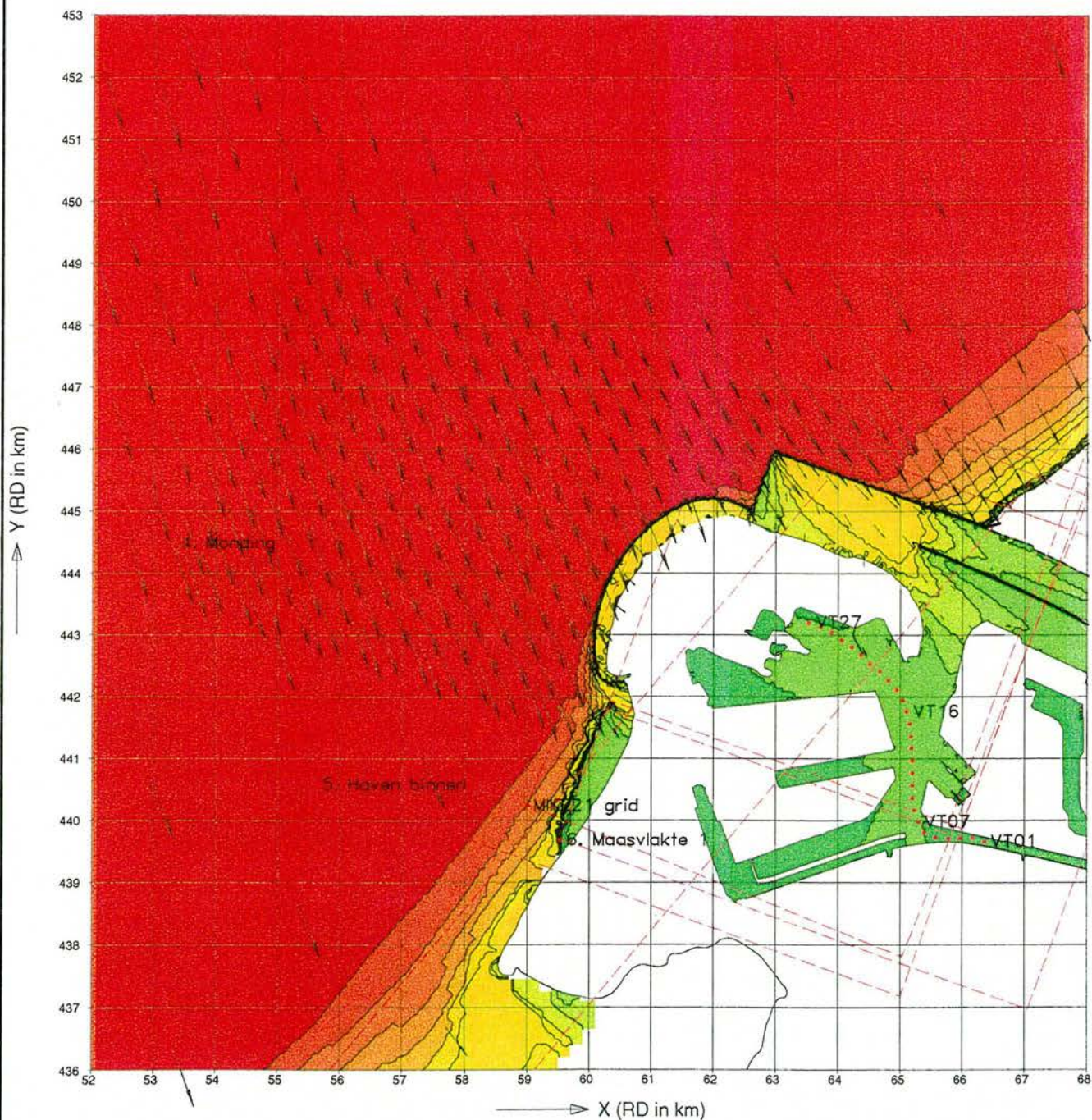
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1



Maasvlakte 2 - Situatie T0 - Binnendringing havenmond (geen transmissie)
Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1
Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: $315.0^\circ N$ - Waterstand: NAP +3.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d05l22
 $H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s
Schaal 1 : 100000

Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1



Maasvlakte 2 - Situatie T0 - Transmissie havendammen (havenmond dicht)

Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1

Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: $345.0^\circ N$ - Waterstand: NAP +1.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d05I12

$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s

Schaal 1 : 100000

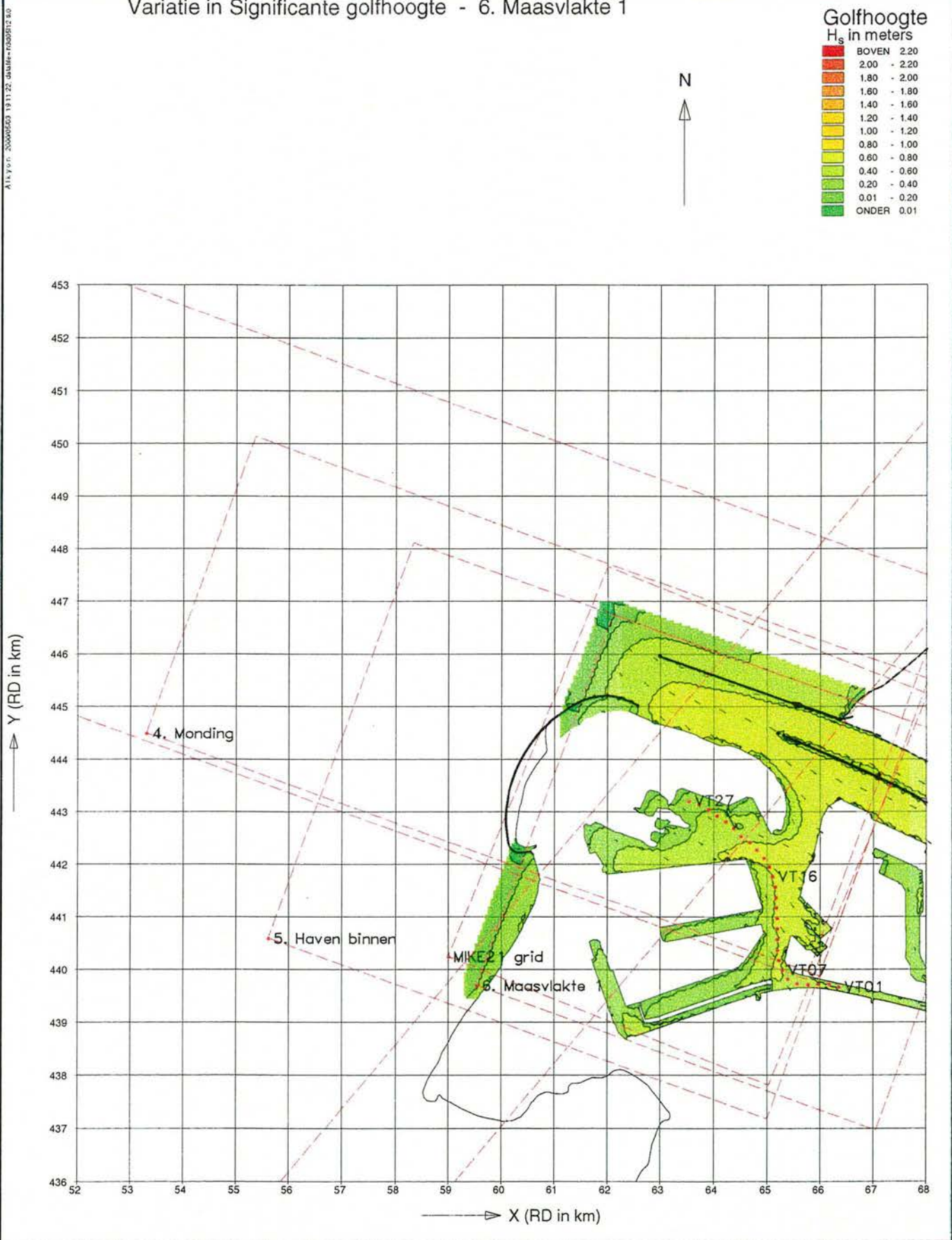
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydrolic Consulting & Research

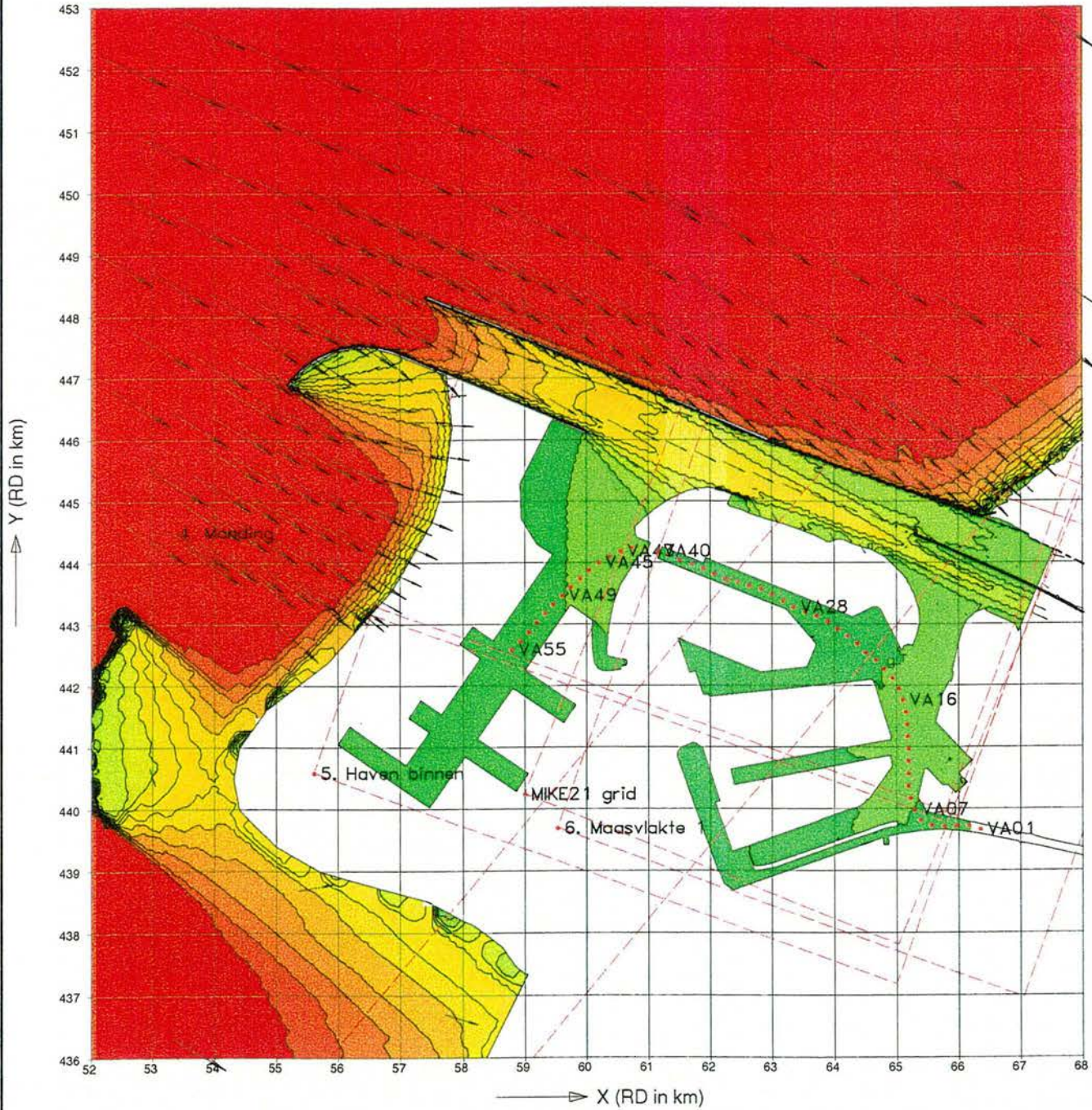
Fig. 3.14

Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1



Maasvlakte 2 - Situatie T0 - Golfgroei door Wind Variatie in Significante golfhoogte - 6. Maasvlakte 1 Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: 315.0° N - Waterstand: NAP +1.00 m	$U_{10} = 21.6$ m/s h3d05l12	
	$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s	
	Schaal 1 : 100000	
	Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart	
A468		
		Fig. 3.15

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen

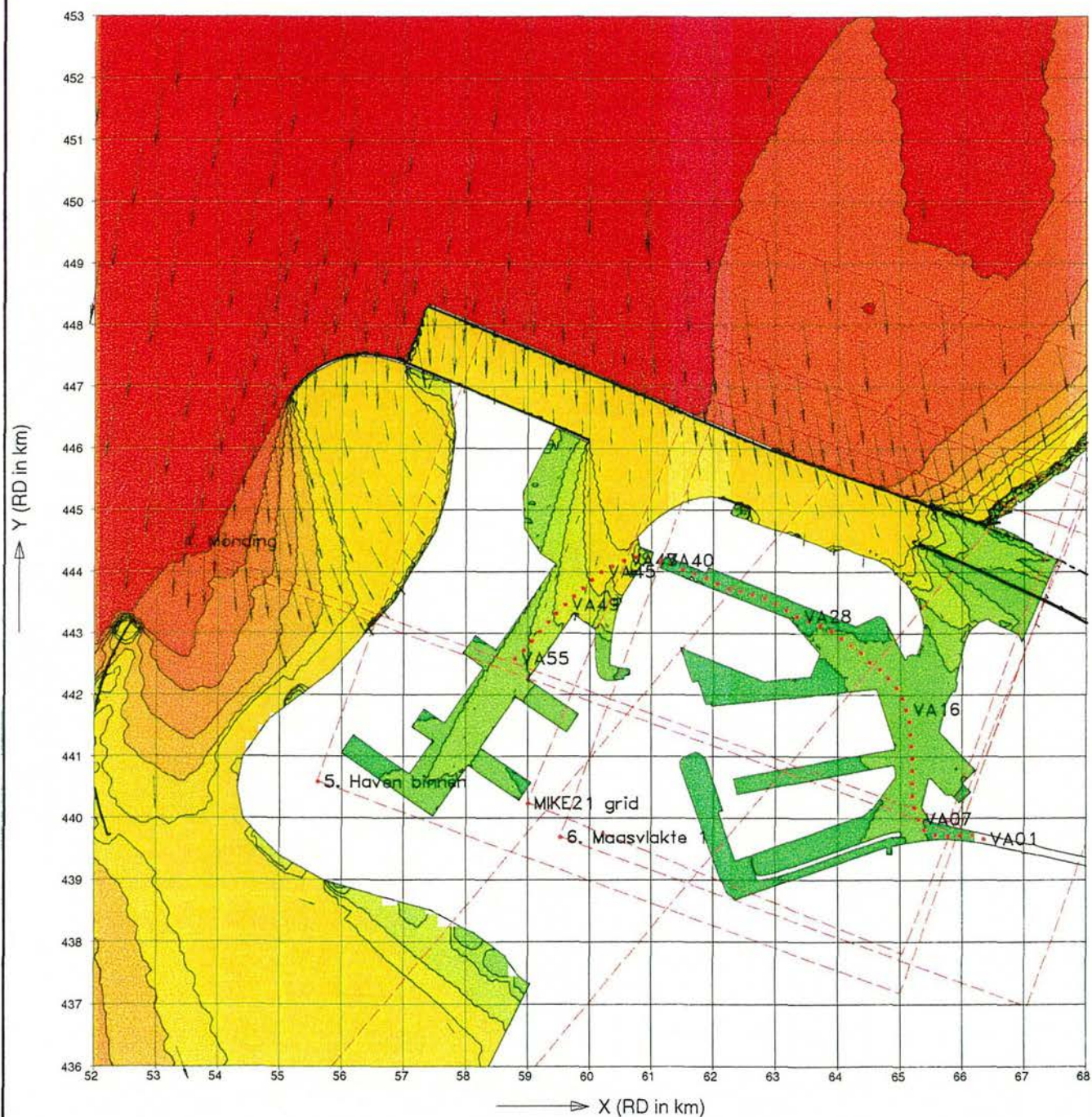


Maasvlakte 2 - Variant A0 - Binnendringing door havenmond (geen transmissie)
Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen
Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: 300.0° N - Waterstand: NAP +3.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d04I22
 $H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s
Schaal 1 : 100000

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen

Alkyon 20000507 18:42:11 DUMME+0306012 80



Maasvlakte 2 - Variant A0 - Transmissie havendammen (havenmond dicht)
 Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen
 Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: $15.0^\circ N$ - Waterstand: NAP +1.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s	h3d06I12
$H_{s,ink} = 5.50$ m	$T_{p,ink} = 9.4$ s
Schaal 1 : 100000	

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468


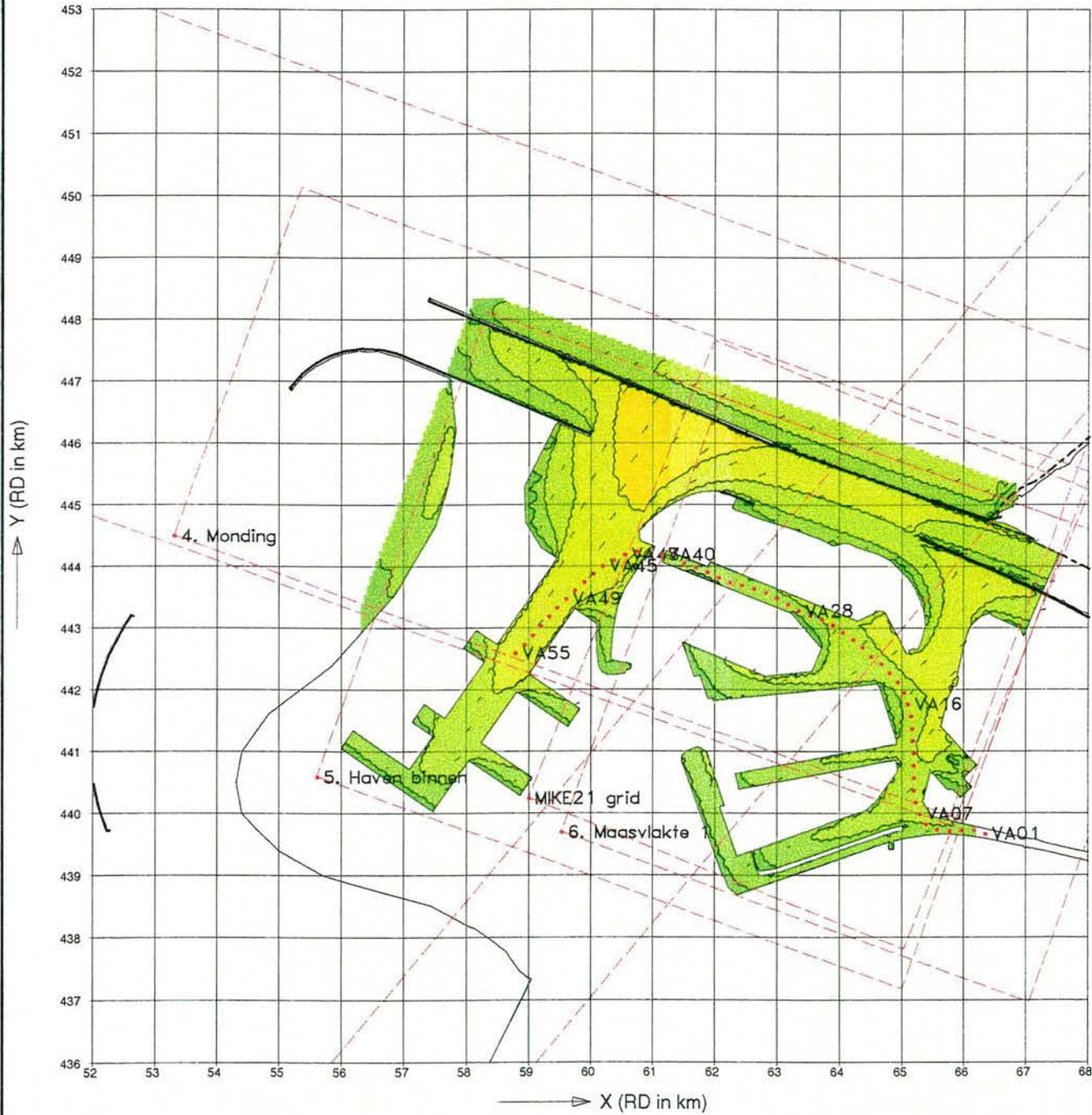
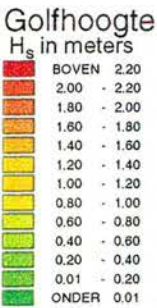
 Alkyon
Hydrologic Consulting & Research

Fig. 3.17

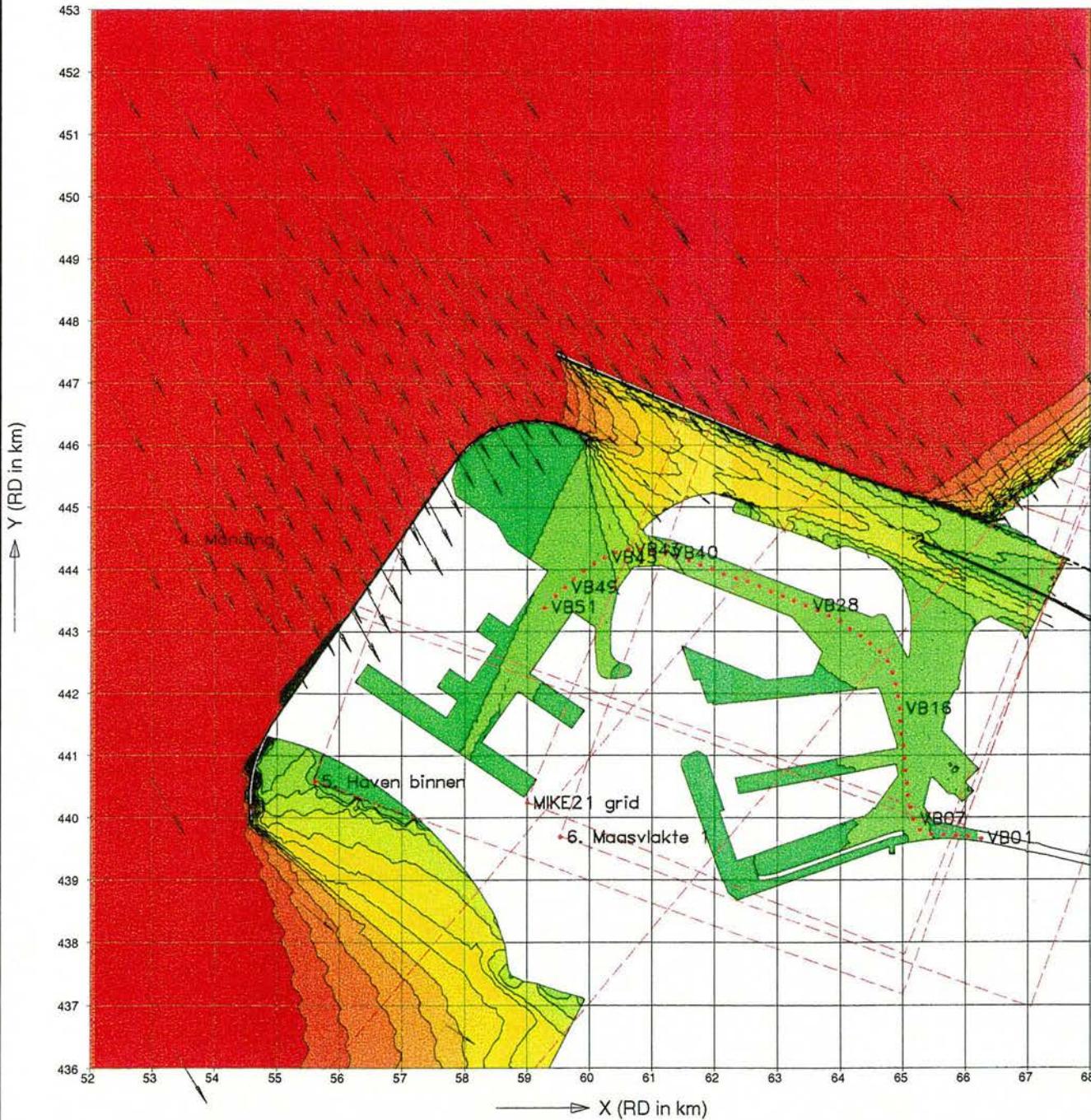
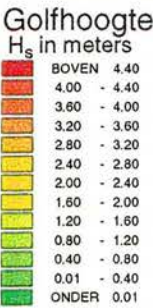
Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen



Maasvlakte 2 - Variant A0 - Golfgroei door Wind
Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen
Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: 225.0° N - Waterstand: NAP +1.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s	h3d02112
$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s	
Schaal 1 : 100000	

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen



Maasvlakte 2 - Variant B0 - Binnendringing door havenmond (geen transmissie)

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen

Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: $330.0^\circ N$ - Waterstand: NAP +3.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d06122

$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s

Schaal 1 : 100000

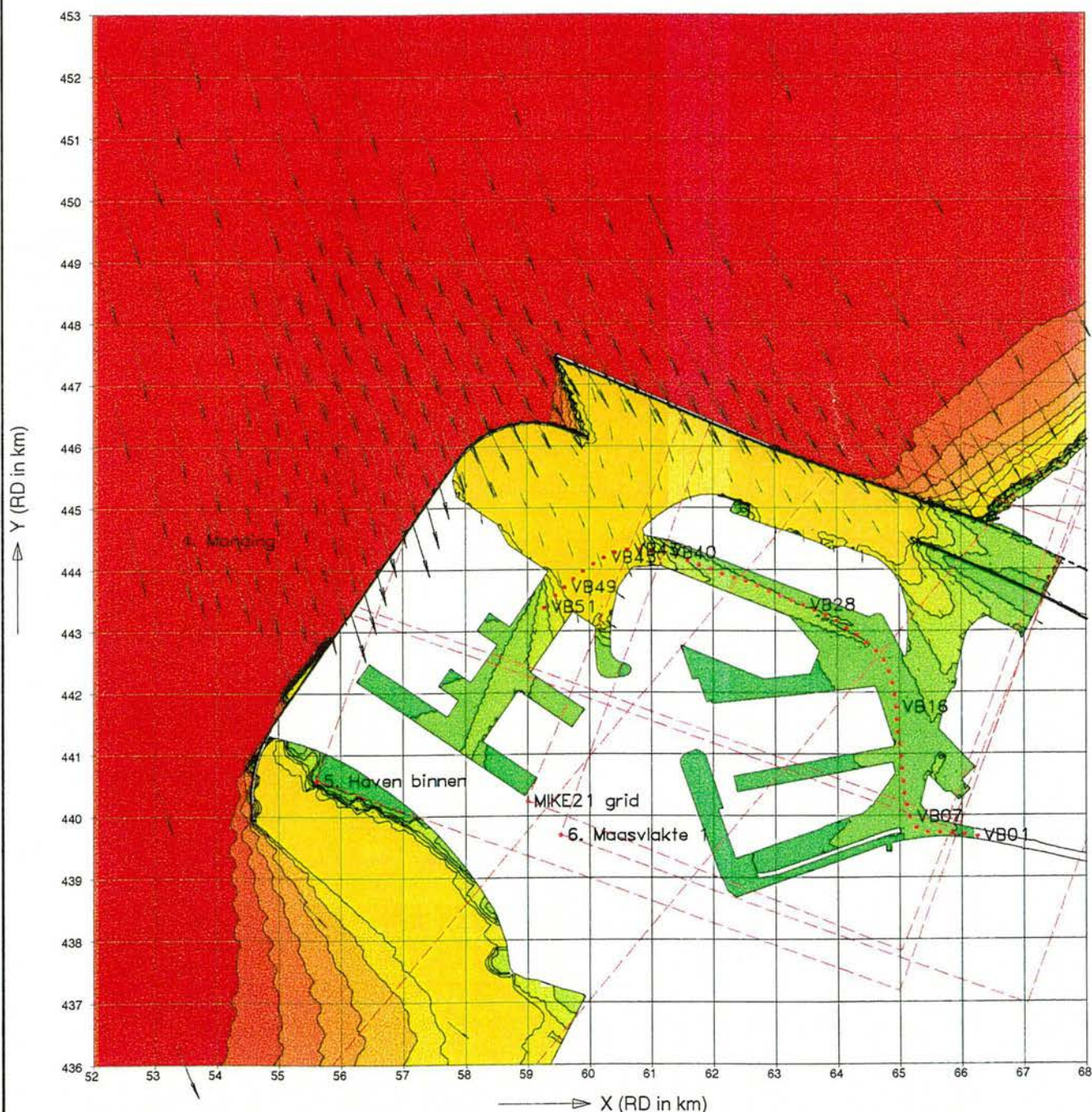
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydrodynamische Consultancy & Simulatie

Fig. 3.19

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen



Maasvlakte 2 - Variant B0 - Transmissie havendammen (havenmond dicht)

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen

Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: 345.0° N - Waterstand: NAP +1.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d05112

$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s

Schaal 1 : 100000

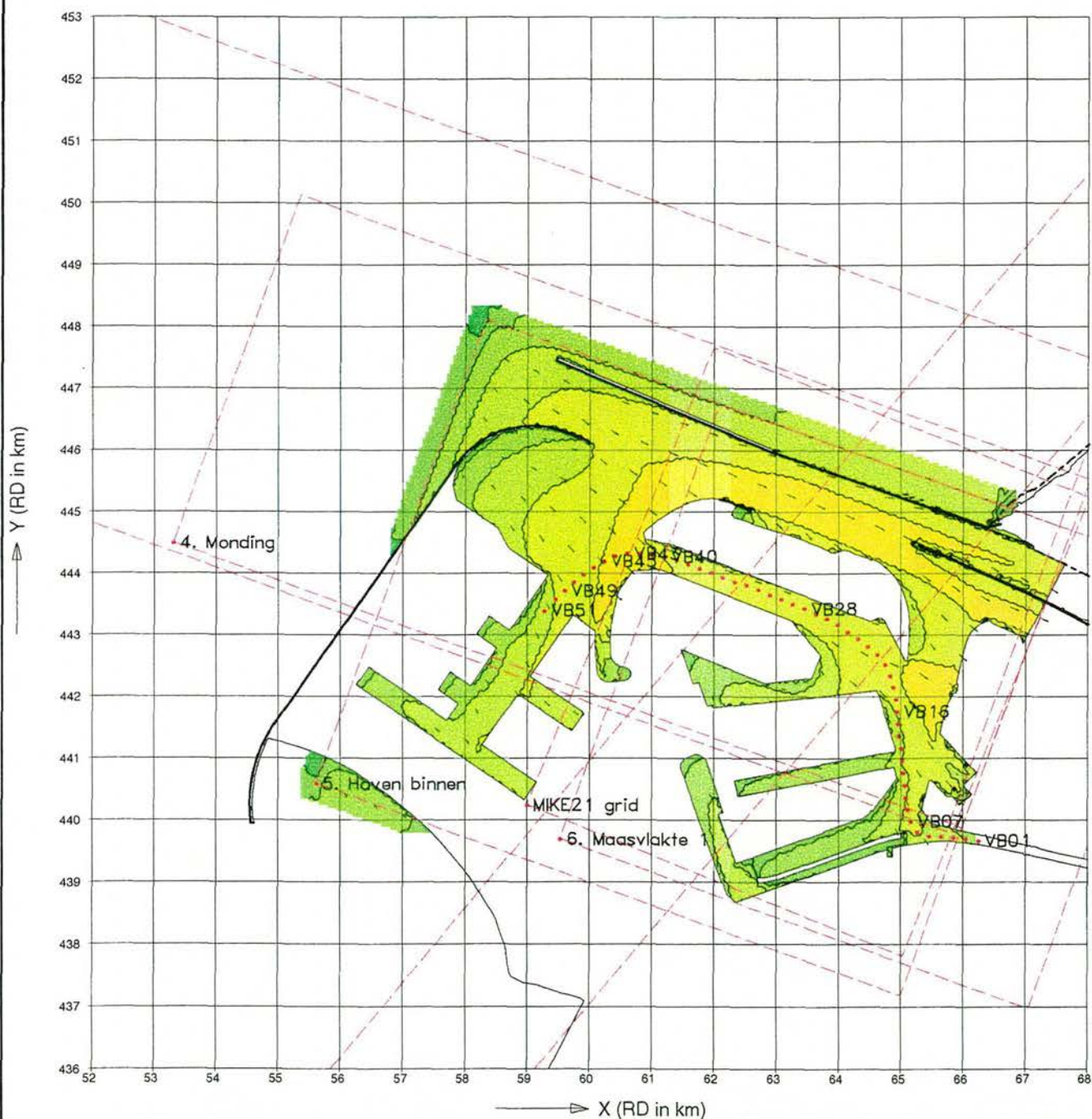
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468



Fig. 3.20

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen



Maasvlakte 2 - Variant B0 - Golfgroei door Wind

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen

Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: 315.0° N - Waterstand: NAP +1.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d05l12

$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s

Schaal 1 : 100000

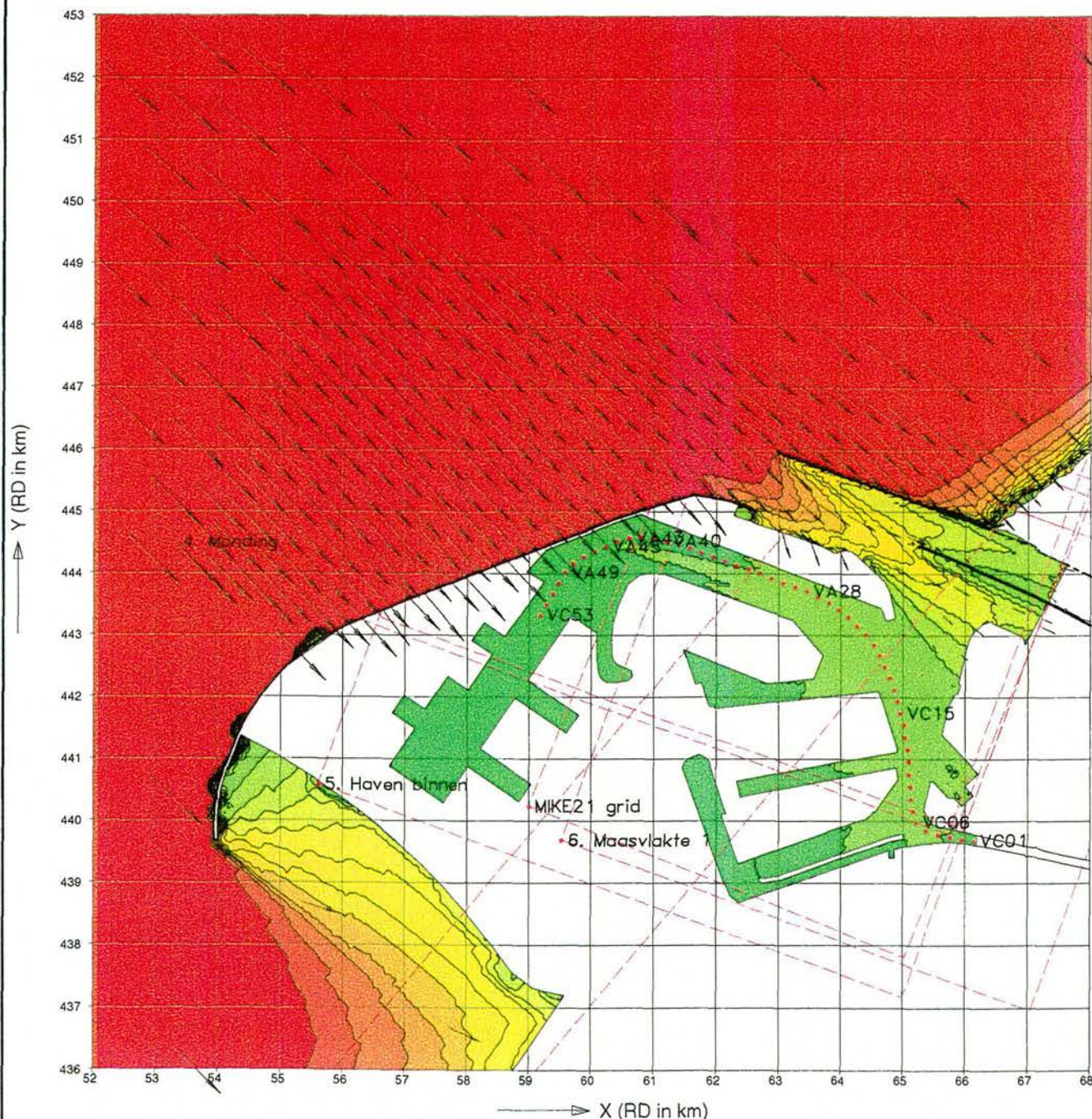
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468



Fig. 3.21

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen



Maasvlakte 2 - Variant C0 - Binnendringing door havenmond (geen transmissie)

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen

Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: 315.0° N - Waterstand: NAP +3.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d05I22

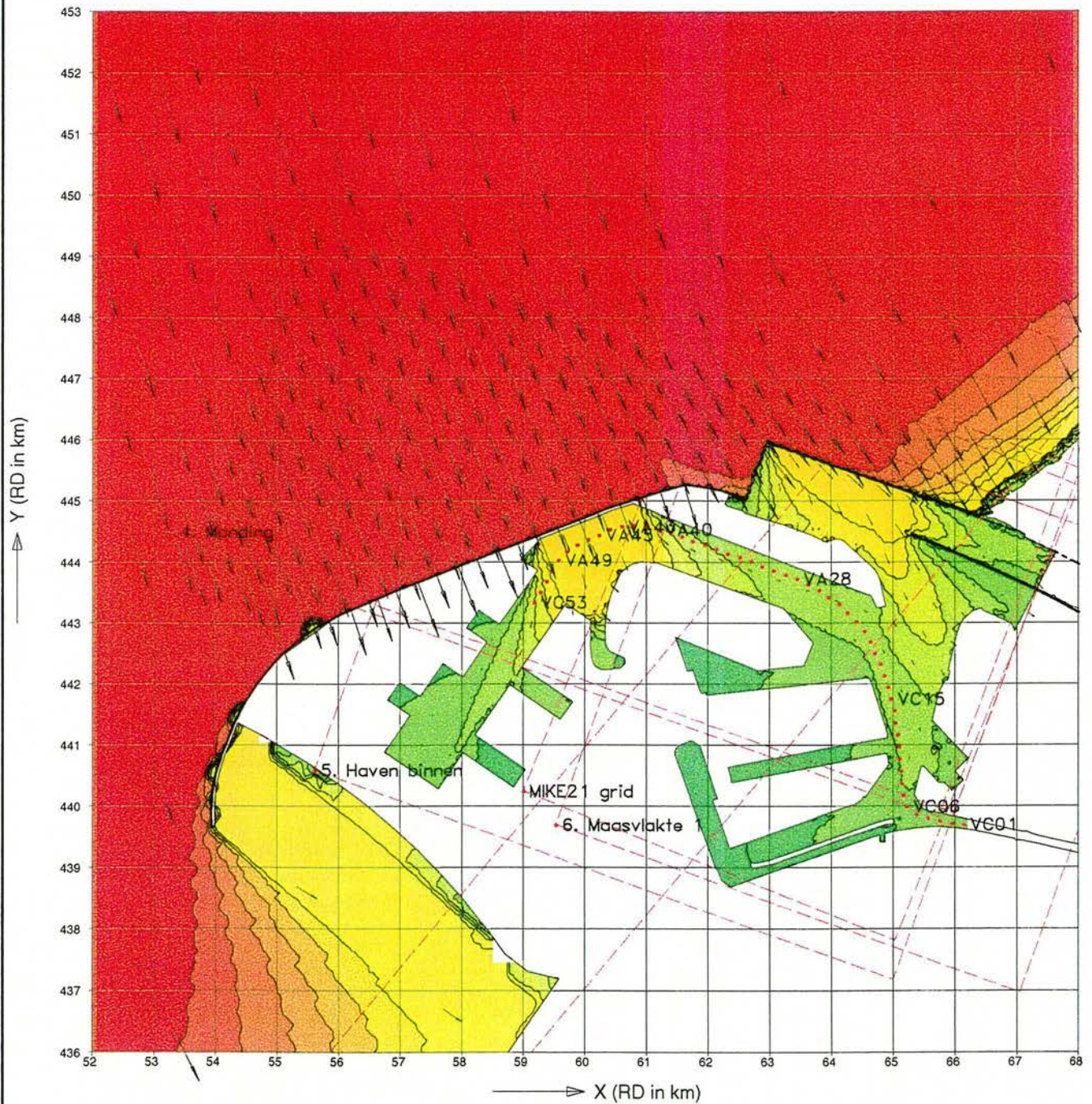
$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s

Schaal 1 : 100000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen



Maasvlakte 2 - Variant C0 - Transmissie havendammen (havenmond dicht)

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen

Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: $345.0^\circ N$ - Waterstand: NAP +1.00 m

$U_{10} = 21.6$ m/s h3d05I12

$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s

Schaal 1 : 100000

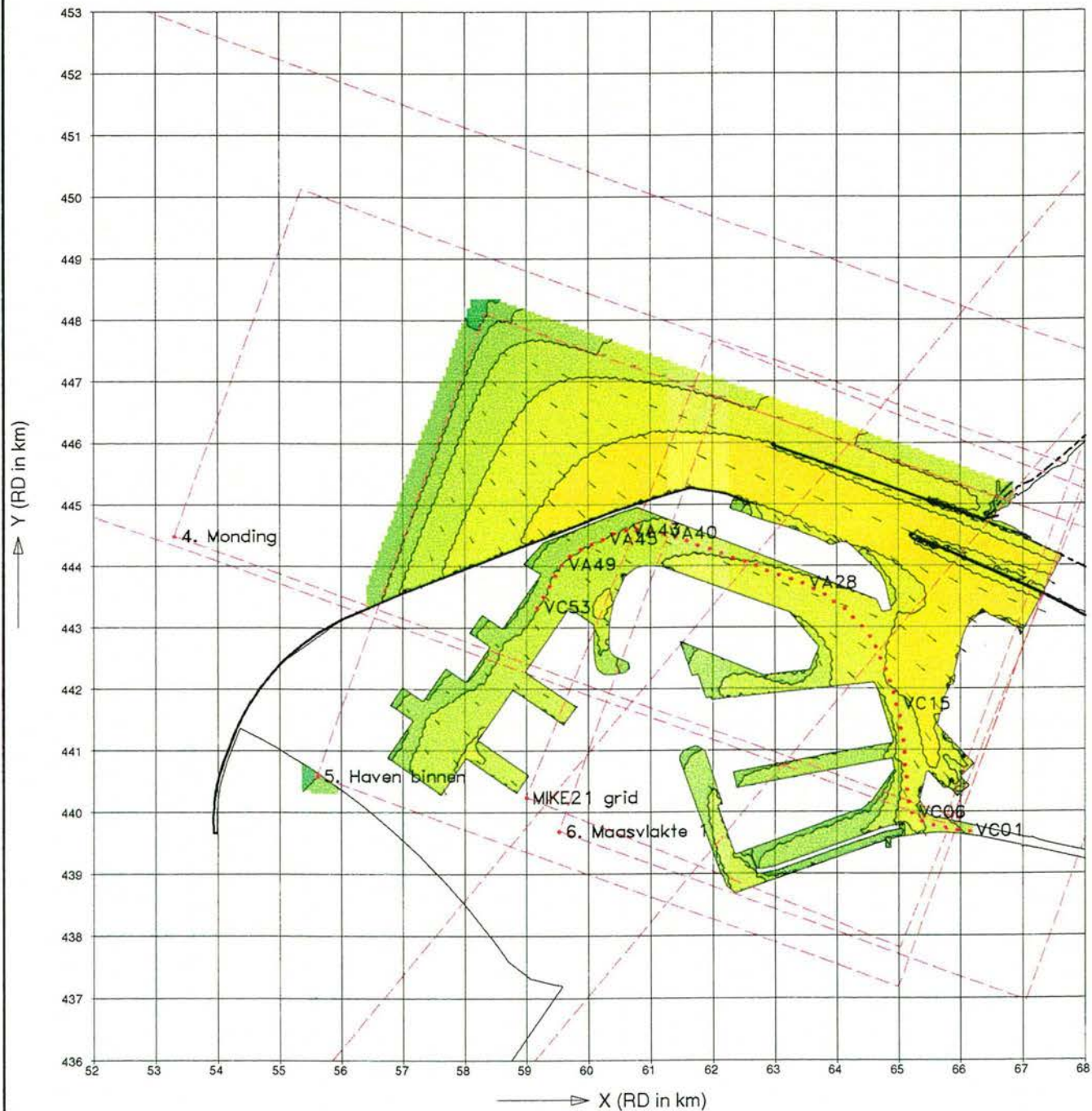
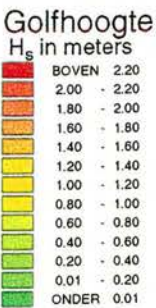
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart


A468

Alkyon
Hydrotechnische Consultancy & Research

Fig. 3.23

Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen



Maasvlakte 2 - Variant C0 (Wind) - Waterstand: NAP +1.00 m Variatie in Significante golfhoogte - 5. Haven binnen Golfhoogte: $H_s = 5.50$ m - richting: 315.0° N	$U_{10} = 21.6$ m/s h3d0512	
	$H_{s,ink} = 5.50$ m - $T_{p,ink} = 9.4$ s	
	Schaal 1 : 100000	
	Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart	
A468	 Alkyon <small>Hydrolic Competency & Research</small>	Fig. 3.24

Referenties

- Alkyon, 1998a; *Golfberekeningen Wester Schelde 2*; Alkyon Hydraulic Consultancy & Research, Rapport A224; G. van Vledder, Maart 1998
- Alkyon 1998b; *Zeedelta model, aanpassingen model*; Alkyon Hydraulic Consultancy & Research, Rapport A297; G. Hartsuiker, Oktober 1998
- Alkyon, 1999a; *Golfoordringingsonderzoek Maasvlakte 2*; Alkyon Hydraulic Consultancy & Research, Rapport A337R1; J. Onassis, Januari 1999.
- Alkyon, 1999b; *Maatgevende golfcondities voor de binnenvaart*; Alkyon Hydraulic Consultancy & Research, Rapport A337R2; J.J. Veldman, Maart 1999.
- Alkyon, 1999c; *Golfoordringingsonderzoek Maasvlakte 2, Effect stroomverlammingskuil*; Alkyon Hydraulic Consultancy & Research, Rapport A337R3; J.J. Veldman, Juli 1999.
- Alkyon, 1999d; *Golfoordringingsonderzoek Binnenmeerconcept*; Alkyon Hydraulic Consultancy & Research, Rapport A337R4; J.J. Veldman, September 1999.
- Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M., 1978; Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proc. 16th Int. Conf. Coastal engineering, ASCE, pp. 569-587.
- Booij, N., R.C. Ris and L.H. Holthuijsen, 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, J. Geoph. Research C4, 104, 7649-7666.
- Cartwright, D.E., On estimating the mean energy of sea waves from the highest waves in a record, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, 239, 22-48, 1958.
- Komen, G.J., S. Hasselmann, and, K. Hasselmann, 1984: *On the existence of a fully developed wind sea spectrum*, J. Phys. Oceanogr., 14, pp. 1271-1285.
- Reglementen voor Rijn en Binnenvaart, Nederlandse uitgevers maatschappij b.v. Leiden, inclusief Aanvullings-Wijzigingsbladen Zending 59 - 1999.
- Walden, A.T. & P. Prescott, 1980. The Asymptotic Distribution of the Maximum of N Wave Crest Heights for any Value of the Spectral Width Parameter. J. Geoph. Research Vol. 85, No. C4, April 1980
- Waterloopkundig Laboratorium, 1985. Centrale Maasvlakte - de aanvoer van kalksteen-meel en de afvoer van vliegas en gips per binnenschip - verslag berekeningen. Rapport R2107, januari 1985.



schip	belading	Loa (m)	Boa (m)	Tzout (m)
Spits	vol	38.50	5.02	2.30
Kempenaar	vol	50.00	6.60	2.30
Kempenaar	leeg	=	=	0.65
Dortmunder	vol	67.00	8.20	2.70
Duwbak	vol	76.50	11.40	3.84
Europaschip	vol	85.00	9.50	3.08
Europaschip	leeg	=	=	0.90
Rijnschip	vol	110.00	11.40	3.37
Rijnschip	containers	=	=	2.80
Jowi	containers	134.16	16.90	3.13
Jowi	leeg	=	=	1.30

Afmetingen zijn standaardafmetingen

Tabel 1.1 Samenvatting van bestudeerde enkelvoudige scheepstypes



SCHIP				
Scheepsnaam	Janny	Ganzestad	Inge I	Allegra
	MDS	MDS	MDS	MDS
Type	Dortmunder	Europaschip	Rijnschip	Groot Rijnschip
CEMT klasse	III	IV	V	V - VI
Droge lading (ton)	780	1550	2154	3200
Containers (TUE)				13*4*4=208
lengte (m)	62	100	86	108,45
breedte (m)	8,2	9,5	11,4	12,0
diepgang (achter/voor):				
- leeg (m)	1,2 - 0,46	1,5 - 0,4	1,6 - 0,4	
- normaal geladen (m)	2,47	2,8	2,7 - 2,8	2,5
- afgeladen (m)	2,47	3,02	3,25	3,5
vrijboord (afgeladen):				
- boeg (achter/voor)	1,1 - nvt	1,7	2,0 - nvt.	?,? - >2,5
- dek (achter/voor)	0,6 - 0,7	0,9	1,0 - 0,5	- >1,5
- denneboom	1,5	1,35	1,7	1,6
- gangboord	0,0	0,0	0,3	0,0
Voortstuwing (PK)	750	2000	2*1207	2560
boegschroef (PK)	350	375	350	600
BAK:				
Naam	Janny M	Ganzestad 2	Inge II	wisselt
Droge lading (ton)	788	1776	2370	2800
Containers (TUE)				12*4*3=144
Lengte (m)	54,5	70	86	90
breedte (m)	8,2	9,5	11,4	11,45
diepgang (achter/voor):				
- leeg (m)	0,44 - 0,7	0,4 - 0,6	0,65 - 0,7	wisselt
- normaal geladen (m)	2,5	2,8	2,8 - 2,7	
- afgeladen (m)	2,5	3,02	3,21	
vrijboord (afgeladen):				
- boeg (achter/voor)	nvt - 1,7	nvt - 1,5	nvt - 2,0	wisselt
- dek (achter/voor)	0,7 - 0,6	0,3	0,5 - 1,0	
- denneboom	1,5	0,8	1,7	
- gangboord	0,0	0,0	0,3	
Boegschroeven (PK)	320	375	2*350	-

Tabel 2.1 Praktijkwaarnemingen: Kenmerken duwschip en duwbak



KOPPELVERBAND:				
Namen:	Janny + Janny M	Ganzestad + Ganzestad 2	Inge + Inge II	Allegra + bak
plaats bak	voor	voor	voor	voor of opzij
Totaal afmeting: (L*B in m)	120*8,2	170*9,5	172*11,4	198,45*12 of 108,45*23,5
Lading type	droge lading	droge lading	droge lading	droge lading
meest voorkomende lading	erts/kolen/ graan/ijzer/ kunstmest	erts/kolen	erts/kolen	containers
Verbinding schip/bak				
koppeldraden:	26	28 & 32	28/30	28/30
in langs richting:	6*26 mm (evt 2*26mm)	6*28mm 6*32mm	2*5=10	2*5=10
kruis draden:	2*26 mm	2*32 mm	2*1=2	2*1=2
afstand tussen bolders:	2,5 - 5 m (evt. 15 m)	2,5-3,5 m (evt. 4- 6 m)	3 & 4 & 5 m (evt 5 & 6 m)	ca 5 m
Raakvlak schip/bak:				
materiaal	staal/staal (Op open water hout)	staal/staal als bak opzij: hout of autoband	staal/staal als bak opzij: wrijfhout	staal/staal als bak opzij: autoband
versteviging SB&BB met staalplaat	raakvlak geknikt	1000*1000* 20 mm	1750*1250* 20 mm	schip heeft rechthoekige overhellende duwkop

Tabel 2.2 Praktijkwaarnemingen: Kenmerken koppeling koppelverband



4 baks Duwstel:	Duwboot WILMAR	Bakken	Bakken	4 - baks duwstel
Voortstuwing (PK)	2 * 918	-	-	-
CEMT klasse	V/VI	Vb	Via	Vlb
Droge lading (ton)	780	1550	2154	10000
lengte (m)	18,5	75	75	168,5
breedte (m)	11,2	11,4	11,4	22,8
diepgang (m):	1,7	2,5-3,7	2,5-3,7	2,5-3,7
Voortstuwing (PK)	2 * 918	-	-	-
Lading type	n.v.t.	droge lading	droge lading	droge lading
meest voorkomende lading		erts/kolen	erts/kolen	erts/kolen
Verbinding	boot/bak	bak/bak	bak/bak	bak/bak
plaats bak	voor	voor	opzij	2 * 2 bakken
koppeldraden (mm):	26	26	26	26
in langs richting:	2	2 * 5	3 - 4	
dwars draden:	2	4	2 * 2 (dwars over)	
stuurdraden:	2 * 2	-	-	-
afstand tussen bolders:	3 - 6 m stuurdr: 10 m	langs: 2 - 4 m dwars 4-7 m	langs: 10 m dwars: 15 m	
Raakvlak schip/bak:				
materiaal	staal/staal	staal/staal	staal/staal	staal/staal

Tabel 2.3 Praktijkwaarnemingen: kenmerken duwstel



BINNENDRINGING		
	aantal	
Layouts	4	
Varianten:		T0 A B C
Golfrichtingen °N	8	225 270 285 300 315 330 345 375
golfhoogtes Hs in m	3	1.5 3.5 5.5
golfsteilheden s _{op}	3	0.02 0.04 0.06
waterstanden m t.o.v. N.A.P.	2	-1 3
Subtotaal	576	berekeningen voor golfbinnendringing
TRANSMISSIE		
	aantal	
Layouts	4	
Varianten:		T0 A B C
Golfrichtingen °N	7	225 255 285 315 345 375 405
golfhoogtes H ^s in m	3	1.5 3.5 5.5
golfsteilheden s _{op}	1	0.04
waterstanden m t.o.v. N.A.P.	1	1
Subtotaal	84	berekeningen voor golfbinnendringing
WIND		
	aantal	
Layouts	4	
Varianten:		T0 A B C
Windrichtingen °N	11	195 225 255 285 315 345 375 405 450 465 495
Windsnelheden U ₁₀ in m/s	3	6.6 14.1 21.6
waterstanden m t.o.v. N.A.P.	1	1
Subtotaal	132	berekeningen voor lokale golfgroei door wind
Totaal	792	berekeningen voor binnendringing, transmissie en wind

Tabel 3.1 Overzicht randvoorwaarden voor Swan berekeningen

	Xc [m]	Yc [m]	Xc_len [m]	Yc_len [m]	Alpc [°N]	mXc [-]	mYc [-]	dXc [m]	dYc [m]	Dc_sec [°]	mDc 30	dDc [°]	Fr_l [Hz]	Fr_h [Hz]	mFr [-]	dFr/Fr [Hz]
Swan grid 0: Mike bestaande Situatie																
M 00	59000	440250	6500	8000	-22.0	130	160	50	50	360	36	10	0.03	0.8	30	0.1157
Swan grid 1: Zeegebied:																
S 01	-9000	425000	42600	102000	-40.0	71	170	600	600	360	36	10	0.03	0.8	30	0.1157
Swan grid 2: Kustgebied:																
S 02	20000	440000	32550	41850	-40.0	105	135	310	310	360	36	10	0.03	0.8	30	0.1157
Swan grid 3: Geulgebied																
S 03	46000	447000	21000	8000	-20.0	210	80	100	100	360	36	10	0.03	0.8	30	0.1157
Swan grid 4: Mondingsgebied																
S 04	53300	444500	13500	6000	-20.0	270	120	50	50	360	36	10	0.03	0.8	30	0.1157
Swan grid 5: Haven binnen																
S 05	55600	440600	10000	8000	-20.0	200	160	50	50	360	36	10	0.03	0.8	30	0.1157
Swan grid 6: Maasvlakte 1																
S 06	59530	439702	8000	7500	-20.0	160	150	50	50	360	36	10	0.03	0.8	30	0.1157

Tabel 3.2 Reken-, bodem-, en uitvoerroosters Swan berekeningen



schip belading		Spits vol	Kempenaar vol	Kempenaar leeg	Neokemp vol	Dortmunder vol	Duwbak vol	Europaschip vol	Europaschip leeg	Rijnschip vol	Rijnschip containers	Jowi containers	Jowi leeg
Loa	(m)	38.50	50.00	=	= ¹	68.50	76.50	85.00	=	110.00	=	134.16	=
Boa	(m)	5.02	6.54	=	= ¹	8.20	11.40	9.50	=	11.44	=	16.90	=
Tzout	(m)	2.30	2.30	0.65	= ¹	2.70	3.84	3.08	0.90	3.37	2.80	3.13	1.30
lim. buig. mom.	(kNm)	5206	7672	7672	= ¹	13974	52060	32332	32332	55074	55074	139877	139877
lim. torsie mom.	(kNm)	981	1080	1080	= ¹	5400	21248	7885	7885	13695	13695	20418	20418
stat deel buig. mom	(kNm)	656	2825	3854	= ¹	10690	19670	5926	22230	18710	8472	53950	113600
lim dyn buig. mom	(kNm)	4550	4847	3818	= ¹	3284	32390	26406	10102	36364	46602	85927	26277
lim. denhoogte	(m)	0.90	1.00	2.35	1.20	1.35	1.20	1.35	3.20	1.35	1.65	2.50	4.10
lim. boeghoogte	(m)	0.90	1.30	3.35	1.00	1.40	1.15	1.50	4.20	1.55	1.85	3.10	5.30

Aantekeningen

- 1 Voor de Neokemp is achteraf een korte analyse uitgevoerd van de downtime zonder dat scheepsresponsberekeningen zijn uitgevoerd. Dit is gebeurd op basis van respons van de Kempenaar waarbij alleen de boeg- en denhoogtelimieten zijn aangepast

Tabel 4.1 Kenmerken van de bestudeerde binnenvaartschepen en de limiterende waarden voor de faalmechanismen
(Sommige maten wijken af van standaard afmetingen vanwege beschikbaarheid gegevens)

Index	Datum en tijd	Europlatform / Hoek van Holland					Deel traject 1					Deel traject 2					Deel traject 3					Totaal			Down- time	Maatgev. deel- traject	Maatgev. Mode			
		Hs (m)	Tp (s)	Theta (deg N)	U (m/s)	Vind Dir Deg N	Hs (m)	Tp (s)	Dir. deg. N	F.K Den (%)	F.K Buig (%)	F.K Totaal (%)	Hs (m)	Tp (s)	Dir. deg. N	F.K Den (%)	F.K Buig (%)	F.K Totaal (%)	Hs (m)	Tp (s)	Dir. deg. N	F.K Den (%)	F.K Buig (%)	F.K Totaal (%)				F.K Den (%)	F.K Buig (%)	F.K totaal (%)
1	01/01/00 00:00	1	6	-50	5	-45	0.25	6	-30	0.150	0.010	0.160	0.2	6	-20	0.050	0.000	0.050	0.15	6	-10	0.000	0.000	0.000	0.200	0.010	0.210	No	-	-
2	01/01/00 03:00	1.3	7	-70	6	-55	0.3	6.5	-50	0.300	0.050	0.350	0.26	6.5	-42	0.090	0.010	0.100	0.22	6.4	-31	0.060	0.000	0.060	0.449	0.060	0.509	No	-	-
3	01/01/00 06:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.120	0.200	0.320	No	-	-
4	01/01/00 09:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.500	0.250	0.749	No	-	-
5	01/01/00 12:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.700	0.301	0.999	No	-	-
6	01/01/00 15:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.000	0.000	No	-	-
7	01/01/00 18:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.001	0.001	No	-	-
8	01/01/00 21:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.002	0.000	0.002	No	-	-
9	02/01/00 00:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.000	0.000	No	-	-
10	02/01/00 03:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.000	0.000	No	-	-
11	02/01/00 06:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.003	0.050	0.053	No	-	-
12	02/01/00 09:00	1.8	7	290	20	240	0.38	4	240	0.200	0.100	0.300	0.45	4.5	242	0.900	0.050	0.950	0.33	4.2	238	0.050	0.000	0.050	1.148	0.150	1.296	YES	2	Den
13	02/01/00 12:00	3.5	10.7	270	15	250	0.43	9	290	0.100	0.800	0.899	0.38	7.5	270	0.050	0.300	0.350	0.3	4.5	255	0.010	0.020	0.030	0.160	1.117	1.276	YES	1	Buig
14	02/01/00 15:00	3	11.5	260	17	230	0.4	8.5	270	0.100	0.400	0.500	0.4	7	260	0.400	0.120	0.520	0.31	4.6	230	0.010	0.000	0.010	0.510	0.520	1.026	YES	2	Buig
15	02/01/00 18:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.700	0.300	0.998	No	-	-
16	02/01/00 21:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.000	0.000	No	-	-
17	03/01/00 00:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.700	0.300	0.998	No	-	-
18	03/01/00 03:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.700	0.300	0.998	No	-	-
19	03/01/00 06:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.000	0.000	No	-	-
20	03/01/00 09:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.001	0.001	No	-	-
21	03/01/00 12:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.002	0.000	0.002	No	-	-
22	03/01/00 15:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.000	0.000	No	-	-
23	03/01/00 18:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000	0.000	0.000	No	-	-
24	03/01/00 21:00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.003	0.050	0.053	No	-	-
Gemiddelde faalkans (%) in geval van downtime							0.566					0.606					0.030													

F.K faalkans

Den Water over de den

Buig Buigende moment

Krtische faalkans voor downtime = 1%

Tabel 5.1 Vereenvoudigde illustratie van berekening van downtime voor een simulatie van drie dagen

Schip	Belading	Variant					Variant meest downtime	Variant minst downtime
		T	A	B	C	CNT		
Spits	Vol	6.0%	9.9%	12.5%	12.8%	12.0%	C	T
Kempenaar	Vol	3.6%	6.0%	9.7%	9.1%	8.7%	B	T
Kempenaar	Leeg	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-
Neokemp	Vol	0.8%	1.8%	3.4%	3.6%	3.0%	C	T
Dortmunder	Vol	0.0%	0.5%	3.8%	5.3%	0.8%	C	T
Europaschip	Vol	0.0%	0.1%	1.7%	1.6%	0.1%	B	T
Europaschip	Leeg	0.0%	0.0%	0.2%	0.8%	0.0%	C	T
Groot Rijnschip	Vol	0.0%	0.1%	1.5%	1.2%	0.1%	B	T
Groot Rijnschip	Containers	0.0%	0.0%	0.4%	0.3%	0.0%	B	T
Duwbak	Vol	0.2%	1.1%	3.1%	2.7%	1.8%	B	T
Jowi	Leeg	0.0%	0.3%	3.1%	3.6%	0.1%	C	T
Jowi	Containers	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	B	A
2-Baks duwstel	Vol	0.3%	3.2%	8.7%	9.0%	2.4%	C	T
Koppelverband	Vol	0.4%	3.6%	9.2%	10.2%	2.6%	C	T
4-Baks duwstel	Vol	0.4%	3.5%	9.0%	9.6%	2.6%	C	T

Tabel 5.2 Downtime voor elk scheepstype in elke variant - heenreis. Acceptabele faalkans = 1%.

		Variant								
		T			A			B		
Schip	Belading	%D	%T	%W	%D	%T	%W	%D	%T	%W
Spits	Vol	0.12%	1.29%	98.58%	0.03%	1.37%	98.60%	2.01%	7.79%	90.21%
Kempenaar	Vol	0.07%	1.80%	98.13%	0.03%	1.67%	98.31%	2.29%	8.08%	89.63%
Kempenaar	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.04%	5.03%	94.93%	0.04%	2.28%	97.68%	3.41%	15.43%	81.17%
Dortmunder	Vol	0.04%	12.71%	87.24%	0.04%	70.18%	29.79%	13.96%	66.61%	19.42%
Europaschip	Vol	0.19%	0.00%	99.81%	0.11%	37.25%	62.64%	13.31%	45.80%	40.89%
Europaschip	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	87.84%	12.15%	16.66%	80.53%	2.81%
Groot Rijnschip	Vol	0.02%	0.00%	99.98%	0.31%	28.67%	71.02%	12.28%	44.34%	43.39%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%	0.00%	0.00%	0.11%	33.39%	66.50%	14.18%	49.63%	36.19%
Duwbak	Vol	0.22%	23.60%	76.18%	0.12%	6.58%	93.30%	8.52%	25.34%	66.14%
Jowi	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	97.17%	2.81%	17.59%	81.40%	1.01%
Jowi	Containers	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	13.57%	61.10%	25.33%
2-Baks duwstel	Vol	0.21%	14.95%	84.84%	0.29%	49.10%	50.61%	14.31%	59.30%	26.40%
Koppelverband	Vol	0.40%	11.81%	87.80%	0.28%	50.68%	49.03%	23.78%	53.53%	22.69%
4-Baks duwstel	Vol	0.37%	10.43%	89.20%	0.29%	48.87%	50.84%	18.00%	56.08%	25.92%

		Variant					
		C			CNT		
Schip	Belading	%D	%T	%W	%D	%T	%W
Spits	Vol	0.02%	9.39%	90.60%	0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Vol	0.01%	6.95%	93.04%	0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.00%	30.32%	17.39%	0.00%	0.00%	0.00%
Dortmunder	Vol	0.00%	84.77%	15.22%	0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Vol	0.00%	93.29%	6.71%	0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Leeg	0.00%	98.87%	1.13%	0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Vol	0.00%	73.02%	26.97%	0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%	81.76%	18.24%	0.00%	0.00%	0.00%
Duwbak	Vol	0.01%	41.07%	58.93%	0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Leeg	0.00%	99.51%	0.49%	0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Containers	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Baks duwstel	Vol	0.00%	83.39%	16.61%	0.03%	1.95%	98.02%
Koppelverband	Vol	0.01%	82.89%	17.11%	0.19%	12.24%	87.58%
4-Baks duwstel	Vol	0.00%	82.17%	17.83%	0.14%	9.65%	90.21%

%D = Doordringing
 %T = Transmissie
 %W = Wind

- Aandeel bepaald op basis van golfenergie
- Aandeel bepaald in het meest kritische sub-traject
- Aandeel bepaald voor het meest kritische faal-mechanisme

Tabel 5.3 Aandeel van de verschillende golf-componenten (doordringing, transmissie en wind) in gevallen met downtime. Heenreis.

Schip	Belading	Variant														
		T					A					B				
		%X	%L	%Y	%B	%D	%X	%L	%Y	%B	%D	%X	%L	%Y	%B	%D
Spits	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Kempenaar	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Kempenaar	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Dortmunder	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		88.00%	0.00%	12.00%	0.00%		98.09%	0.00%	1.91%
Europaschip	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		28.57%	0.00%	71.43%	0.00%		4.24%	1.82%	93.94%
Europaschip	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Duwbak	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Jowi	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
2-Baks duwstel	Vol		60.00%	0.00%	0.00%	40.00%		75.16%	0.00%	0.00%	24.84%		88.13%	0.00%	0.00%	11.87%
Koppelverband	Vol		65.79%	0.00%	0.00%	34.21%		78.30%	0.00%	0.00%	21.70%		91.51%	0.00%	0.00%	8.49%
4-Baks duwstel	Vol		69.77%	0.00%	0.00%	30.23%		77.88%	0.00%	0.00%	22.12%		90.61%	0.00%	0.00%	9.39%

Schip	Belading	Variant									
		C					CNT				
		%X	%L	%Y	%B	%D	%X	%L	%Y	%B	%D
Spits	Vol	0.00%		0.00%	1.63%	98.37%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Dortmunder	Vol	0.00%		99.61%	0.00%	0.39%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Vol	0.00%		91.08%	0.00%	8.92%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Leeg	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Duwbak	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Leeg	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
2-Baks duwstel	Vol		93.72%	0.00%	0.00%	6.28%		35.11%	0.00%	0.00%	64.89%
Koppelverband	Vol		99.90%	0.00%	0.00%	0.10%		94.07%	0.00%	0.00%	5.93%
4-Baks duwstel	Vol		99.89%	0.00%	0.00%	0.11%		85.66%	0.00%	0.00%	14.34%

%X = Falen op X-moment (torsie)
 %L = Falen door breken van lijnen
 %Y = Falen op Y-moment (buiging)
 %B = Falen door water over de boeg
 %D = Falen door water over de den

- Aandeel bepaald op basis van de individuele faalkans ten opzichte van de totale faalkans
- Aandeel bepaald in het meest kritische sub-traject

Tabel 5.4 Dominantie van de verschillende faal-mechanismen (in %) in geval van downtime. Heenreis.

Schip	Belading	Variant					Variant meest downtime	Variant minst downtime
		T	A	B	C	CNT		
Spits	Vol	6.5%	10.2%	13.0%	11.5%	11.0%	B	T
Kempenaar	Vol	2.8%	4.9%	8.0%	6.5%	6.2%	B	T
Kempenaar	Leeg	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-
Neokemp	Vol	0.5%	1.6%	2.6%	2.3%	1.9%	B	T
Dortmunder	Vol	0.0%	0.7%	3.5%	4.6%	0.5%	C	T
Europaschip	Vol	0.0%	0.2%	1.3%	1.7%	0.1%	C	T
Europaschip	Leeg	0.0%	0.0%	0.2%	0.8%	0.0%	C	T
Groot Rijnschip	Vol	0.0%	0.3%	1.3%	0.7%	0.2%	B	T
Groot Rijnschip	Containers	0.0%	0.1%	0.3%	0.1%	0.0%	B	T
Duwbak	Vol	0.1%	0.7%	1.7%	0.7%	0.3%	B	T
Jowi	Leeg	0.0%	0.3%	3.2%	3.8%	0.1%	C	T
Jowi	Containers	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	B	A
2-Baks duwstel	Vol	0.2%	2.6%	8.2%	8.6%	0.9%	C	T
Koppelverband	Vol	0.3%	2.9%	8.8%	10.2%	2.5%	C	T
4-Baks duwstel	Vol	0.3%	2.8%	8.7%	9.6%	2.4%	C	T

Tabel 5.5 Downtime voor elk scheepstype in elke variant - terugreis. Acceptabele faalkans = 1%.

Schip	Belading	Variant								
		T			A			B		
		%D	%T	%W	%D	%T	%W	%D	%T	%W
Spits	Vol	0.08%	0.00%	99.92%	0.02%	3.22%	96.76%	0.49%	5.34%	94.16%
Kempenaar	Vol	0.03%	0.00%	99.97%	0.02%	4.72%	95.26%	0.31%	8.64%	91.05%
Kempenaar	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.02%	0.00%	99.98%	0.01%	7.31%	92.68%	0.50%	11.13%	88.37%
Dortmunder	Vol	0.03%	0.00%	99.97%	0.02%	62.91%	37.08%	13.64%	75.60%	10.76%
Europaschip	Vol	0.03%	0.00%	99.97%	0.07%	39.14%	60.79%	7.14%	63.40%	29.45%
Europaschip	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	83.60%	16.38%	16.29%	80.72%	2.99%
Groot Rijnschip	Vol	0.02%	0.00%	99.98%	0.09%	37.60%	62.31%	1.59%	46.14%	52.28%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	49.25%	50.63%	1.44%	54.24%	44.31%
Duwbak	Vol	0.05%	0.00%	99.95%	0.04%	21.63%	78.33%	1.13%	30.86%	68.01%
Jowi	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	95.52%	4.46%	16.20%	83.27%	0.53%
Jowi	Containers	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.02%	72.41%	26.57%
2-Baks duwstel	Vol	0.17%	0.00%	99.82%	0.36%	60.17%	39.47%	15.94%	63.69%	20.38%
Koppelverband	Vol	0.50%	0.01%	99.49%	0.34%	59.25%	40.41%	25.91%	55.74%	18.35%
4-Baks duwstel	Vol	0.81%	0.04%	99.14%	0.35%	56.90%	42.74%	18.49%	59.52%	21.99%

Schip	Belading	Variant					
		C			CNT		
		%D	%T	%W	%D	%T	%W
Spits	Vol	0.02%	3.71%	96.28%	0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Vol	0.01%	4.05%	95.94%	0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Leeg	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.01%	16.87%	83.12%	0.00%	0.00%	0.00%
Dortmunder	Vol	0.00%	95.50%	4.50%	0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Vol	0.00%	94.00%	6.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Leeg	0.00%	98.70%	1.30%	0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Vol	0.01%	60.24%	39.75%	0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%	83.82%	16.18%	0.00%	0.00%	0.00%
Duwbak	Vol	0.01%	50.67%	49.33%	0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Leeg	0.00%	99.64%	0.36%	0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Containers	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2-Baks duwstel	Vol	0.01%	87.25%	12.74%	0.18%	8.38%	91.44%
Koppelverband	Vol	0.00%	83.08%	16.91%	0.18%	13.35%	86.47%
4-Baks duwstel	Vol	0.00%	82.61%	17.39%	0.17%	10.55%	89.28%

%D = Doordringing
 %T = Transmissie
 %W = Wind

- Aandeel bepaald op basis van golfenergie
- Aandeel bepaald in het meest kritische sub-traject
- Aandeel bepaald voor het meest kritische faal-mechanisme

Tabel 5.6 Aandeel van de verschillende golf-componenten (doordringing, transmissie en wind) in gevallen met downtime. Terugreis.

		Variant														
		T					A					B				
Schip	Belading	%X	%L	%Y	%B	%D	%X	%L	%Y	%B	%D	%X	%L	%Y	%B	%D
Spits	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Kempenaar	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Kempenaar	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	1.61%	98.39%
Dortmunder	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		85.71%	0.00%	14.29%	0.00%		97.29%	0.00%	2.71%
Europaschip	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		43.09%	0.00%	56.91%
Europaschip	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Duwbak	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
Jowi	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
2-Baks duwstel	Vol		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		96.02%	0.00%	0.00%	3.98%		98.60%	0.00%	0.00%	1.40%
Koppelverband	Vol		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		96.76%	0.00%	0.00%	3.24%		99.29%	0.00%	0.00%	0.71%
4-Baks duwstel	Vol		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		96.32%	0.00%	0.00%	3.68%		99.28%	0.00%	0.00%	0.72%

		Variant									
		C					CNT				
Schip	Belading	%X	%L	%Y	%B	%D	%X	%L	%Y	%B	%D
Spits	Vol	0.00%		0.00%	0.09%	99.91%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Vol	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Kempenaar	Leeg	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Neokemp	Vol	0.00%		0.00%	18.95%	81.05%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Dortmunder	Vol	0.00%		99.32%	0.00%	0.68%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Vol	0.00%		91.98%	1.85%	6.17%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Europaschip	Leeg	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Vol	0.00%		18.84%	0.00%	81.16%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Groot Rijnschip	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	100.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Duwbak	Vol	0.00%		0.00%	4.29%	95.71%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Leeg	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
Jowi	Containers	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%
2-Baks duwstel	Vol		99.88%	0.00%	0.00%	0.12%		98.78%	0.00%	0.00%	1.22%
Koppelverband	Vol		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4-Baks duwstel	Vol		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%		100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

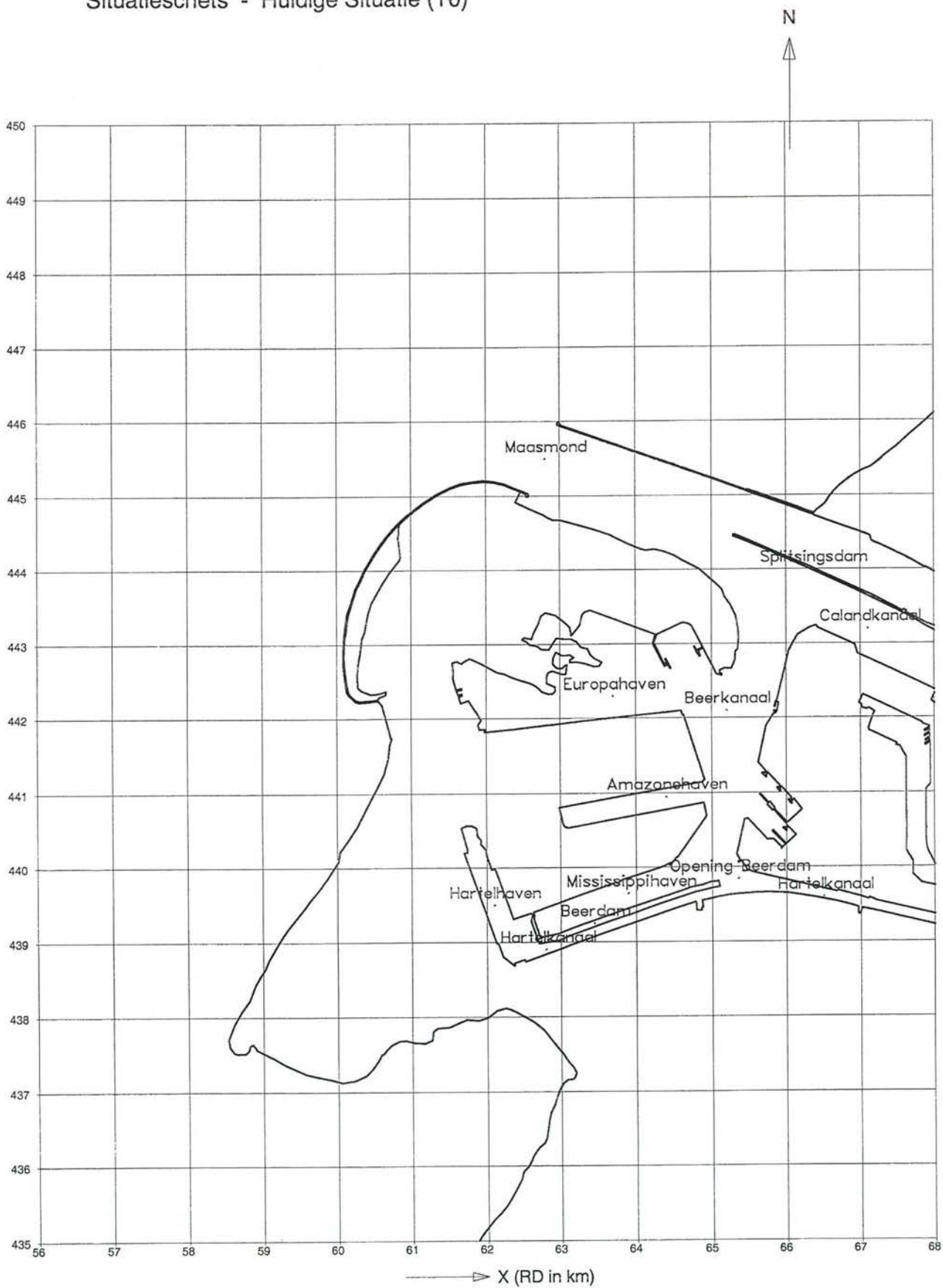
%X = Falen op X-moment (torsie)
 %L = Falen door breken van lijnen
 %Y = Falen op Y-moment (buiging)
 %B = Falen door water over de boeg
 %D = Falen door water over de den

- Aandeel bepaald op basis van de individuele faalkans ten opzichte van de totale faalkans
- Aandeel bepaald in het meest kritische sub-traject

Tabel 5.7 Dominantie van de verschillende faal-mechanismen (in %) in geval van downtime. Terugreis.

Situatieschets - Huidige Situatie (T0)

Y (RD in km)



Maasvlakte 2 - Huidige Situatie (T0)
Situatieschets

Schaal 1 : 75000

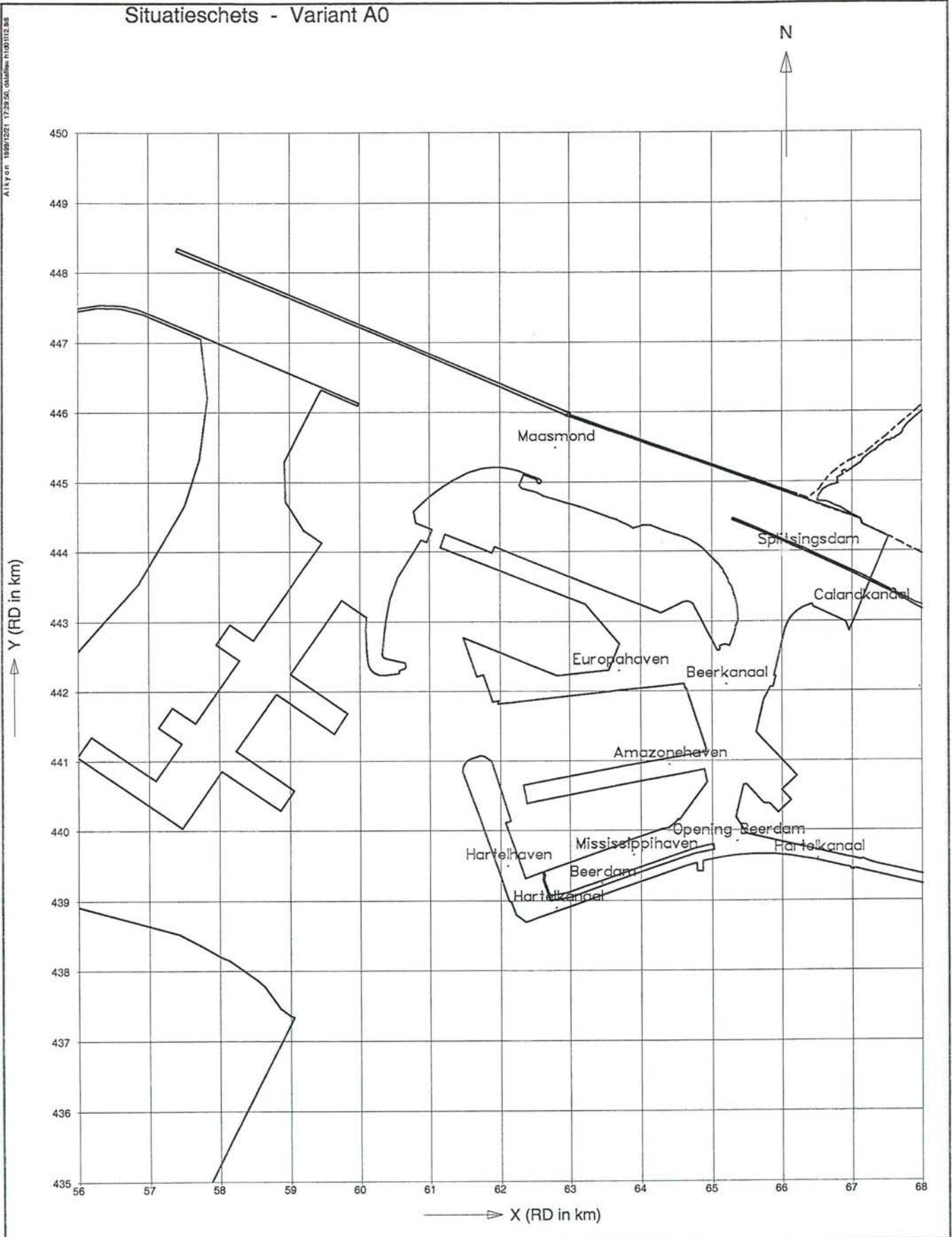
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468



Fig. 1.1

Situatieschets - Variant A0



Maasvlakte 2 - Variant A0
Situatieschets

Schaal 1 : 75000

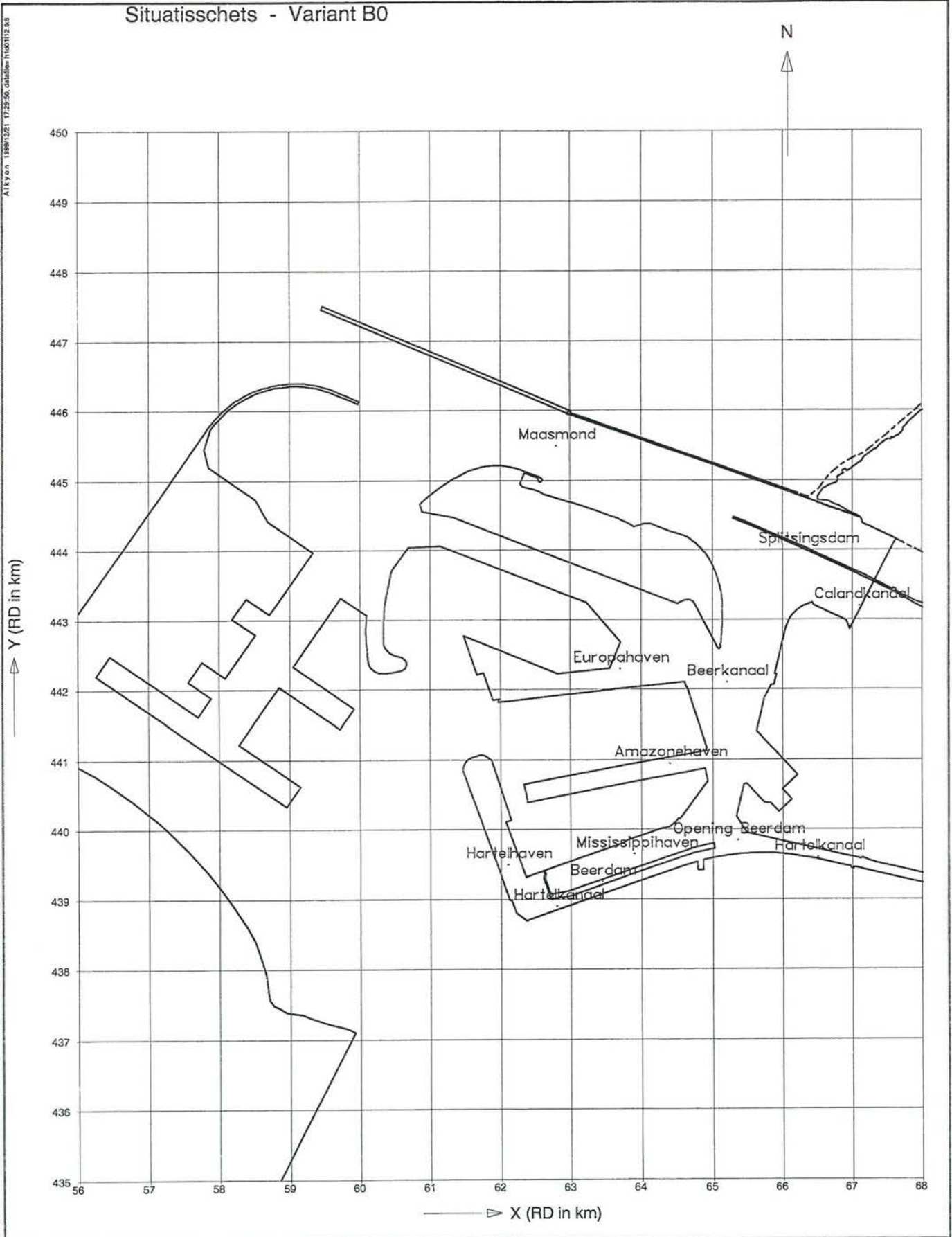
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468



Fig. 1.2

Situatisschets - Variant B0



Maasvlakte 2 - Variant B0
Situatieschets

Schaal 1 : 75000

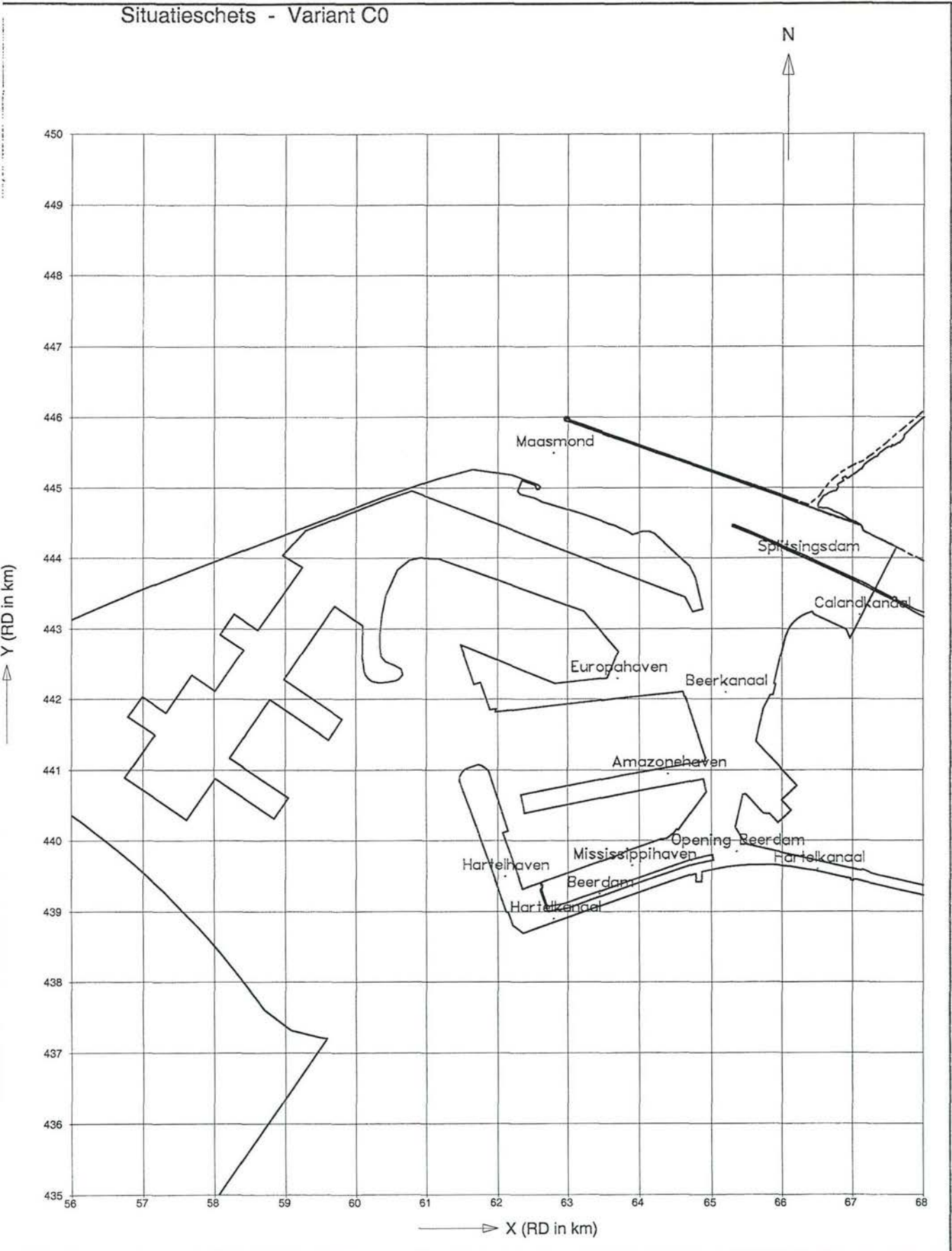
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydrotechnische Consultancy & Research

Fig. 1.3

Situatieschets - Variant C0



Maasvlakte 2 - Variant C0
Situatieschets

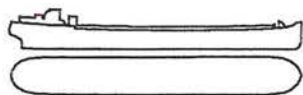
Schaal 1 : 75000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

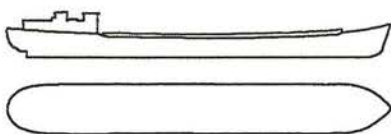
A468

 Alkyon
Hydraulic Consultancy & Research

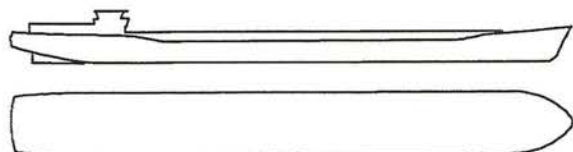
Fig. 1.4



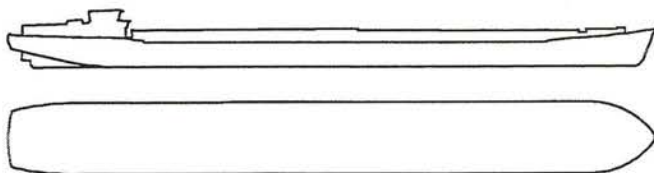
Spits
Loa: 38.50m.
Boa: 5.02m.
Lading: 288t.



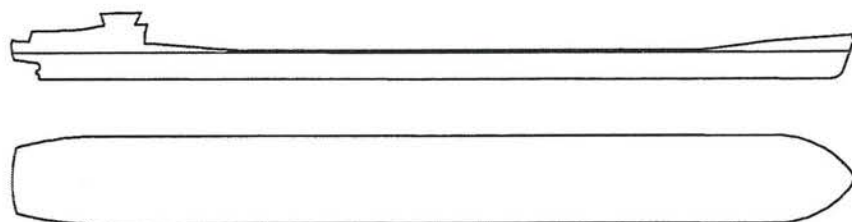
Kempenaar
Loa: 50.00m.
Boa: 6.60m.
Lading: 462t.



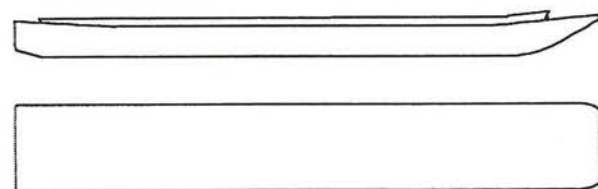
Dortmunder
Loa: 67.00m.
Boa: 8.20m.
Lading: 1025t.



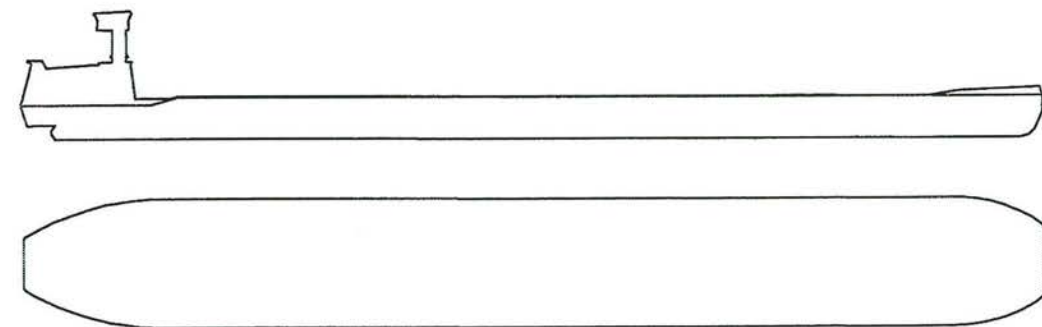
Europaschip
Loa: 85.00m.
Boa: 9.50m.
Lading: 1600t.



Rijnschip
Loa: 110.00m.
Boa: 11.40m.
Lading: 2955t.



Duwbak
Loa: 76.50m.
Boa: 11.40m.
Lading: 2760t.



Jowi
Loa: 134.16m.
Boa: 16.90m.
Lading: 4233t.

Vormen van schepen - bovenaanzicht, profiel en kenmerken

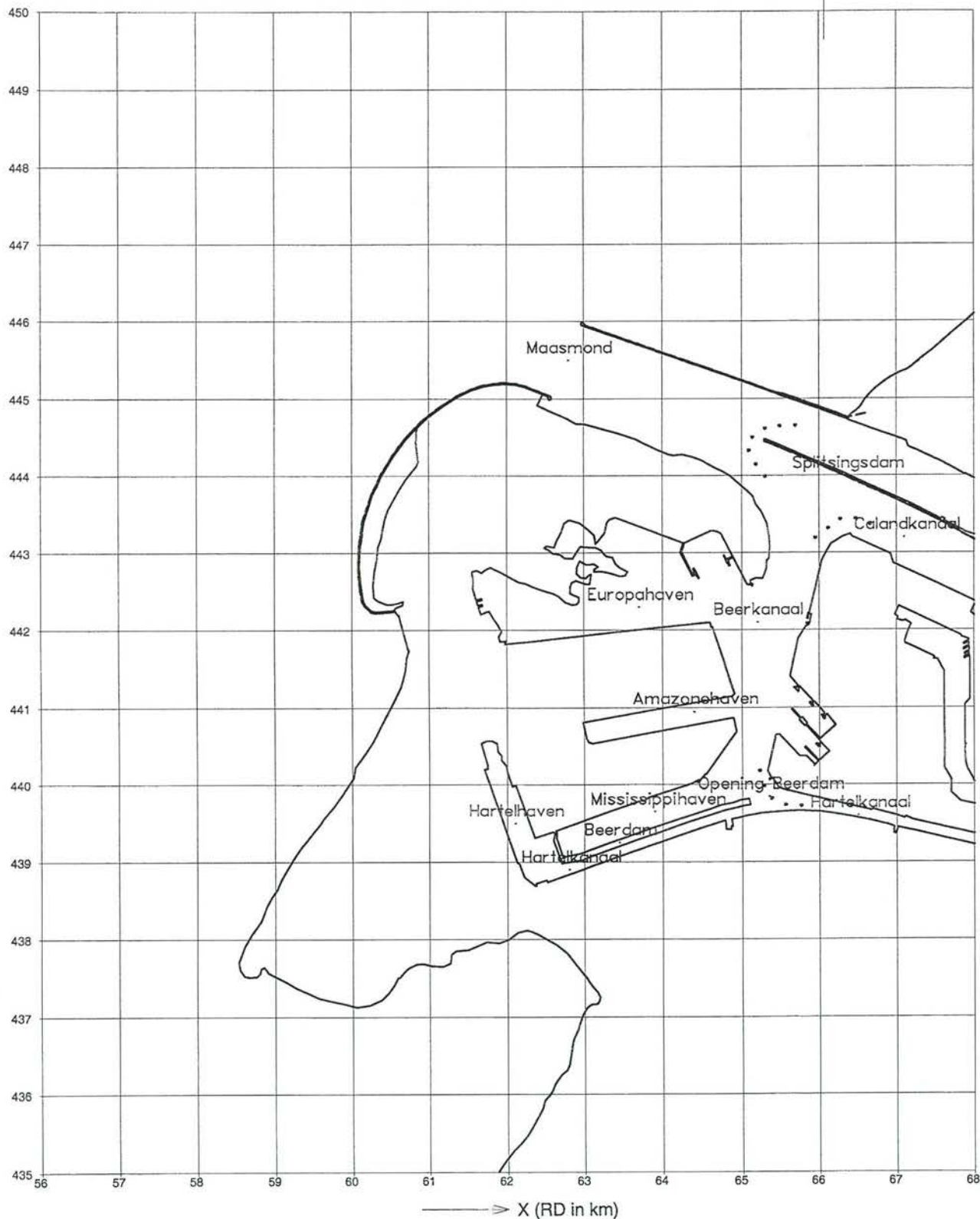
Vaarroute - Kritieke punten

Alkyon 1999/12/1 17:28:50; datum: 11/01/12.k8

Y (RD in km)



N



Maasvlakte 2 - Huidige Situatie (T0)

Kritieke punten langs de vaarroute

Schaal 1 : 75000

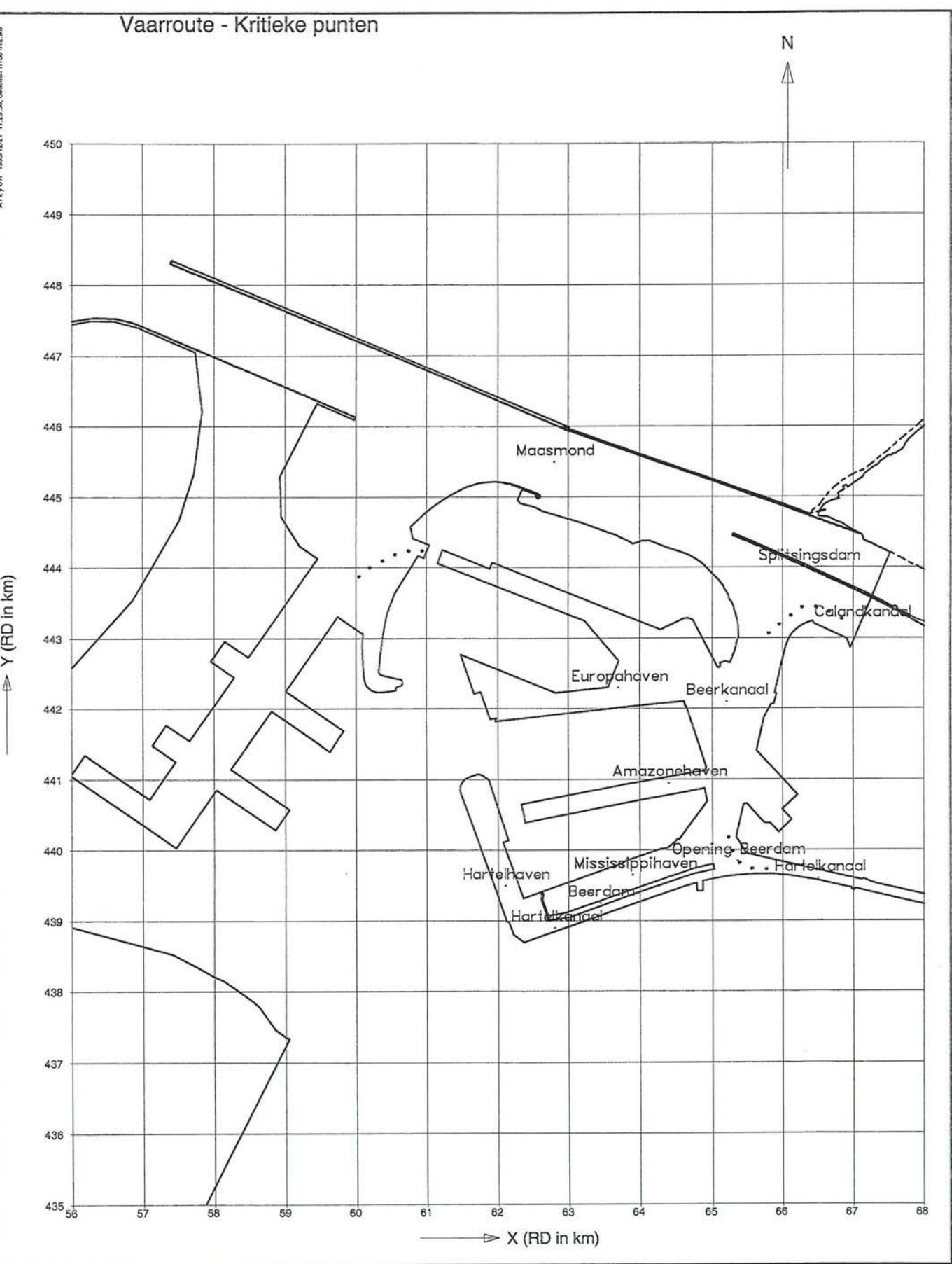
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468



Fig. 2.1

Vaarroute - Kritieke punten



Maasvlakte 2 - Variant A0
Kritieke punten langs de vaarroute

Schaal 1 : 75000

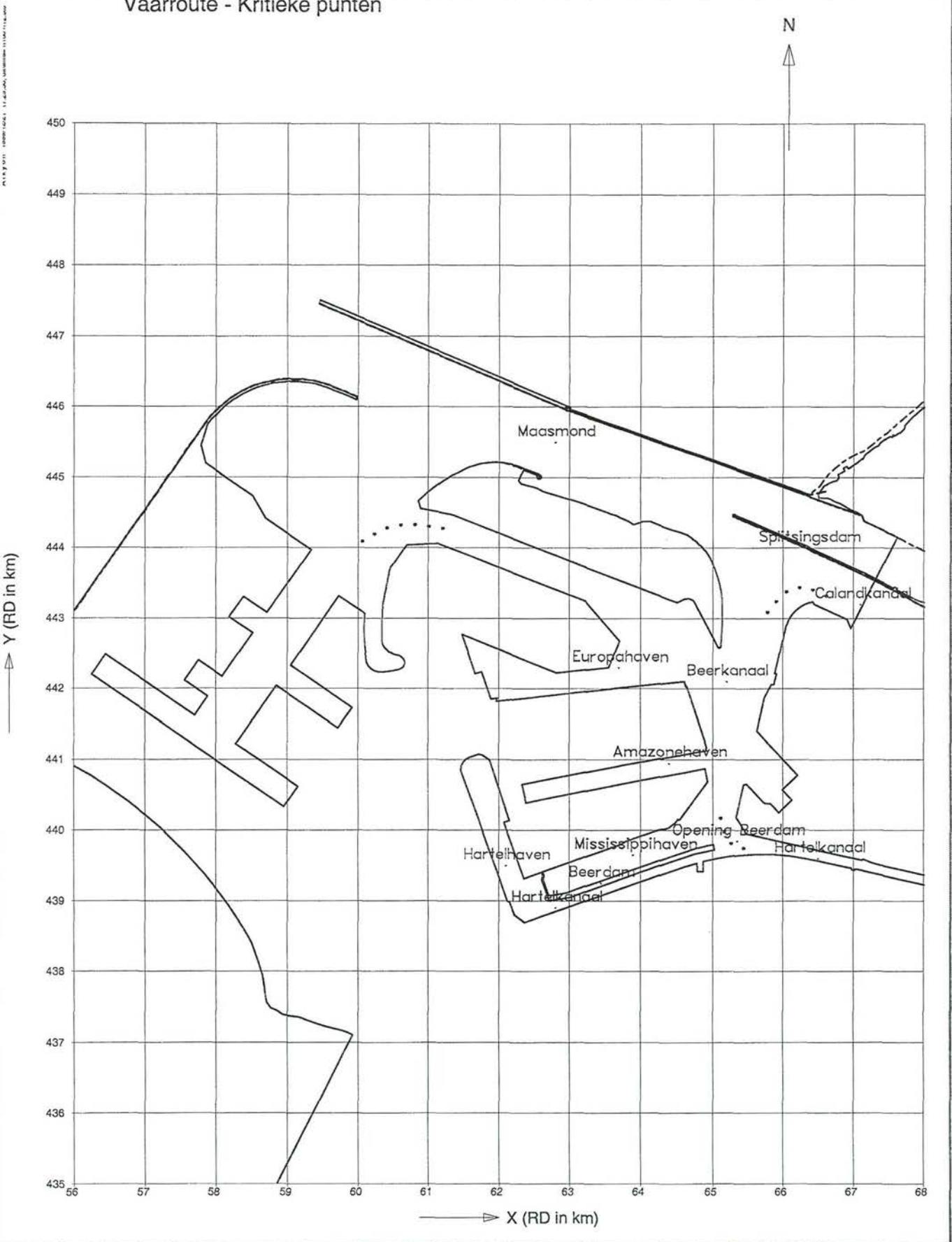
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydraulic Consultancy & Research

Fig. 2.2

Vaarroute - Kritieke punten



Maasvlakte 2 - Variant B0
Kritieke punten langs de vaarroute

Schaal 1 : 75000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

A468

Alkyon
Hydraulic Consultancy & Research

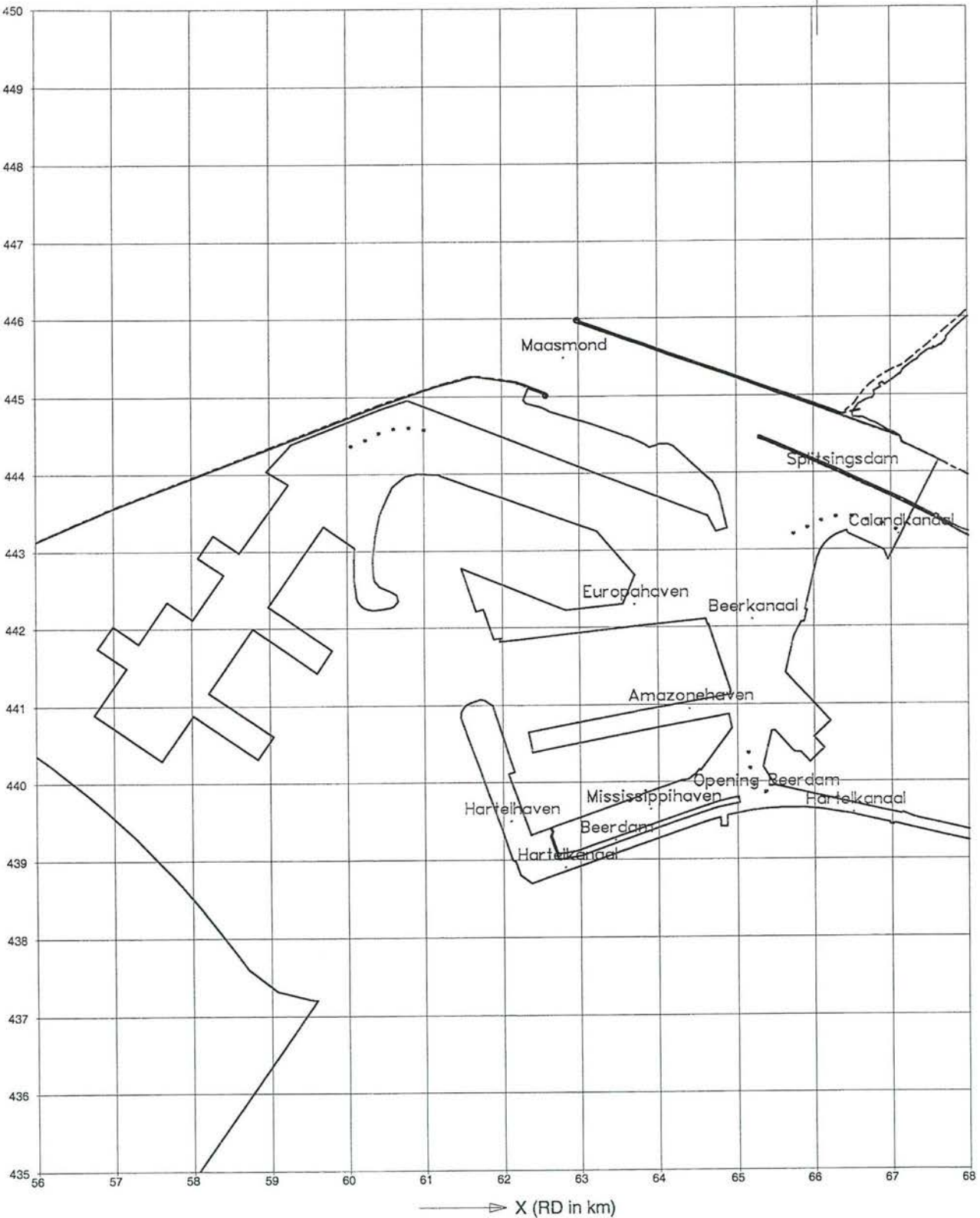
Fig. 2.3

Vaarroute - Kritieke punten

Alkyon 1999/12/1 17:23:50, d:\alke\h1001102.k6

Y (RD in km)
↑

N
↑



→ X (RD in km)

Maasvlakte 2 - Variant C0
Kritieke punten langs de vaarroute

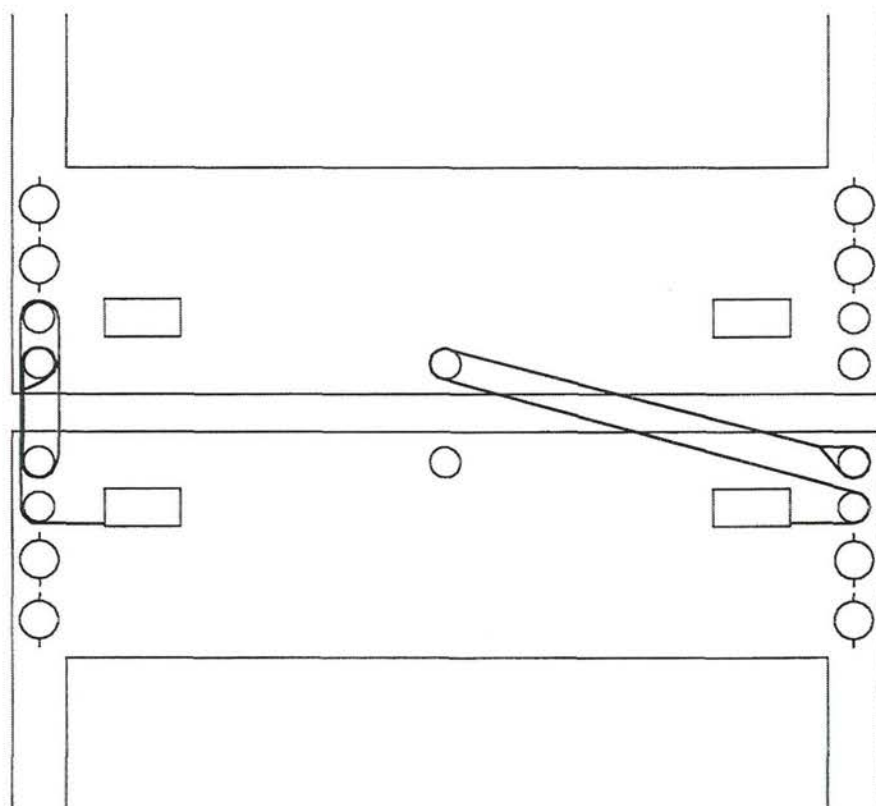
Schaal 1 : 75000

Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart

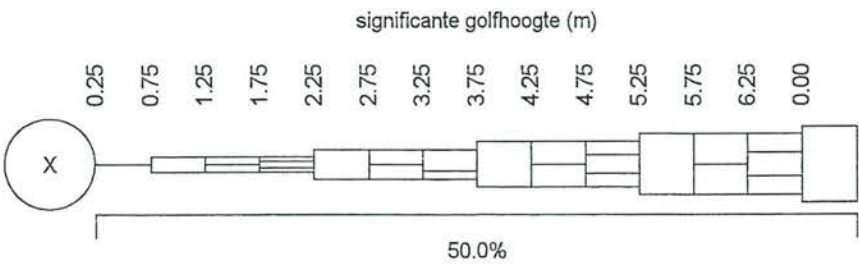
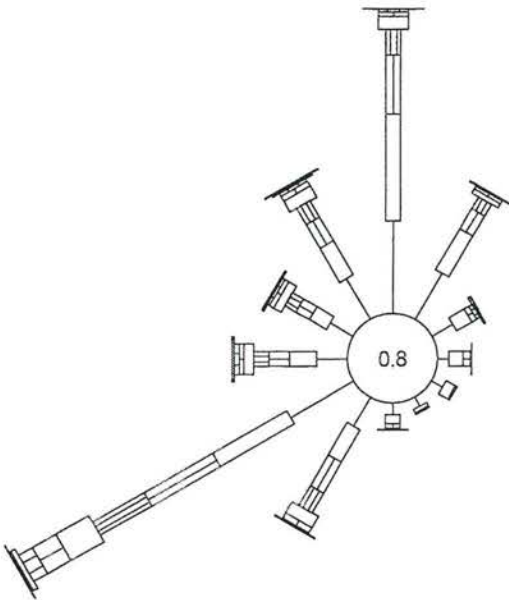
A468

Alkyon
Hydrolic Consultancy & Research

Fig. 2.4



Voorbeeld koppeling duwbak-duwschip (principe schets)		
Maasvlakte 2; Maatgevende condities voor de binnenvaart	A468	Alkyon Fig. 2.5



Maasvlakte 2: Golfroos op open zee
Lokatie: Europlatform