

722B

U.S. NAVY
OFFICE OF NAVAL ARCHITECTURE
WASHINGTON, D.C. 20340

VAARWEGVERDIEPING van de WIELINGEN:

Toetsing van de ontwerpdiepte aan nautische veiligheidseisen



Afstudeerverslag deelstudie

A.P de Looff

november 1987

THDelft

Delft University of Technology

Department of Civil Engineering
Hydraulic and Geotechnical Engineering Group
Coastal Engineering Division

VOORWOORD

De hier gepresenteerde studie is een voortzetting van de analyse van de voorgestelde vaarwegverdieping van de voor de Zeeuwsch-Vlaamse kust gelegen vaarweg "De Wielingen".

In de voorafgaande studie is het aanzandingsgedrag van de vaargeul onder de loep genomen; in dit rapport wordt de diepteligging van de geul getoetst aan nautische veiligheids-eisen.

Deze studie is uitgevoerd als afstudeerwerk aan de Technische Universiteit Delft. De begeleiding is verzorgd door ir. J.T.M. van Doorn, werkzaam bij het Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst". Voor deze prettige en vlotte begeleiding ben ik hem zeer erkentelijk.

Harry de Looff,

Delft, november 1987

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	1
2. VEILIGHEIDSKRITERIA	3
3. THEORIE	4
4. BEREKENINGSPARAMETERS	8
4.1. Foutenbeschouwing	8
4.2. Parameters, volgend uit het vaargeulontwerp	8
4.2.1. Tracee en ontwerpdiepte	8
4.2.2. Het ontwerpschip, -vaarsnelheid en -vaarschema	9
4.3. Parameters, volgend uit metingen	10
4.3.1. Stroomsnelheden	10
4.3.2. Getijkrommen (vertikaal getij)	11
4.3.3. Waterstandsfluctuaties t.g.v. op- en afwaaiing	13
4.3.4. Golfklimaatgegevens	15
5. TOETSINGSBEREKENING	18
5.1. Uitvoering van de berekening	18
5.2. Onderverdeling van de vaarroute in segmenten	18
5.3. Onderverdeling in waterstandsklassen	21
5.4. Golfklimaatklassen en scheepsresponsie	23
5.5. Berekeningsprogramma	27
6. RESULTATEN; KONKLUSIES	28

Lijst van geraadpleegde literatuur

Lijst van vaak gebruikte symbolen en afkortingen

BIJLAGEN : 16

1. INLEIDING

De toegangsgedul is een vitaal onderdeel van een havensysteem, en heeft als hoofdfunctie de aan- en afvoer van handelsgoederen over water mogelijk te maken.

Bij bestaande havensystemen kan de situatie zich voordoen dat de toegangsgedul het optimaal functioneren van de haven in de weg staat. Een oorzaak hiervan kan zijn de veranderde samenstelling van de wereldhandelsvloot in de laatste decennia: schepen met een steeds groter laadvermogen en diepgang kwamen in de vaart. Bestaande toegangsgedulen kunnen vele van deze nieuwe schepen geen veilige passage bieden. Mede hierdoor en wegens het vergroten van de overslagcapaciteit van de haven kunnen havenbestuurders (bij grote havens regio- of landsbestuurders) besluiten tot het ontwerp en de aanleg van een nieuwe (= ruimere) toegangsgedul.

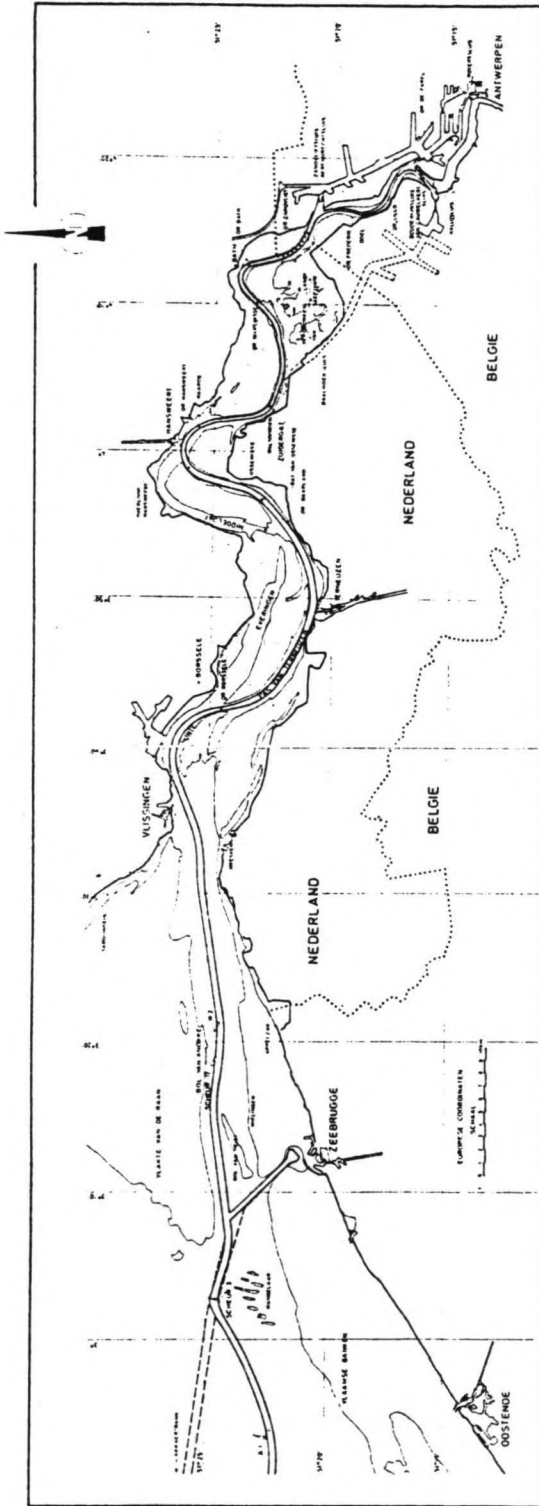
Moderne methoden voor het ontwerpen van toegangsgedulen beschouwen de relatie tussen vaarwegafmetingen, veiligheidsfactoren en "downtime" van de haven [1]. Dit om tot een optimaal ontwerp te komen waarbij de minimalisatie van aanleg- onderhouds- en verkeersbegeleidingskosten centraal staat en een zeker veiligheidsniveau geboden wordt. Als alle hiervoor benodigde parameters zoals de ontwerpvloot en de getijomstandigheden bekend zijn, is het mogelijk de ontwerpberekening op probabilistische wijze uit te voeren.

Voor de toegangsrouten tot de haven van Antwerpen (fig 1) is recentelijk door een Nederlands/Belgische studietoelmissie (Technische Schelde Commissie - TSC) een voorstel tot vaarwegverruiming gedaan, uitgaande van hoofdzakelijk deterministische ontwerpmethoden [2].

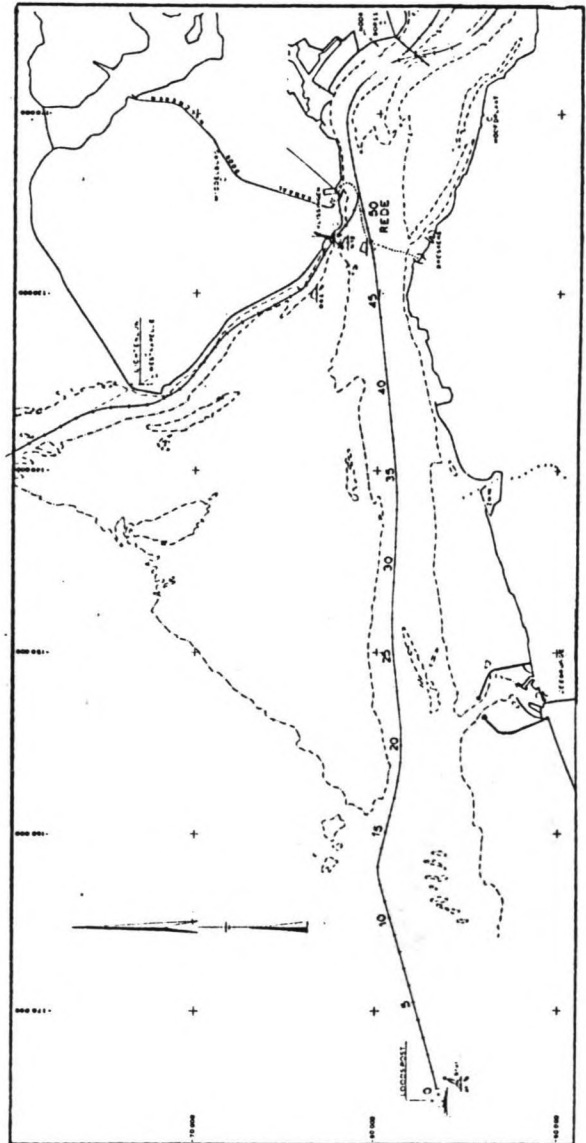
De in dit rapport gepresenteerde studie beschouwt het veiligheidsaspect van de geduldtepte van dit ontwerp, in combinatie met het ontwerpvaarschema. Een berekening op probabilistisch/deterministische basis is uitgevoerd om bepaalde onderdelen van het ontwerp aan algemeen geldende veiligheidskriteria te toetsen.

Uit de door de TSC beschouwde ontwerpvloot is hier alleen gewerkt met een massagoedschip met een zoetwaterdiepgang van 50 voet. Dit schip vaart op naar Antwerpen in twee getijden (getijpoort 0.5 uur). Alleen het eerste gedeelte van de toegangsrouten is beschouwd (fig 2): van de A1-boei tot aan de Rede van Vlissingen.

De beschouwde veiligheidskriteria hebben o.a. betrekking op de kans op bodemberoering en worden in de volgende paragraaf nader toegelicht. Aansluitend wordt de theorie van de toegepaste berekeningsmethode behandeld, als ook de berekeningsparameters en toetsingsresultaten.



Figuur 1: Maritieme toegangsweg tot de haven van Antwerpen
Noordzee - Antwerpen



Figuur 2: Het beschouwde geulgedeelte

2. VEILIGHEIDSKRITERIA

Als het ontwerp van een vaargeul met vaarschema's en geulafmetingen als veilig gekwalificeerd wordt zijn de risico's van o.a. aanvaring, vastlopen en bodemberoering tot een aanvaardbaar niveau gebracht.

Wanneer, zoals in deze studie, alleen de diepte van de vaargeul getoetst wordt, dient o.a. gekeken te worden naar het risico van bodemberoering t.g.v. squat en scheepsbewegingen in golven.

Om dit risico tot een aanvaardbaar niveau te brengen zijn veiligheidseisen (criteria) te definiëren ten aanzien van:

- a. Een acceptabel lage kans van optreden van bodemberoering per individuele vaart. (m.n. onder extreme omstandigheden)
- b. Een acceptabel lage kans van optreden van bodemberoering gedurende de economische levensduur van de toegangsgedul.

Beide criteria zijn criteria op probabilistische basis. Kriterium b lijkt op de criteria die toegepast worden bij het ontwerp van dijken en andere waterbouwkundige konstrukties.

De invulling van de criteria, waaraan in deze studie getoetst gaat worden is gedaan m.b.v. de criteria die gehanteerd zijn bij het ontwerp van de Eurogeul bij Rotterdam

- a. Kans op bodemberoering per individuele vaart < 0.01
- b. Kans op een bodemberoering tijdens de economische levensduur van de geul: ongeveer 70%.
Bij een levensduur van 20 jaar en 150 schepen per jaar komt het genoemde percentage overeen met een gemiddeld aantal bodemberoeringen per vaart van 0.0004. (')

Ondanks het feit dat in het hier beschouwde geval met kleinere schepen gewerkt wordt dan in Rotterdam is toch gemeend deze criteria ook in dit geval toe te passen.

NB. Bij het hier beschouwde scheepstype (massagoedschip > 125000 tdw) is de kans op schade vele malen kleiner dan de kans op bodemberoering.

(') dit wordt in § 6 nader toegelicht.

3. THEORIE

Het vaargeulontwerp kan aan de gestelde veiligheidskriteria getoetst worden, uitgaande van een door Strating e.a. [1] gepresenteerde theorie.

Als een geulpassage wordt uitgevoerd onder zogenaamde stationaire omstandigheden, d.w.z. bij konstante waterstand, golfkonditie, vaarsnelheid, bodemligging en scheepskarakteristieken, kan de kans op bodemberoering van een schip tijdens een geulpassage voorgesteld worden door:

$$Pr\{ A > 0 \} = 1 - \exp\left[-\frac{T_p}{T_m} \exp\left[-\frac{KC^2}{2m_0} \right] \right] \quad (1)$$

$$= 1 - \exp[-\lambda T_p] \quad (2)$$

met: A = aantal bodemberoeringen
T_p = duur van de geulpassage onder de beschouwde stationaire omstandigheden
T_m = $\sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$ = gemiddelde bewegingsperiode van het schip
m₀, m₂ = nulde en tweede spectrale moment van het scheepsresponsiespectrum
KC = gemiddelde netto kielspeling
 $\lambda = \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \exp\left[-\frac{KC^2}{2m_0} \right]$
= gemiddelde frequentie van een bodemberoering

Omdat echter bij een geulpassage nooit sprake is van stationaire omstandigheden is bovenstaande theorie in feite niet toepasbaar.

Om toch een uitspraak te kunnen doen over de kans en/of gemiddelde kans op een bodemberoering kunnen bepaalde omstandigheden als konstant verondersteld worden en kan gewerkt worden met de in formule 2 voorkomende factor ξ :

$$\xi = \lambda T_p \quad (3)$$

ξ = het gemiddeld aantal bodemberoeringen tijdens een geulpassage onder de beschouwde - bij benadering konstante - omstandigheden.

Omdat variaties optreden in de beschouwde omstandigheden, bijvoorbeeld t.g.v. getij- en meteorologische invloeden dienen per omstandigheid een aantal klassen onderscheiden te worden met een bijbehorende frequentie van optreden. (faktor f).

Bij een bepaalde combinatie van omstandigheidsklassen kan een KC en ξ bepaald worden, waarbij getoetst kan worden aan de eerste twee veiligheidskriteria (§ 2). Dit dient afzonderlijk te gebeuren voor alle mogelijke combinaties van omstandigheden.

Als een gewogen gemiddelde bepaald wordt van alle ξ 's (t.b.v. criterium 2) kan de weging uitgevoerd worden m.b.v. de faktor f:

$$\bar{\xi} = \sum_i f_i * \xi_i \quad (4)$$

met i = aantal combinaties van omgevingsomstandigheden.

De gemiddelde kans op bodemberoering per vaart als gemiddelde over alle voorkomende omstandigheden volgt dan uit (1) en (4):

$$\text{Pr}\{ A > 0 \} = 1 - \exp[-\bar{\xi}] \quad (5)$$

Met dit gegeven, gekombineerd met de scheepvaartprognose kan aan criterium 2 getoetst worden.

De factoren, die voor toepassing van bovenstaande theorie moeten worden bepaald, zijn: T_p , m_0 , m_2 , KC en f. Deze zijn afhankelijk van een aantal elementaire parameters die in §4 behandeld worden.

* T_p = passagetijd van het schip (sec)
= $L_{\text{segm}} / V_{s,b}$
met: L_{segm} = lengte van het geulsegment
 $V_{s,b}$ = vaarsnelheid over de grond

* m_0 en m_2 zijn het nulde en het tweede spectrale moment van het scheepsresponsiespectrum. Een toelichting hierop in de vorm van een beschrijving van verticale scheepsbewegingen o.i.v. golven volgt in § 5.4. De waarden van deze factoren volgen uit:

- scheepsafmetingen
- diepgang
- gemiddelde waterstand
- ontwerpbodemligging
- golfinvalshoek
- golfhoogte
- golfperiode
- vaarsnelheid t.o.v. water $V_{s,w}$

* KC = gemiddelde netto Keel Clearance
= waterdiepte (h) - diepgang (T) - squat (Z).

* de waterdiepte h is het verschil tussen de gemiddelde waterstand en de ontwerpbodempligging.

* Met squat wordt hier de maximum squat bedoeld, optredend bij de boeg of de achtersteven.
Z wordt hier bepaald middels de Tuck-Taylor-formule:

$$Z = \frac{F^2}{\sqrt{1 - F^2}} * \frac{\nabla}{L_{pp}^2} * C \quad (6)$$

$$F = \frac{V_{s,w}}{\sqrt{gh}} = \text{Froude getal}$$

$$\nabla = C_b * L_{pp} * B * T = \text{waterverplaatsing van het schip}$$

hierin komen weer aan de orde de factoren:

- scheepsafmetingen
- $V_{s,w}$
- diepgang T
- waterdiepte h

Nieuwe factoren zijn de squatcoefficient C en de blokkoefficient C_b .

* $f = f_i$

In het hier beschouwde geval is de frequentie van voorkomen f_i , van een bepaalde combinatie van omstandigheden i, bepaald als:

$$f_i = f_{i,\text{waterstandsklasse}} * f_{i,\text{golfklasse}}$$

Dit wordt in § 5 nader toegelicht.

NB de weging van de verschillende segmenten komt tot uitdrukking in de faktor T_p/T_m , voorstellende het aantal oscillaties van een schip per geulpassage.

In bovenstaande beschouwing zijn een aantal factoren van belang gebleken. In tabel 1 zijn deze nog eens weergegeven; Hierin staat tevens vermeld welke factoren variëren in de hier uitgevoerde berekening en in welke mate dit gebeurt. Het totale traject (km 0 - 50; bijlage 1) dient uit praktische overwegingen opgesplitst te worden in een aantal deeltrajecten (segmenten)

FAKTOR	I Konstant over gehele trajekt (km 0 - 50)	II Konstant per geulsegment (bij alle passages)	III Konstant per segment per vaart (klassen)
gem. waterstand			X
ontw. bodemligging		X	
L, segm		X	
Stroomsnelheid		X(*)	
Vs,w ; Vs,b		X(**)	
ontwerpgetijvenster	X		
scheepsafmetingen	X		
diepgang T	X		
golfinvalshoek		X	
[Hs;Tm,g]			X

Tabel 1: berekeningsfactoren

(*) Voor de eenvoud van berekening wordt, onafhankelijk van de optredende waterstandsklasse, uitgegaan van een per segment konstante gemiddelde stroomsnelheid. Hierbij wordt een reele waarde gehanteerd, voorkomend op het tijdstip van geulpassage

(**) Uitgegaan wordt van de ontwerpmaximumvaarsnelheid; deze wordt voor de berekening hier niet in een aantal klassen onderverdeeld.

De onder III aangekruiste parameters dienen opgesplitst te worden in een aantal klassen waar een frequentie van optreden f_i aan gekoppeld kan worden.

In de volgende paragraaf wordt naast de behandeling van de elementaire parameters ook deze onderverdeling in klassen toegelicht.

4. BEREKENINGSPARAMETERS

4.1. Foutenbeschouwing

Bij de invulling van de waarden van de berekeningsparameters is, waar mogelijk, gewerkt met de ontwerpwaarden of met de waarden die volgen uit metingen.

Als, met name bij de gemeten waarden, twijfel bestaat over de juistheid van de waarde en/of de frequentie van optreden is altijd gewerkt met een reële bovengrenswaarde. Deze waarde geeft waarschijnlijk een te hoge kans op bodemberoering, maar vanuit veiligheidsoogpunt is deze handelwijze gewenst.

4.2. Parameters, volgend uit het vaargeulontwerp

4.2.1. Tracee en ontwerpdiepte

- * Tracee: bijlage 1:

- lengte: Loodspost buitengebied - Rede Vlissingen: \pm 50 km

- * Drempels:

- Km 0 - 1 : drempel Akkaert-bank
- Km 5 -40 : drempel Scheur-Wielingen

Ontwerponderhoudsdieptes van deze drempels:

Akkaertbank: GLLWS - 15.6m
Scheur: GLLWS - 15.4m bij km 5 lineair verlopend tot
GLLWS - 14.9m bij km 40: Wielingen

- * Een probleem rijst bij de interpretatie van de gehanteerde term GLLWS: gemiddeld laag laagwater spring. Twee definitie hiervan bestaan: een Belgische en een Nederlandse.

De Belgische definitie hanteert een onderschrijdingsfrequentie van het niveau GLLWS van 0.6%; de Nederlandse definitie hanteert een onderschrijdingsfrequentie van 6.7%. Als vuistregel geldt dat tussen beide definitie ongeveer 20 cm verschil bestaat.

Ondanks dat uit veiligheidsoverwegingen de Nederlandse definitie in de berekening gehanteerd zou moeten worden, is in het vervolg toch gewerkt met de Belgische definitie, omdat deze, zeker in het buitengebied, waarschijnlijk bij het opstellen van de ontwerpdieptes is toegepast.

- * Figuur 3 geeft de drempels in langsdoorsnede weer, waarbij de kilometertelling overeenkomt met bijlage 1. De omrekening naar het referentiepeil NAP heeft plaatsgevonden via de hydrografische reductiekaart (bijlage 2).

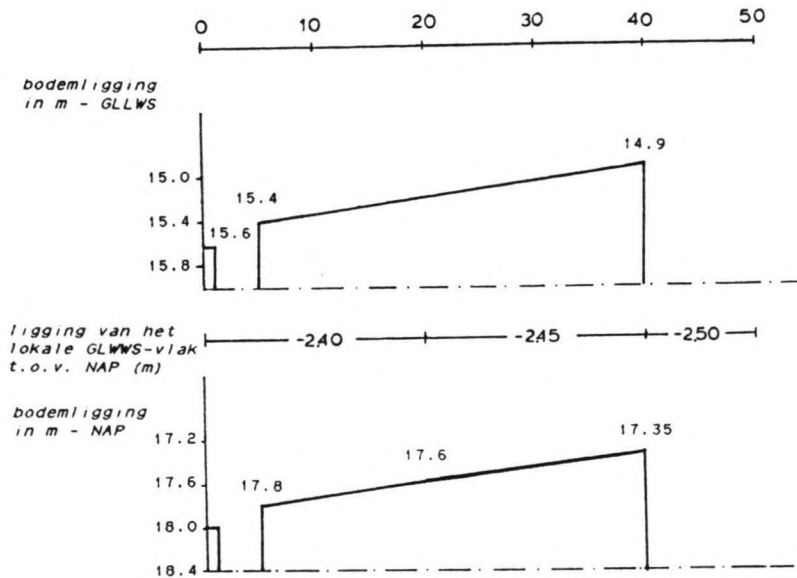


fig. 3: ontwerponderhoudsdieptes langs het tracee Noordzee - Vlissingen.

4.2.2. Het ontwerpschip, -vaarsnelheid en -vaarschema

In het Studierapport Verdieping Westerschelde [2] worden zes gewenste vaarmogelijkheden vermeld (bijlage 3). Eén van deze vaarmogelijkheden is hier beschouwd, namelijk een massagoedschip dat in twee getijden opvaart van de Noordzee naar Antwerpen met een getijpoort van een half uur per getij. Slechts het eerste gedeelte van deze opvaart is hier beschouwd (zie § 4.2.1.)

Afmetingen/karakteristieken van het ontwerpschip:

Loa	=	300m
Lpp	=	288m
B	=	50m
T	=	50voet = 15.25m zoetwaterdiepgang (#)
C	=	1.75
Cb	=	0.85

Hierbij zijn de laatste twee parameters van belang voor de squatberekening (form.6). De gehanteerde waarden zijn aan de veilige kant.

- (#) Daar in het buitengebied geen zoetwateromstandigheden heersen is de zoetwaterdiepgang omgerekend naar een zoutwaterdiepgang, uitgaande van een chloridegehalte, welke in het buitengebied niet of nauwelijks onderschreden wordt van: $Cl^- = 18\%$.

De soortelijke dichtheid van het zeewater kan dan berekend worden met:

$$\rho_{zout} = 1.32 * Cl^- + 1000 = 1020 \text{ kg/m}^3$$

De T,zout kan bepaald worden uitgaande van een gelijkblijvende Archimedeskracht in zoet en zout water:

$$F_{a,zoet} = F_{a,zout}$$

$$C_b * T_{,zoet} * L_{pp} * B * g * \rho_{zoet} = C_b * T_{,zout} * L_{pp} * B * g * \rho_{zout}$$

$$\rightarrow T_{,zout} = T_{,zoet} * \frac{\rho_{zoet}}{\rho_{zout}} = 15.25 * 1000/1020 = \underline{14.95m}$$

- * De maximum vaarsnelheid (t.o.v. het water) welke door de ontwerpers is bepaald, bedraagt: (kilometernummering: bijlage 1)

km 0 - 20:	14kn (= 7.2 m/s)	
km 20 - 30:	13kn (= 6.7 m/s)	Vaarwegvernaauwing Scheurpas
km 30 - 45:	14kn (= 7.2 m/s)	
km 45 - 50:	6kn (= 3.1 m/s)	Aanlopen ankergebied

- * Het ontwerpvaarschema is opgenomen in bijlage 3. Het ideale aankomsttijdstip op de Rede van Vlissingen is 1 uur na HW Vlissingen, omdat dan tegenstrooms geankerd kan worden.

Het vroegste tijdstip van vertrek bij km 0 valt 1,5 uur voor HW Vlissingen; het laatste tijdstip van afvaart bij km 0 is 1 uur voor HW Vlissingen.

4.3. Parameters, volgend uit metingen

4.3.1. Stroomsnelheden

Uit de stroomatlas kan een indruk verkregen worden van de optredende getijstromingen in het tijdsinterval waarin de getijpoort geplaatst is. Als het ontwerpvaarschema gehanteerd wordt gaat het hier om de periode: 1,5 uur voor HW Vlissingen tot 1,5 uur na HW Vlissingen.

Ter beschikking staan stroomsnelheden tijdens springtijomstandigheden uit de "Stroomatlas Vlaamse Banken". In bijlage 4 zijn de figuren opgenomen die de stroomsituatie weergeven op de tijdstippen: HW Zeebrugge, 1 uur hiervoor en 1 uur hierna. De stroomrichting in deze periode is gelijk aan de opvaartrichting van de schepen. De grootte van de stroming varieert tussen de 1 en 2.5 knopen. (N.B. springtij meetgegevens).

4.3.2. Getijkrommen van het vertikale getij

Langs de beschouwde scheepvaartroute zijn, behoudens te Vlissingen, geen uitgebreide waterstandsregistraties uitgevoerd.

Wel ter beschikking staan getijwaarnemingen langs de Belgische kust te Zeebrugge en Oostende. Beschikbaar zijn getijkrommen die weergeven:

- gemiddeld doodtij
- gemiddeld getij
- gemiddeld springtij

Ook is voor het mondingsgebied van de Westerschelde en een deel van de Noordzee een zogenaamde hydrografische reductiekaart beschikbaar. (bijlage 2)

In combinatie met deze kaart kunnen de getijkrommen in de registratiestations omgerekend worden naar getijkrommen van elk gewenst punt in het mondingsgebied. De zo gevonden getijkrommen langs de vaarroute kunnen als basis dienen voor de uit te voeren berekening.

Punt langs vaarroute op km:	GLLWS (cm - NAP)	M2-ampl. (cm)	M2-fase (min)	Referentie station	Δt HW Vliss. (min)	A/B
0	245	163	70	Oostende	53	0.91
18	245	165	86	Zeebrugge	37	0.99
28	245	165	96	Zeebrugge	27	0.99
40	247	168	110	Cadzand; Vlissingen is toegepast	13	0.96
50	250	175	123	Vlissingen	0	1.00

NB: A = M2-amplitude in het beschouwde punt
B = M2-amplitude in het referentiestation

Tabel 2: Omrekeningstabel voor een aantal punten langs de vaarroute, opgesteld aan de hand van de hydrografische reductiekaart (bijlage 2)

Omrekeningsprocedure:

De omrekeningsprocedure berust op lijnen van gelijk GLLWS en lijnen van gelijke M2-fase en -amplitude. Bijlage 5 toont de getijkrommen van Zeebrugge, Oostende en Vlissingen voor gemiddeld springtij, gemiddeld getij en gemiddeld doodtij. Deze dienen als referentiekrommen voor de omrekening.

Als voorbeeld van deze omrekening toont bijlage 6 de getijkrommen langs de vaarroute bij de kilometerstanden 0,18,28,40 en 50. Als tijdsreferentie is hierbij gehanteerd Hoogwater Vlissingen en als niveaureferentie is uitgegaan van NAP.

VOORBEELD van berekening van de getijkromme voor gemiddeld getij in km 0:

* Uitgangspunt: getijkromme Oostende (bijlage 5) en hydrogr. reductiekaart (bijlage 2).

De waterstanden zijn uitgedrukt in m boven GLLWS. Deze worden eerst omgerekend naar NAP via: GLLWS Oostende = NAP - 2.69 m.

De naar NAP herleide getijkromme dient met de factor A/B vermenigvuldigd te worden:

$$\begin{array}{l} A = \text{M2-ampl km 0} = 163 \text{ cm} \\ B = \text{M2-ampl Oost.} = 180 \text{ cm} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l}) \\) \end{array} \right\} A/B = 0.91$$

De faseverschuiving van de twee punten bedraagt: $70 - 69.3 = 0.7$ minuten, in dit geval te verwaarlozen.

Indeling in klassen:

Op grond van meetreeksen van het getij kan een onderschrijdingsfrequentielijn van optredende HW en LW-standen opgesteld worden.

In lit.[4] zijn meetreeksen van het meetstation Zeebrugge gepubliceerd. Bijlage 7 toont de tabel voor HW-standen; tevens is hierin de HW-onderschrijdingsfrequentielijn getekend. In deze figuur zijn ook de HW-standen aangegeven van de in bijlage 5 opgenomen getijkrommen voor gemiddeld doodtij, gemiddeld getij en gemiddeld springtij te Zeebrugge.

Voor de ter beschikking staande getijkrommen kan de volgende frequentie van optreden gehanteerd worden:

Klasse I : gemiddeld springtij; f = 0.2
 Klasse II : gemiddeld getij; f = 0.6
 Klasse III : doodtij (*); f = 0.2

(*) De HW-waarde van de kromme van gemiddeld doodtij wordt door ca. 14% van de getijden onderschreden. Voor de hier uit te voeren berekening is dit aan de onveilige kant. Als doodtij-kromme wordt gehanteerd een kromme met een HW-waarde die 20 cm lager ligt dan de kromme voor gemiddeld doodtij. Bij deze waarde ligt de onderschrijdingsfrequentie op ca. 4% .

4.3.3. Waterstandsfluctuaties t.g.v. op- en afwaaiing

Meteorologische invloeden op de waterstand manifesteren zich naast golfvorming ook d.m.v. op- of afwaaiing.

Van speciaal belang voor de hier uitgevoerde berekening is de afwaaiing: de kans op bodemberoering bij geulpassage wordt ongunstiger beïnvloed door afwaaiing dan door opwaaiing.

Uit de Zeemansgids voor de Nederlandse kust 1979 [5] volgen onderstaande waterstandsverlagingen t.g.v. afwaaiing, geldend voor de Zuidelijke Noordzee:

	LW			HW		
jaarlijkse frequentie	10	1	0.1	10	1	0.1
frequentie per getij(*)	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-2}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$1.4 \cdot 10^{-2}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$
verlaging in cm.	46	75	103	47	80	113

(*) uitgaande van $365 \cdot (24/12.4) \approx 700$ getijden per jaar komt bv. een frequentie van 10 maal per jaar overeen met een frequentie van $10/700 = 0.014$ per getij.

In onderstaande figuur is de overschrijdingsfrequentielijn voor HW getekend op halflogpapier, alleen uitgaande van afwaaiing.

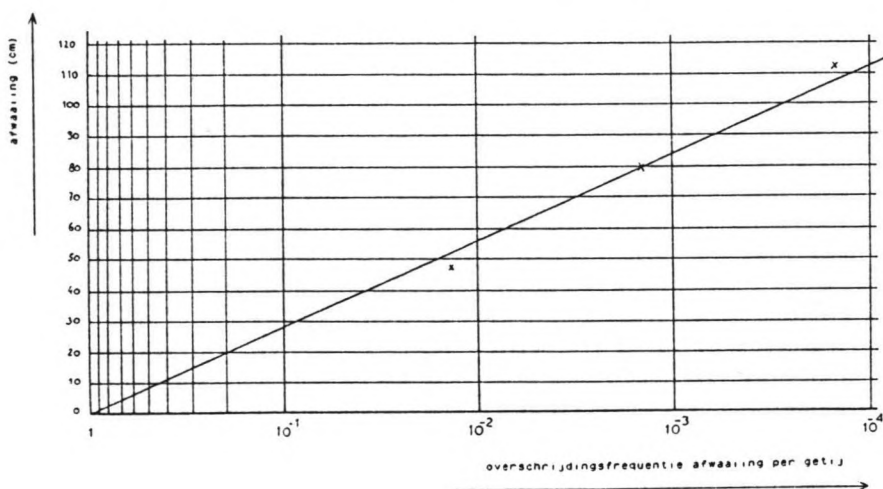


Fig. 4: Overschrijdingsfrequentielijn voor afwaaiing

Indeling in klassen:

Op grond van bovenstaande frequentielijn kan bijvoorbeeld onderstaande klasseindeling opgesteld worden:

	afwaaiing	frequentie	in de berekening toe te passen waarde v.d. afwaaiing
a.	> 40 cm	0.05	90 cm
b.	25 - 40 cm	0.10	30 cm
c.	15 - 25 cm	0.15	15 cm
d.	< 15 cm	0.70	0 cm
		1.00	

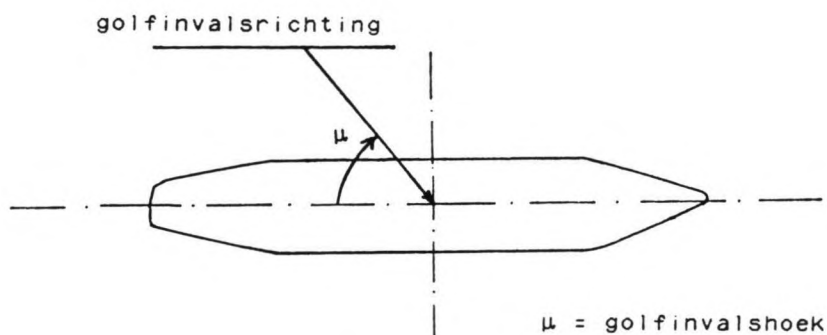
Bij de klasse a is de gehanteerde waarde aan de zeer veilige kant; klasse d vertegenwoordigt de opwaaiing en de "neutrale" situatie.

Het feit dat hoge golven vaak samenvallen met opwaaiing is hier buiten beschouwing gelaten omdat hier te weinig over bekend is. Beide verschijnselen zijn onafhankelijk verondersteld, wat aan de veilige kant is (§ 4.1)

4.3.4. Golfklimaatgegevens

* Golfinvalshoek

De belangrijkste bijdrage aan de scheepsbewegingen o.i.v. golven wordt geleverd door deiningsgolven. Uit metingen is gebleken dat in de Zuidelijke Noordzee de overheersende voortplantingsrichting van deiningsgolven Noordoost is. Voor de beschouwde scheepvaart betekent dit golfinval schuin van achteren. Volgens de definitie van onderstaand plaatje geldt bij de beschouwde deiningsrichting voor een opvarend schip langs het traject (bijlage 1) een golfinvalshoek $60^\circ < \mu < 80^\circ$.



Bij het vaargeulgedeelte dat van de Noordzee afgeschermd wordt door het bankengebied van de Raan is het waarschijnlijk dat bij de beschouwde deiningsrichting refractie optreedt en de hoek μ zal afnemen. Dit effect is in deze studie niet in beschouwing genomen.

* Golfhoogte/golfperiode:

Ter beschikking staan golfhoogte/golfperiode-registraties van drie "waveriders" langs de vaarroute, die de jaren 1985 en 1986 bestrijken [6].

Uitgaande van bijlage 1 bevinden de golfmeetboeien zich op de kilometers: 10, 28 en 40. Aangehouden wordt hier de benaming zoals die ook door Rijkswaterstaat wordt gehanteerd: respectievelijk SCHeur West (SCHW), SCHeur Oost (SCHO) en WIELingen (WIEL).

Bijlage 8 toont een presentatie van de golfregistraties.

Voor de categorie Alle Waterstanden is een relatieve aantallen-tabel beschikbaar van H-T - combinaties.

H stelt voor: H_s = significante golfhoogte [m]

T stelt voor: $T_{m02} = T_{m,g}$ = gemiddelde golfperiode [sec]

Zoals uit de tabellen blijkt is de maximum golfperiode $T_{m,g} = 7.5$ sec, wat overeenkomt met een golfspektrum met piekperiode van $T_p \approx 10$ sec. In dit spektrum komen ook golven voor met een periode > 10 sec. Vooral deze golven veroorzaken de grootste scheepsresponsie.

Uit de registraties blijkt voor de stations SCHO en WIEL weinig verschil te bestaan tussen de geregistreerde waarden. Voor de berekening is gemeend voor beide stations dezelfde waarden te gebruiken. Dit is mede te rechtvaardigen wegens het relatief grote verschil dat bestaat tussen de registratiewaarden van SCHO/WIEL en SCHW.

De waarden in SCHO/WIEL zijn lager dan in SCHW wegens de dempende werking van het bankengebied ten noorden van de geul. Een reële aanname is dat de demping optreedt als afname van de golfhoogte bij nagenoeg gelijkblijvende golfperiode.

De golfgegevens dienen als uitgangspunt voor de berekening van m_0 en m_2 van het scheepsresponsiespectrum (uitwerking hiervan zie § 5.4). en leveren daarom een directe bijdrage aan de kans op bodemberoering (form.1).

De golfgegevens met de grootste $T_{m,g}$ -en H_s -waarden leveren de grootste bijdrage aan ξ en $\bar{\xi}$. Dit is een reden om in de berekening alleen de intervallen mee te nemen met de hoogste H_s -en/of $T_{m,g}$ -waarde. Hiervoor kan een zogenaamd stopkriterium gehanteerd worden.

Bijvoorbeeld: Als de bijdrage van de combinatie $[H_s; T_{m,g}]_i$ aan de parameter $\bar{\xi}$ kleiner is dan bv. 1% van het gestelde criterium ($\bar{\xi} < 0.0004$), wordt de combinatie $[H_s; T_{m,g}]_i$ en ook "lagere" combinaties niet meer in beschouwing genomen omdat de bijdrage aan $\bar{\xi}$ geen wezenlijke invloed meer heeft op deze parameter.

Indeling van klassen:

Op basis van bovenstaande overwegingen kan een indeling gemaakt worden van golfklimaatklassen, van toepassing op het tracee.

Per golfklimaatklasse is bepaald de $[H_s; T_{m,g}]$ -combinatie voor SCHW en SCHO/WIEL en de frequentie van voorkomen. De basis hiervoor zijn de golfklimaatregistraties van SCHW.

De presentatie van deze registraties (bijlage 8) vermeldt hoeveel registraties binnen een bepaald Hs-interval en Tm-interval gedaan zijn. Als voorbeeld valt 182 promille van de registraties in het interval: [(3.5s < Tm,g < 5.5s) ; (1.0m < Hs < 1.5m)]. Voor de hier uitgevoerde berekening is uit veiligheidsoogpunt steeds gewerkt met een bovengrenswaarde, zowel bij Hs als bij Tm. In het geval van het voorbeeld is dus gewerkt met: [Hs;Tmg] = [1.5;5.5].

Klasse	[Hs;Tm,g]-interval		factor f (promille)
	SCHW	SCHO/WIEL	
I	[4.0;7.5]	[3.0;7.5]	1
II	[3.5;7.5]	[2.5;7.5]	5
III	[3.0;7.5]	[2.3;7.5]	7
IV	[2.5;7.5]	[1.9;7.5]	5
V	[2.0;7.5]	[1.5;7.5]	2
VI	[1.5;7.5]	[1.1;7.5]	2
VII	[3.0;5.5]	[2.3;5.5]	3
VIII	[2.5;5.5]	[1.9;5.5]	16
IX	[2.0;5.5]	[1.5;5.5]	59
X	[1.5;5.5]	[1.1;5.5]	182
XI	[1.0;7.5]	[0.8;7.5]	2
XII	[1.0;5.5]	[0.8;5.5]	204

Tabel 3: Indeling van de golfklimaatgegevens in golfklassen, zoals deze mogelijk in de berekening toegepast kunnen worden

5. TOETSINGSBEREKENING

5.1. Uitvoering van de berekening

Met de in § 3 gepresenteerde theorie kan aan de veiligheidskriteria uit § 2 getoetst worden. De basis van de berekening is formule 4:

$$\bar{\xi} = \sum_i f_i * \xi_i$$

waarin $i = \left[\frac{\text{aantal geulsegmenten} * \text{aantal waterstandsklassen} * \text{aantal golfklassen}}{\text{aantal golfklassen}} \right]$

In totaal zijn i combinaties [segment;waterstandsklasse; golfklasse] mogelijk, waarvoor afzonderlijk f_i en ξ_i bepaald dienen te worden.

ξ_i wordt berekend met formule 3:

$$\xi = \lambda T_p = \frac{T_p}{T_m} \exp \left[- \frac{KC^2}{2m_0} \right]$$

en $f_i = f_{i,ws\text{-klasse}} * f_{i,golf\text{-klasse}}$

Met de bepaling van ξ_i wordt ook KC_i berekend. Met de parameters ξ_i , KC_i en $\bar{\xi}$ kan de volledige toetsing uitgevoerd worden. Voordat de bovenstaande parameters bepaald kunnen worden dient het traject opgedeeld te worden in segmenten, moeten waterstandsklassen gedefinieerd worden en golfkarakteristieken omgezet worden in scheepsresponsieparameters.

5.2. Onderverdeling van de vaarroute in segmenten

Om de hiervoor beschreven berekeningsmethode te kunnen toepassen is het noodzakelijk de vaarroute op te delen, om segmenten te creëren waar bij benadering van konstante omstandigheden mag worden uitgegaan.

Kriteria, die bij de onderverdeling een rol spelen, zijn:

1. ontwerponderhoudsdiepte
2. waterstandsvariatie tijdens geulsegmentpassage < 30 cm
3. lokatie van de registratieboeien van de golfgegevens
4. vaarsnelheden
5. stroomsnelheden

Het laatste criterium wordt hier niet maatgevend gesteld; uit § 4.3.1 blijkt dat de stroomrichting gelijk is aan de vaarrichting. Voor berekening is onder alle omstandigheden gerekend met een kleine stroomsnelheid van $1 \text{ kn} (\approx 0.5 \text{ m/s})$. Vanuit veiligheids-oogpunt is dit een acceptabele ondergrenswaarde. Een meer gedetailleerde opsplitsing zou mogelijk zijn, maar is t.b.v. de eenvoud van de berekening achterwege gelaten.

De opdeling van de vaarroute in segmenten gebeurt in eerste instantie op grond van de criteria 1,3 en 4, waarna getoetst wordt aan criterium 2.

Kriterium 1: Ontwerpbodemligging

In § 4.2.1 wordt de ontwerpbodemligging besproken. Naar blijkt ligt een "harde" grens bij km 40 (zie fig.6) Voor het overige deel van het traject boven de drempel bestaat een zekere flexibiliteit wat onderverdeling betreft; Uit veiligheidsoogpunt (§ 4.1) dient per segment als in de berekening toe te passen bodemligging het ondiepste punt genomen te worden.

Voorbeeld: als een geulsegment gedefinieerd wordt tussen de kilometerstanden 25 en 40 dient over de gehele lengte van het segment een bodemligging gehanteerd te worden van: NAP - 17.35 meter.

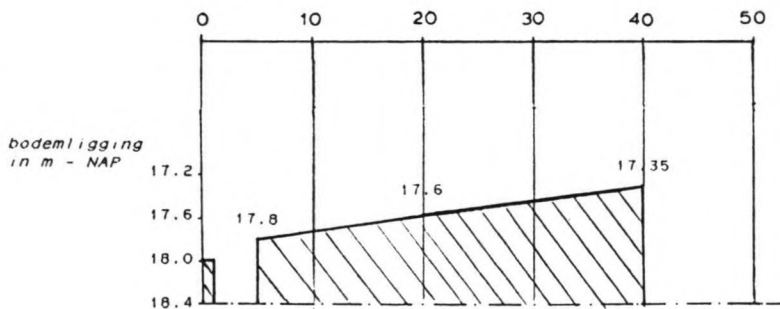


Fig.6: Ontwerpbodemligging

Kriterium 3: Lokatie van de golfmeetboeien.

Drie golfmeetboeien zijn in de beschouwde vaarroute aanwezig: SCHW, SCHO, WIEL (zie § 4.3.4)
Globaal kan de volgende indeling gehanteerd worden:

km 0 - 20 : SCHW
km 20 - 35 : SCHO
km 35 - 50 : WIEL

waarbij de grens tussen SCHO en WIEL flexibel is omdat de golfregistraties in beide gebieden nagenoeg dezelfde waarden vertonen.

Kriterium 4: Vaarsnelheden

De in het ontwerp gehanteerde maximum vaarsnelheden zijn:
(§ 4.2.2.)

km 0 - 18 Vs,w = 14 kn
km 18 - 28 Vs,w = 13 kn
km 28 - 45 Vs,w = 14 kn
km 45 - 50 Vs,w = 6 kn

Op grond van bovenstaande criteria kan de volgende vaarwegindeling voorgesteld worden:

segment	km	min. bodem- ligging (m-NAP)	golfstation	Vs,w (kn)
I	0 - 18	17.60	SCHW	14
II	18 - 28	17.50	SCHO	13
III	28 - 40	17.35	SCHO/WIEL	14
IV	40 - 50	20	WIEL	$(14+6)/2 = 10$

Tabel 4: Mogelijke vaarwegindeling n.a.v. criteria 1,3 en 4

De controle aan het criterium $\Delta WS < 30\text{cm}$ blijkt te voldoen. Uit tabel 6, § 5.3 blijkt dat ΔWS maximaal 20 cm bedraagt. Het hier gestelde criterium wordt algemeen toegepast; de waarde van 30 cm is enigszins arbitrair. 30 cm \approx 1 voet, de eenheid waarin de diepgang van schepen uitgedrukt wordt.

De voor de berekening van belang zijnde parameters staan in tabel 5 vermeld:

segment	min. bodem- ligging (m-NAP)	golfstation	Vs,w (kn)	Vs,b (kn)	L,segm (km)	Tp (min) (=Lsegm/Vs,b)
I	17.60	SCHW	14	15	18	39
II	17.50	SCHO/WIEL	13	14	10	23
III	17.35	SCHO/WIEL	14	15	12	26
IV	20	SCHO/WIEL	10	11	10	30
Totale passageduur:						118 min.

Tabel 5: de in de berekening toe te passen vaarwegindeling met bijbehorende parameters.

5.3. Onderverdeling in waterstandsklassen

De optredende waterstand wordt in eerste instantie opgelegd door het astronomische getij. Dit komt o.a. tot uiting in de termen doodtij en springtij. Hierdoor ontstaat een steeds veranderend beeld van de getijkromme gedurende een maandcyclus. Naast de invloed van het astronomische getij is voor de waterstand van belang het optreden van op- of afwaaiing.

Om de door bovengenoemde invloeden ontstane waterstandsvariaties in de berekening te kunnen verwerken is een onderverdeling van de waterstand gemaakt in een aantal waterstandsklassen. Per klasse kan een faktor f bepaald worden die de frequentie van optreden weergeeft.

In § 4.3.2 is het astronomische getij in drie klassen opgesplitst: gemiddeld springtij, gemiddeld getij en doodtij. Voor elk van deze klassen is een frequentie van optreden vastgesteld. Een soortgelijke procedure is gevolgd bij de gegevens over afwaaiing (§ 4.3.3) waarbij vier klassen onderscheiden zijn.

Het optreden van op- of afwaaiing wordt niet beïnvloed door het astronomische getij, zodat voor de bepaling van de waterstandsklassen uitgegaan kan worden van $3 * 4 = 12$ waterstandsklassen.

Nu uit § 5.2 de segmentindeling bekend is, kunnen t.p.v. de segmentsgrenzen de waterstandskrommen bepaald worden voor de toestanden gemiddeld springtij, gemiddeld getij en doodtij. In § 4.3.2 is beschreven hoe deze krommen bepaald worden; bijlage 6 toont de zo opgestelde getijkrommen voor vijf punten langs de vaarroute.

Met de getijkrommen en de bekende passageduren kan een vaart gesimuleerd worden. Per segment kan dan bepaald worden wat per segmentpassage de waarden zijn van de parameters: WS,min ; WS en ΔWS. Deze waarden zijn afhankelijk van het tijdstip van vertrek. Onderstaande tabel toont deze waarden voor vertrek voorin het vaarschema en achterin het vaarschema.

Klasse I: gemiddeld springtij	segment I	segment II	segment III	segment IV
WS (m NAP)	2.14/2.20	2.25/2.19	2.26/2.13	2.26/2.09
Δ WS (cm)	20/12	3/9	1/2	1/5
WSmin (m NAP)	2.04/2.14	2.24/2.14	2.26/2.12	2.20/2.07
Klasse II gemiddeld getij	segment I	segment II	segment III	segment IV
WS (m NAP)	1.77/1.83	1.87/1.84	1.88/1.79	1.89/1.75
Δ WS (cm)	17/12	4/4	2/6	2/2
WSmin (m NAP)	1.68/1.77	1.85/1.82	1.87/1.76	1.88/1.74
Klasse I: doodtij	segment I	segment II	segment III	segment IV
WS (m NAP)	1.12/1.16	1.18/1.16	1.19/1.12	1.19/1.09
Δ WS (cm)	10/5	2/3	1/5	1/2
WSmin (m NAP)	1.07/1.14	1.17/1.15	1.19/1.10	1.19/1.08
NB: (x/y): x = vertrek voorin het vaarschema y = vertrek achterin het vaarschema				

Tabel 6: Waterstandsklassen astronomisch getij

Als de drie bovenstaande getijklassen gekombineerd worden met de vier afwaaiingsklassen, blijft Δ WS gelijk; WS,min en WS reduceren met de waarde van de waterstandsverlaging t.g.v. afwaaiing.

In de berekening is uit veiligheidsoogpunt gewerkt met de minimum waterstand WS,min. Tevens van belang voor de berekening is de faktor f. Beide parameters zijn in onderstaande tabel van te hanteren waterstandsklassen opgenomen. (afvaart voorin het getijvenster)

Waterstands- klasse	WS,min (cm + NAP)				frequentie f
	SegmI	SegmII	SegmIII	SegmIV	
Ia	114	134	136	136	0.2 * 0.05 = 0.01
Ib	174	164	196	196	0.2 * 0.10 = 0.02
Ic	189	209	211	211	0.2 * 0.15 = 0.03
Id	204	224	226	226	0.2 * 0.70 = 0.14
IIa	78	95	97	98	0.6 * 0.05 = 0.03
IIb	138	155	157	158	0.6 * 0.10 = 0.06
IIc	152	170	172	173	0.6 * 0.15 = 0.09
IId	168	185	187	188	0.6 * 0.70 = 0.42
IIIa	17	27	29	29	0.2 * 0.05 = 0.01
IIIb	77	87	89	89	0.2 * 0.10 = 0.02
IIIc	92	102	104	104	0.2 * 0.15 = 0.03
IIId	107	117	119	119	0.2 * 0.70 = 0.14
					----- 1.00

Tabel 7 : Waterstandsklassen; berekeningsparameters bij afvaart voorin het getijvenster

5.4. Golfklimaatklassen en scheepsresponsie

In § 4.3.4 is reeds een onderverdeling gemaakt van golfklimaatgegevens in klassen. Voor toepassing in de berekening dienen deze gegevens vertaald te worden naar de verticale scheepsbewegingen die de golven tot gevolg hebben.

Bijlage 9 toont een schip in langsdoorsnede, dwarsdoorsnede en bovenaanzicht. In dit aan [7] ontleende plaatje staan de zes principes vermeld hoe een schip op golven kan reageren.

De verticale scheepsresponsie bestaat uit:

- * dompen
- * stampen
- * slingeren

Tevens staan in deze bijlage de zogenaamde kritieke punten aangegeven die in het onderzoek [7] beschouwd zijn.

Het Waterloopkundig Laboratorium heeft onderzoek verricht naar de verticale responsie van de genoemde kritieke punten voor verschillende schepen onder verschillende golf- en omgevingsomstandigheden [7]. Eén van de in dit onderzoek beschouwde schepen is een gedeeltelijk beladen 150000 tdw bulkcarrier, welke qua afmetingen ongeveer overeenkomt met het hier beschouwde ontwerpschip. Bijlage 10 toont de afmetingen van de 150000 tdw bulkcarrier.

Onderstaande tabel toont welke parameters in het onderzoek gebruikt zijn en in hoeverre deze overeenkomen met de hier te beschouwen situatie:

Parameter	Waarde	
	volgens uit voorgaande paragrafen	gebruikt in WL-onderzoek
Vs,w (m/s)	6.7 - 7.2	3.1 of 5.1
golfinvalshoek μ (°)	-	45 of 75
diepgang T (m)	14.95	15.60
waterdiepte h (m)	18.50 - 19.50	17.94 - 20.28
h/T	1.24 - 1.30	1.15, 1.20 of 1.30
golfspectrum	-	Pierson-Moskowitz Jonswap

Tabel 8: vergelijk van parameters, beschouwd in [7] en parameters, voorkomend in de hier verrichte studie

De resultaten van het onderzoek zijn in grafiekvorm weer te geven: zie bijlage 11. In het hier beschouwde geval is gewerkt met de parameters:

- * Vs,w = 5.1 m/s. Dit is aanmerkelijk lager dan de ontwerpsnelheid 6.7 m/s, echter de toepassing is voor de berekening aan de "veilige" kant omdat de scheepsbewegingen over het algemeen iets afnemen met toenemende vaarsnelheid.
- * De overheersende deiningsrichting komt overeen met een golf-invalshoek die ligt in de sector van $\mu = 75^\circ$ (§ 4.3.4). Voor de volledigheid is ook $\mu = 45^\circ$ in de grafieken opgenomen. Deze richting blijkt echter niet maatgevend te zijn.
- * Waterdiepte/diepgang verhouding: h/T = 1.20 en h/T = 1.30

$T_{m,g} = 5.5 \text{ sec}$: $T_m = 10.0 \text{ sec}$.

$T_{m,g} = 7.5 \text{ sec}$: $T_m = 12.4 \text{ sec}$.

RESUMEREND kan nu de overzichtstabel opgesteld worden met de toe te passen golfresponsieparameters voor de in § 4.3.4 opgestelde golfklassen:

Klasse	[m0;Tm] (m2;sec)		frequentie f (promille)
	SCHW (geulsegment 1)	SCHO/WIEL (geulsegmenten 2,3,4)	
I	[3.06;12.4]	[1.72;12.4]	1
II	[2.34;12.4]	[1.20;12.4]	5
III	[1.72;12.4]	[1.01;12.4]	7
IV	[1.20;12.4]	[0.69;12.4]	5
V	[0.77;12.4]	[0.43;12.4]	2
VI	[0.43;12.4]	[0.23;12.4]	2
VII	[0.20;10.0]	[0.12;10.0]	3
VIII	[0.14;10.0]	[0.08;10.0]	16
IX	[0.09;10.0]	[0.05;10.0]	59
X	[0.05;10.0]	[0.03;10.0]	182
XI	[0.19;12.4]	[0.12;12.4]	2
XII	[0.02;10.0]	[0.01;10.0]	204

Tabel 9: golfresponsieklassen welke toegepast kunnen worden in de toetsingsberekening

5.5 Berekeningsprogramma

De parameters ξ en KC zijn voor i combinaties van omstandigheden afzonderlijk berekend.

i = aantal golfklassen * aantal waterstandsklassen * aantal segmenten

Het aantal golfklassen dat in beschouwing genomen wordt, wordt bepaald door het in § 4.3.4 gedefinieerde stopkriterium. Als bv. 10 golfklassen in beschouwing genomen worden, bedraagt $i = 10 * 12 * 4 = 480$, en worden evenzoveel bijbehorende parameters ξ , KC en f bepaald.

Voor deze berekening is gebruik gemaakt van een zogenaamd spreadsheetprogramma. De voordelen van zo een programma zijn:

1. Door de overzichtelijke presentatie van de berekening is per individuele combinatie (segment, golfklasse, waterstandsklasse) direct af te lezen KC, ξ en de bijdrage aan ξ .
2. Parameters, zoals bodemligging, kunnen eenvoudig in waarde veranderd worden om de invloed hiervan op de berekening te testen.

Bijlage 13 toont de opzet van het toegepaste spreadsheetprogramma met een korte toelichting.

De uitvoer is gepresenteerd in bijlage 14. Hierin zijn opgenomen:

- * ξ_{max} per vaart (bepaald per golfklasse)
- * $\bar{\xi}$: De waarde hiervan is bepaald over de golfklassen individueel en over de golfklassen 1 t/m 10, 2 t/m 10, etc

Met deze gegevens is in de volgende paragraaf de toetsing uitgevoerd.

6. Resultaten; konklusies

De uitgevoerde toetsingsberekening voor de beschreven (ontwerp) omstandigheden levert de parameters waarmee de toetsing uitgevoerd kan worden. De te toetsen criteria (\$2) worden puntsgewijs behandeld:

1. $\Pr\{ A > 0 \} < 0.01$ per individuele vaart:
M.b.v de formules 1,2, en 3 houdt dit criterium in: $\xi < 0.01$ (één bodemberoering per 100 vaarten). Aan dit criterium wordt niet voldaan. In klasse I bijvoorbeeld wordt een waarde ξ gevonden van: $\xi = 260$ (260 bodemberoeringen per vaart). Alleen bij vaarten onder golfomstandigheden in de klassen 9, 10 en 12 en bij minder extreme golfkondities wordt aan dit criterium bij alle waterstandsklassen voldaan.

2. Kans op een bodemberoering tijdens de economische levensduur van de geul dient kleiner te zijn dan ca. 70%.

Uitgaande van een levensduur van 20 jaar en een jaarlijks aantal ontwerpschepen van 150, passeren tijdens de economische levensduur 3000 schepen de geul.

M.b.v formule 5 volgt: $\Pr\{ A > 0 \} < 0.7$

$$\text{--> } \bar{\xi} < 1.2 \text{ voor het totaal aantal vaarten}$$

Per individuele vaart dient het gemiddeld aantal bodemberoeringen kleiner te zijn dan $1.2/3000$:

$$\text{--> } \bar{\xi} < 0.0004$$

In de hier uitgevoerde berekening bedraagt $\bar{\xi} = 0.51$, zodat ook aan dit criterium niet voldaan wordt. Slechts als de golfklassen 1 t/m 6 buiten beschouwing gelaten worden wordt aan criterium 3 voldaan.

Op grond van de uitgevoerde toetsing kan gekonkludeerd worden dat de beschouwde vaargeul het ontwerpschip niet onder alle omstandigheden een "veilige" passage kan bieden.

Als geen maatregelen getroffen worden is het vaargeulontwerp ontoereikend. Deze maatregelen kunnen bestaan uit:

1. Het accepteren van een stremming. Hiervoor is een waterstands- en deiningsprediktiesysteem een vereiste ter ondersteuning van de verkeersbegeleiding. Op grond van de berekeningsresultaten zijn toelatingsvoorschriften op te stellen onder welke omstandigheden de geul open danwel gesloten is voor de scheepvaart.
2. Een dusdanige verdieping van de geul dat onder alle omstandigheden een veilige passage geboden wordt. Zo een verdieping kan op eenvoudige wijze in het berekeningsprogramma worden ingevoerd. Het resultaat is een extra geulverdieping van 5 à 6 meter om tot een acceptabel veiligheidsniveau te komen voor een scheepspassage onder alle omstandigheden. (zie bijlage 16). Daar deze extra geulverdieping 2 - 3 maal zo groot is als de initiële geulverdieping kan beter besloten worden tot het accepteren van een stremming.

De toelatingsvoorschriften zijn hier nader uitgewerkt; hiermee kan tevens een stremmingspercentage bepaald worden.

Voor het hier beschouwde geval is m.b.v. bijlage 15 te bepalen onder welke omstandigheden de vaart van het beschouwde schip verboden dient te worden. Bijlage 15 toont per golfklasse en per waterstandsklasse de parameters $f_i * \xi_i$ en ξ (per vaart).

De zwart omkaderde parameters tonen de combinaties van omstandigheden waarbij niet aan criterium 1 voldaan wordt. De onderste rij geeft aan het totaal van $f_i * \xi_i$ van de combinaties van omstandigheden waarvoor de vaart wél is toegestaan volgens criterium 1.

Dit totaal stelt voor de parameter waaraan getoetst wordt bij criterium 2: $\bar{\xi} = 0.0000063 < 0.0004$.
Aan criterium 2 wordt voldaan, zodat criterium 1 maatgevend blijkt te zijn voor het toelatingsbeleid.

Tabel 10 geeft een overzicht van de toelaatbare en ontoelaatbare omstandigheden, op basis van de golfklimaatsregistraties in het station SCHW. Het stremmingspercentage kan aan de hand van de tabellen 7 en 10 opgesteld worden:

Bijdrage aan de stremming per golfklasse:

golfklasse I t/m V	: 20% * 1	= 20.0 %
golfklasse VI	: 2% * (0.2 + 0.11 + 0.01)	= 0.64%
golfklasse VII	: 3% * 0.01	= 0.03%
golfklasse VIII	: 16% * 0.01	= 0.16%
golfklasse XI	: 2% * 0.01	= 0.02%

totaal stremmingspromillage: 20.85%

Hs [m]	0.0 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 1.5	1.5 - 2.0	2.0 - 2.5	2.5 - 3.0	3.0 - 3.5	3.5 - 4.0	
Tm,g [sec]									
0.0 - 1.5									
1.5 - 3.5	203	190	17						
3.5 - 5.5	102	204 XII	102 X	59 IX	16 VIII	3 VII			
5.5 - 7.5	IIIa		2 XI	2 VI	2 V	5 IV	7 III	5 II	1 I
7.5 - 9.5	IIIa		Ia, IIab, III	alle	alle	alle	alle	alle	

A	B
C	

Toelichting:

- A = promillage van voorkomen van de beschouwde golfklasse
- B = golfklasse
- C = waterstandsklasse(n) welke in combinatie met de beschouwde golfklasse volgens de toetsingscriteria voor scheepspassage ontoelaatbaar zijn.

Tabel 10: golfregistraties SCHW; golfklassen; omstandigheden waarvoor al dan niet een vaarverbod geldt volgens de uitgevoerde toetsing.

Als algemene richtlijn kan bij benadering gesteld worden:

$H_s > 1.75$ m en $T_{m,g} > 5.5$ sec : doorvaart verboden voor het beschouwde schip

Het gevonden stremmingspercentage van 2.1% is een aanvaardbare waarde, zeker als het alternatief 5 à 6 meter extra geulverdieping is. Een betrouwbaar prediktiesysteem voor waterstanden en golfklimaat is in dit geval een noodzaak.

LIJST VAN VAAK VOORKOMENDE SYMBOLEN EN AFKORTINGEN

- f - frequentie van optreden van bepaalde omstandigheden
 g - versnelling van de zwaartekracht
 h - waterdiepte
 i - index voor omstandigheidsklassen
 m0,m2 - het nulde en tweede spektrale moment van het scheeps-
 responsiespektrum
 m0,g - het nulde spektrale moment van het golfspektrum
- A - aantal bodemberoeringen
 B - breedte van een schip
 C - squatcoëfficiënt
 Cb - blokkcoëfficiënt
 F - Froudegetal van een schip
 KC - gemiddelde netto kielspeling
 Loa - "Lengte over alles" van een schip
 Lpp - "Lengte tussen loodlijnen" van een schip
 L,segm - lengte van een geulsegment
 Pr - kans
 T - diepgang van een schip
 Tm - gemiddelde bewegingsperiode van een schip o.i.v. golven
 Tm,g - gemiddelde golfperiode
 Tp - passagetijd
 Vs,b - vaarsnelheid van een schip t.o.v. de grond
 Vs,w - vaarsnelheid van een schip t.o.v. het water
 Z - squat
- μ - golfinvalshoek
 λ - gemiddelde frequentie van een bodemberoering
 ξ - gemiddeld aantal bodemberoeringen per individuele
 vaart
 $\bar{\xi}$ - gemiddeld aantal bodemberoeringen, gewogen over alle
 voorkomende omstandigheden
 ∇ - waterverplaatsing van een schip
- GLLWS - Gemiddeld Laag Laagwater Spring
 HW - Hoogwater
 LW - Laagwater
 NAP - Nieuw Amsterdams Peil (Nederlands algemeen
 referentiepeil)
 TAW - Tweede Algemene Waterpassing (Belgisch algemeen
 referentiepeil)
 TSC - Technische Scheldecommissie

LIJST VAN GERAADPLEEGDE LITERATUUR

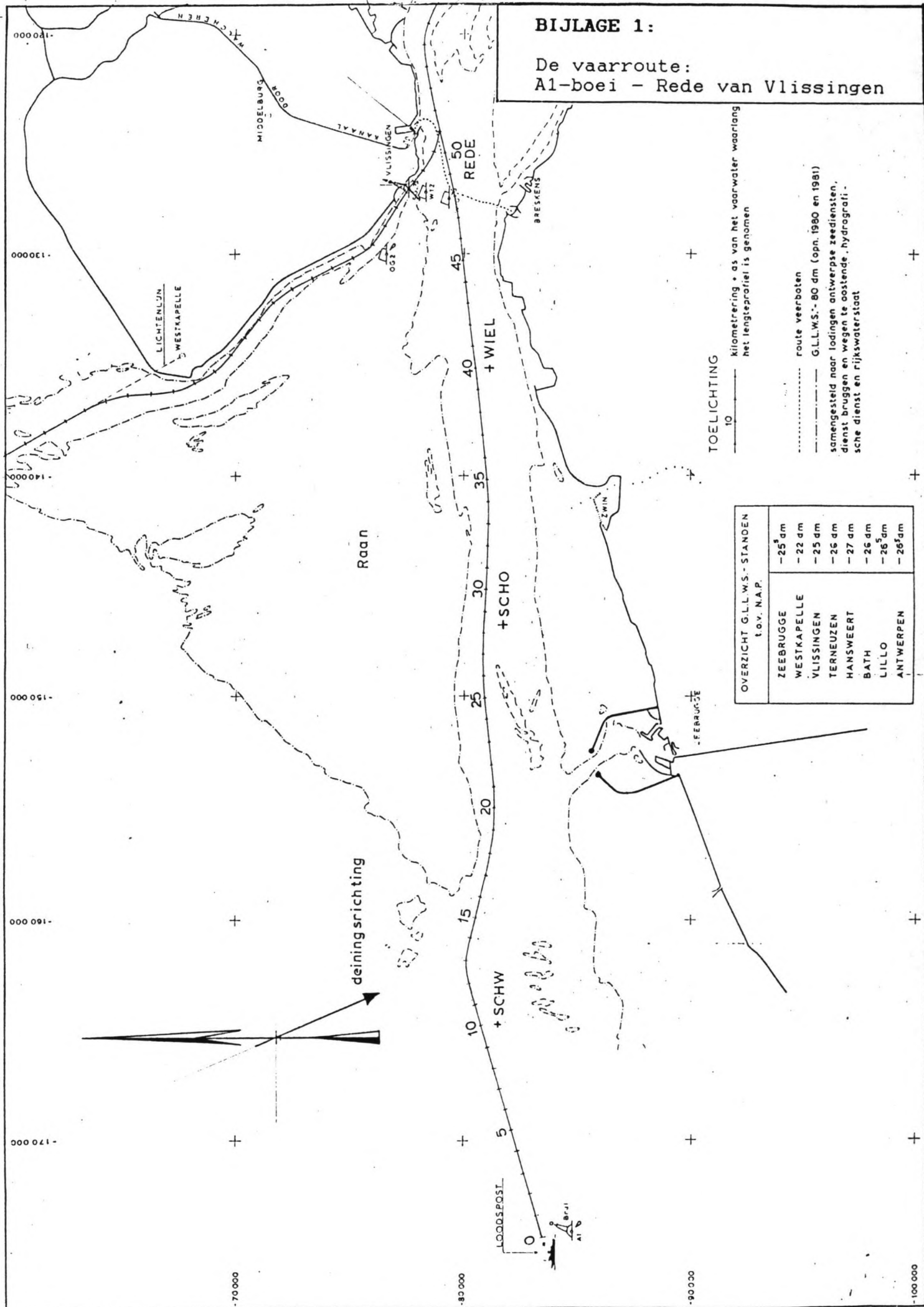
- [1] Strating, J, Schilperoort, T en Blaauw, H.G.
Optimization of depths of channels
Waterloopkundig Laboratorium, Publicatie no. 278
september 1982
- [2] Technische Scheldecommissie, Subcommissie Westerschelde
Verdieping Westerschelde, studierapport programma 48/43
juni 1984
- [3] Schilperoort, T en Strating, J
An intergrated approach towards depth design and operational use of navigation channels
Waterloopkundig Laboratorium, Publicatie no. 346
september 1985
- [4] van Cauwenberghe, C
Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische kust, periode 1971 - 1980
Tijdschrift der Openbare Werken van België, nr.5
1985
- [5] **Zeemansgids voor de Nederlandse kust 1979**
- [6] Kik, P
Golfklimaatgegevens Deltagebied, berekend uit metingen over de jaren 1985 t/m 1986
Rijkswaterstaat, Nota GWWS 87.406
juli 1987
- [7] Waterloopkundig Laboratorium
Berekening van verticale scheepsbewegingen in standaard golfspectra m.b.v. gemeten overdrachtsfuncties
Verslag van berekeningen R 2327
december 1985

LIJST VAN BIJLAGEN

- BIJLAGE 1: De vaarroute: A1-boei - Rede van Vlissingen
- BIJLAGE 2: Hydrografische reductiekaart
- BIJLAGE 3: Gewenste vaarmogelijkheden en vaarschema's, na verdieping van de toegangsroute van Antwerpen (bron: lit[2])
- BIJLAGE 4a t/m c: Stroomsnelheid en -richting langs de vaarroute omstreeks hoogwater Zeebrugge
- BIJLAGE 5a en b: Getijkrommen voor de meetstations Vlissingen, Zeebrugge en Oostende voor gemiddeld getij, gemiddeld spring- en doottij
- BIJLAGE 6a t/m c: Getijkrommen langs de vaarroute (bijlage 1) t.p.v. de kilometernummers 0, 18, 28, 40 en 50 voor gemiddeld getij, gemiddeld springtij en doottij.
- BIJLAGE 7: Frequentie van HW-standen te Zeebrugge; onderschrijdingsfrequentielijn HW Zeebrugge
- BIJLAGE 8: Golfklimaatregistraties [Hs en Tm,g] over 1985 en 1986 van de stations SCHW, SCHO EN WIEL.
- BIJLAGE 9: Scheepsvast assenstelsel en graden van vrijheid; kritieke punten die in [7] beschouwd zijn
- BIJLAGE 10: Afmetingen van het in [7] onderzochte schip; beschouwde omstandigheidskombinaties
- BIJLAGE 11a t/m e: Relatie $m_0 - T_{m,g}$ voor de kritieke punten 1, 3, 4 en 6 bij verschillende h/T-^{1/4} relaties. (uit lit [7])
- BIJLAGE 12: Relatie $T_m - T_{m,g}$ voor kritiek punt 3. De grafiek is opgesteld aan de hand van onderzoeksresultaten uit lit. [7]
- BIJLAGE 13: Opzet van het toegepaste spreadsheet berekeningsprogramma
- BIJLAGE 14 t/m 16: Berekeningsresultaten

BIJLAGE 1:

De vaarroute: A1-boei - Rede van Vlissingen



TOELICHTING

10 ————— Kilometring + as van het vaarwater waarlang het lengteprofiel is genomen

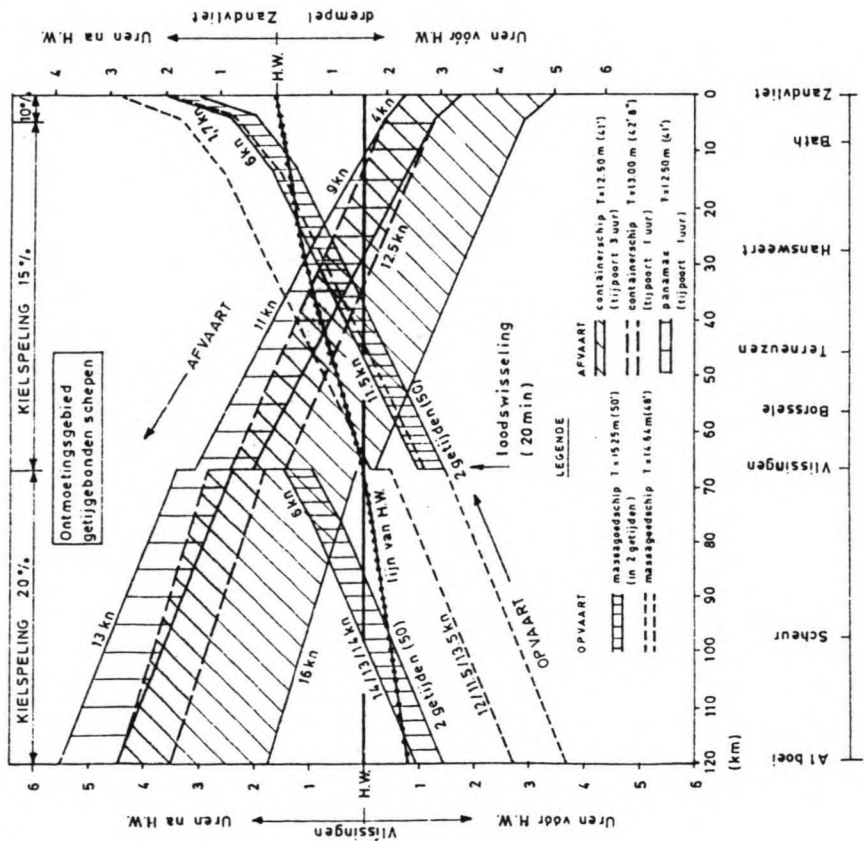
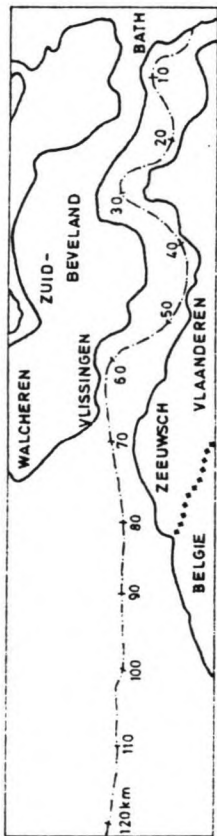
..... route veerboten

— G.L.L.W.S. - 80 dm (opn. 1980 en 1981)

— samengesteld naar ladingen Antwerpse zeediensten, dienst bruggen en wegen te oostende, hydrografische dienst en rijkswaterstaat

OVERZICHT G.L.L.W.S. - STANDEN t.o.v. N.A.P.	
ZEEBRUGGE	-25 dm
WESTKAPELLE	-22 dm
VLISSINGEN	-25 dm
TERNEUZEN	-26 dm
HANSWEERT	-27 dm
BATH	-26 dm
LILLO	-26 ⁵ dm
ANTWERPEN	-26 ⁵ dm

VAARSHEMA'S VAN GETIJGEBONDEN SCHEPEN
SCHEMATISCH OVERZICHT



BIJLAGE 3: Gewenste vaarmogelijkheden en vaarschema's, na verdieping van de toegangsrouten van Antwerpen (bron: lit[2])

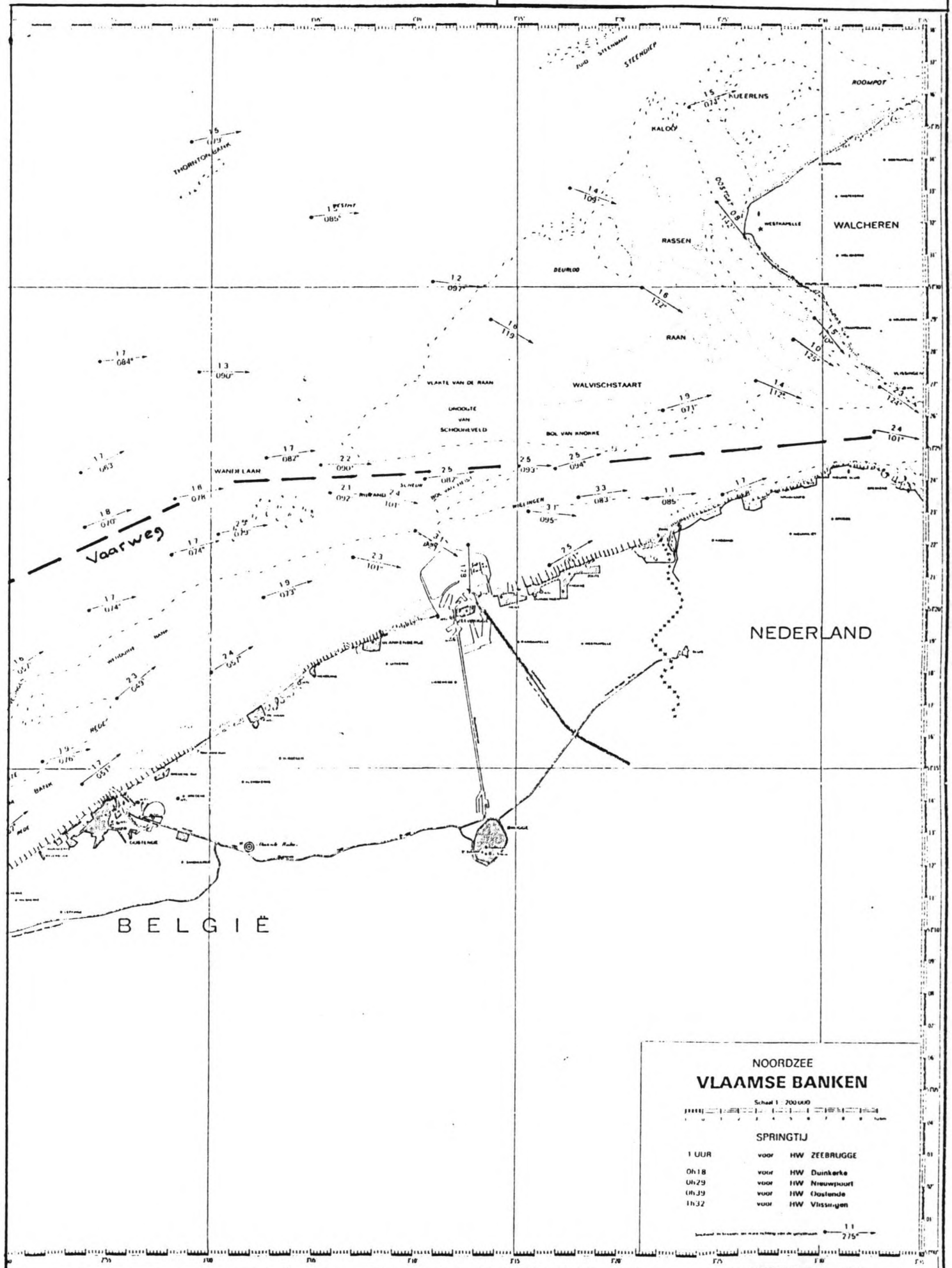
De gewenste vaarmogelijkheden na verdieping van de maritieme toegangsweg.

De verdieping van de maritieme toegangsweg dient zodanig te zijn dat volgende vaarmogelijkheden onder alle gemiddelde getijomstandigheden (gemiddeld doodtij, gemiddeld getij, gemiddeld springtij) kunnen worden bekomen. (Waar in deze nota van diepgang sprake is, wordt steeds die in zoet water bedoeld, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld).

1. Opvaart in één getij van een massagoedschip met diepgang 48' (14,65m) tijdens een getijvenster van 1 h per getij.
2. Opvaart in twee getijden van een massagoedschip met diepgang 50' (15,25m) tijdens een getijvenster van $\frac{1}{2}$ h per getij.
3. Afvaart in één getij van een containerschip met een diepgang van 41' (12,50m) tijdens een getijvenster van minstens $2\frac{3}{4}$ h per getij.
4. Afvaart in één getij van een containerschip met diepgang van 42' 8" (13m) tijdens een getijvenster van minstens 1 h per getij.
5. Afvaart in één getij van een massagoedschip (type Panamax) met een diepgang van 41' (12,50m) tijdens een getijvenster van minstens 1 h per getij.
6. Getij-ongebonden vaart met een diepgang van 38' (11,60m) bij een waterstand van GLLWS (gemiddeld-laag-laagwaterspring).

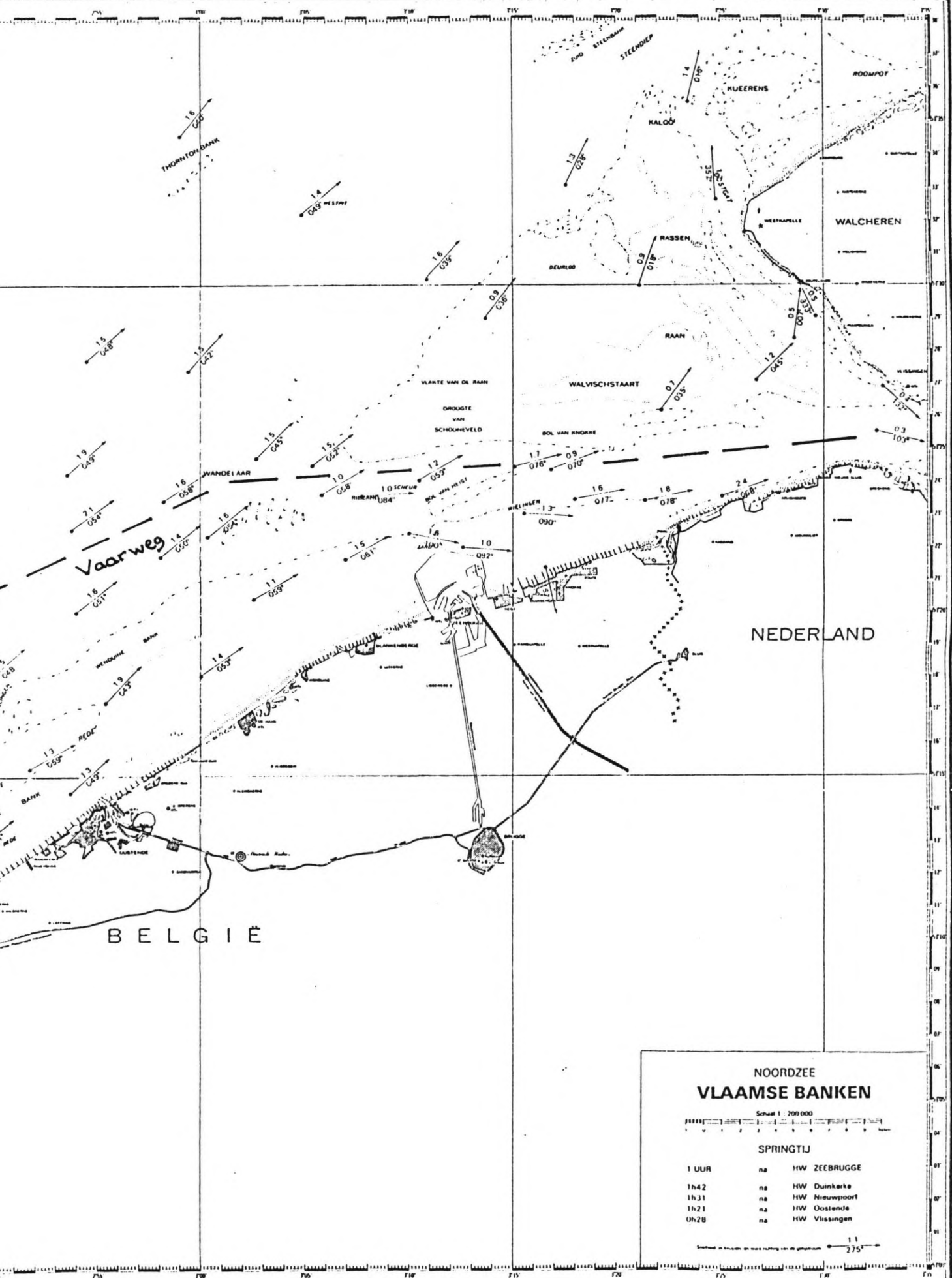
BIJLAGE 4a:

Stroomsnelheid en -richting langs de vaarroute 1 uur voor hoogwater te Zeebrugge



BIJLAGE 4c:

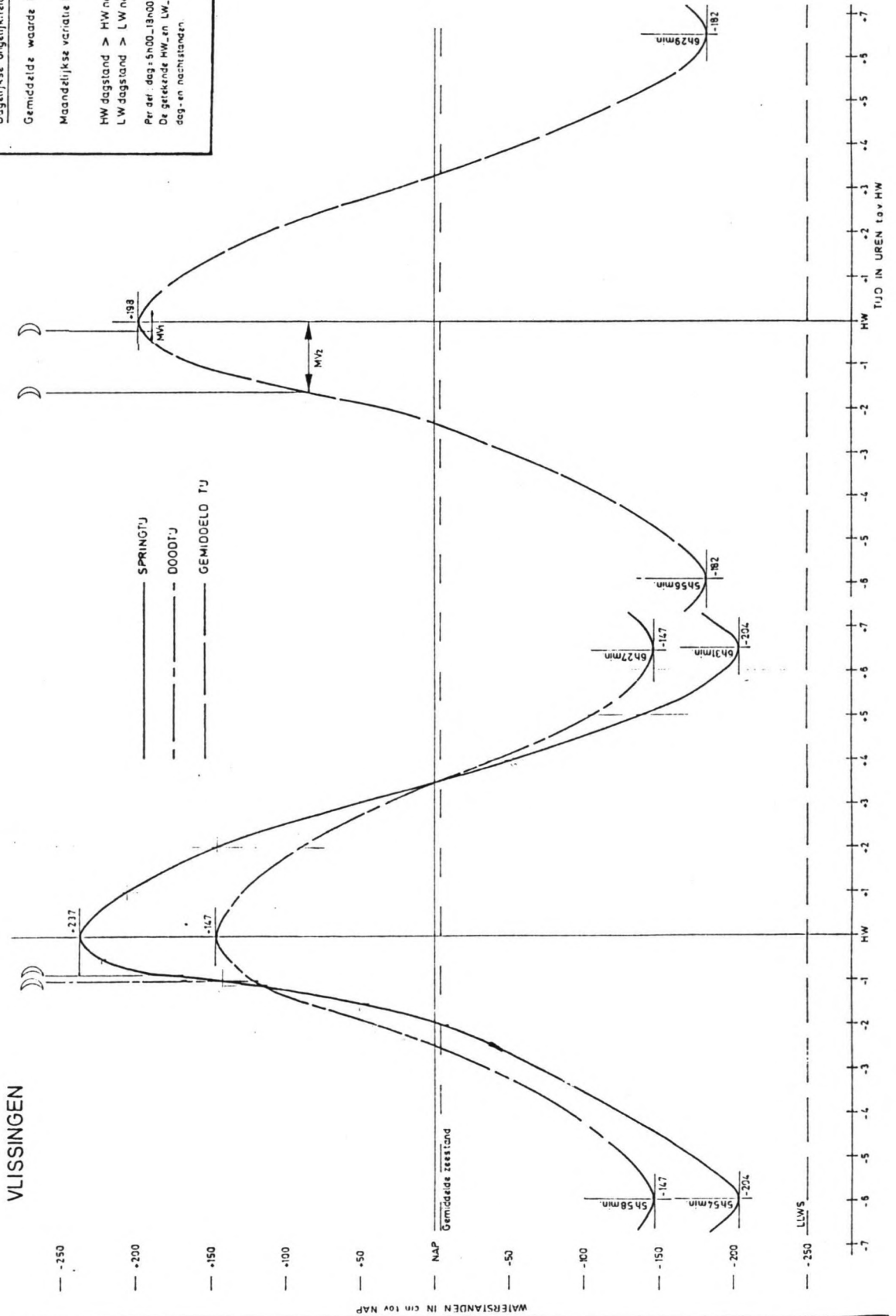
Stroomsnelheid en -richting langs de vaarroute 1 uur na hoogwater te Zeebrugge



BIJLAGE 5a:

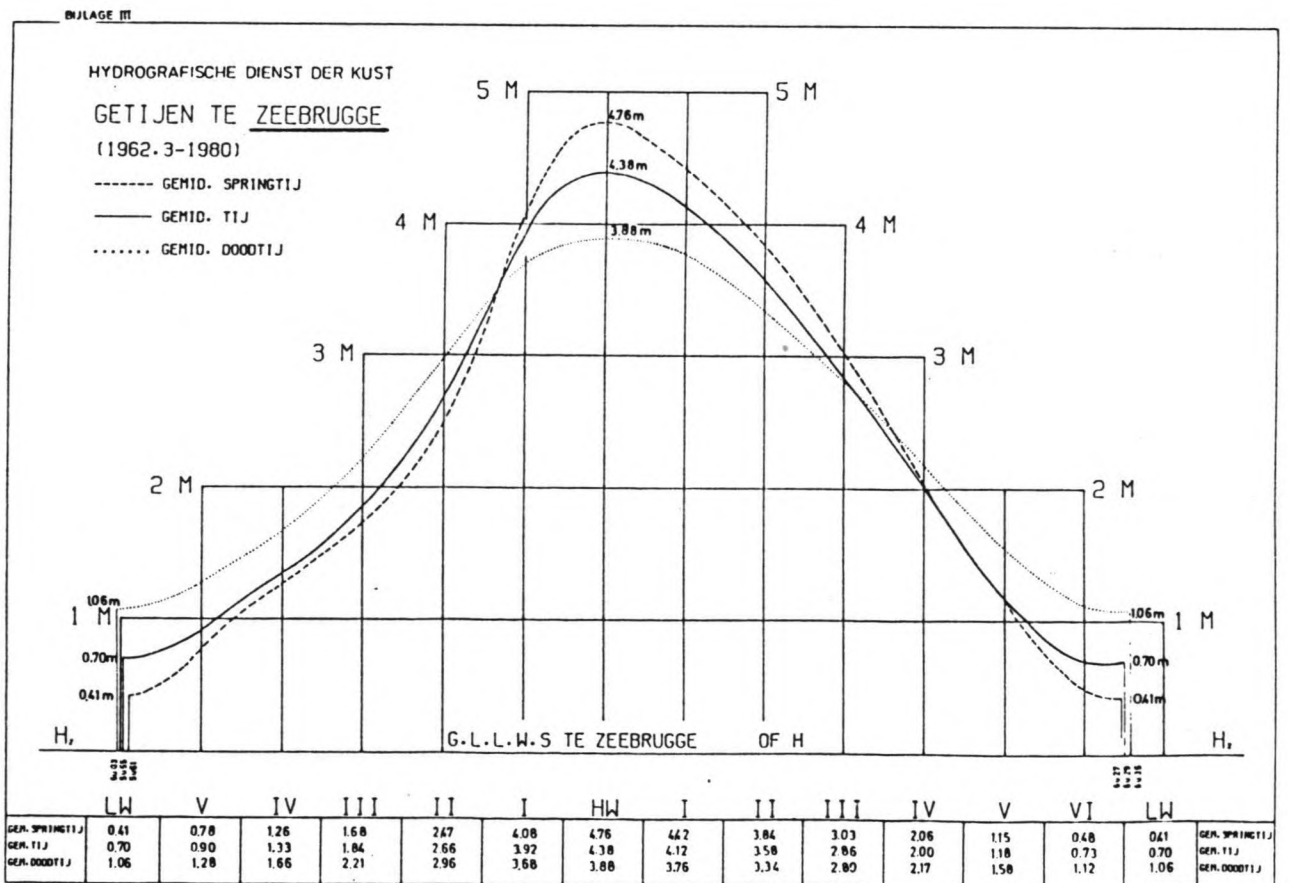
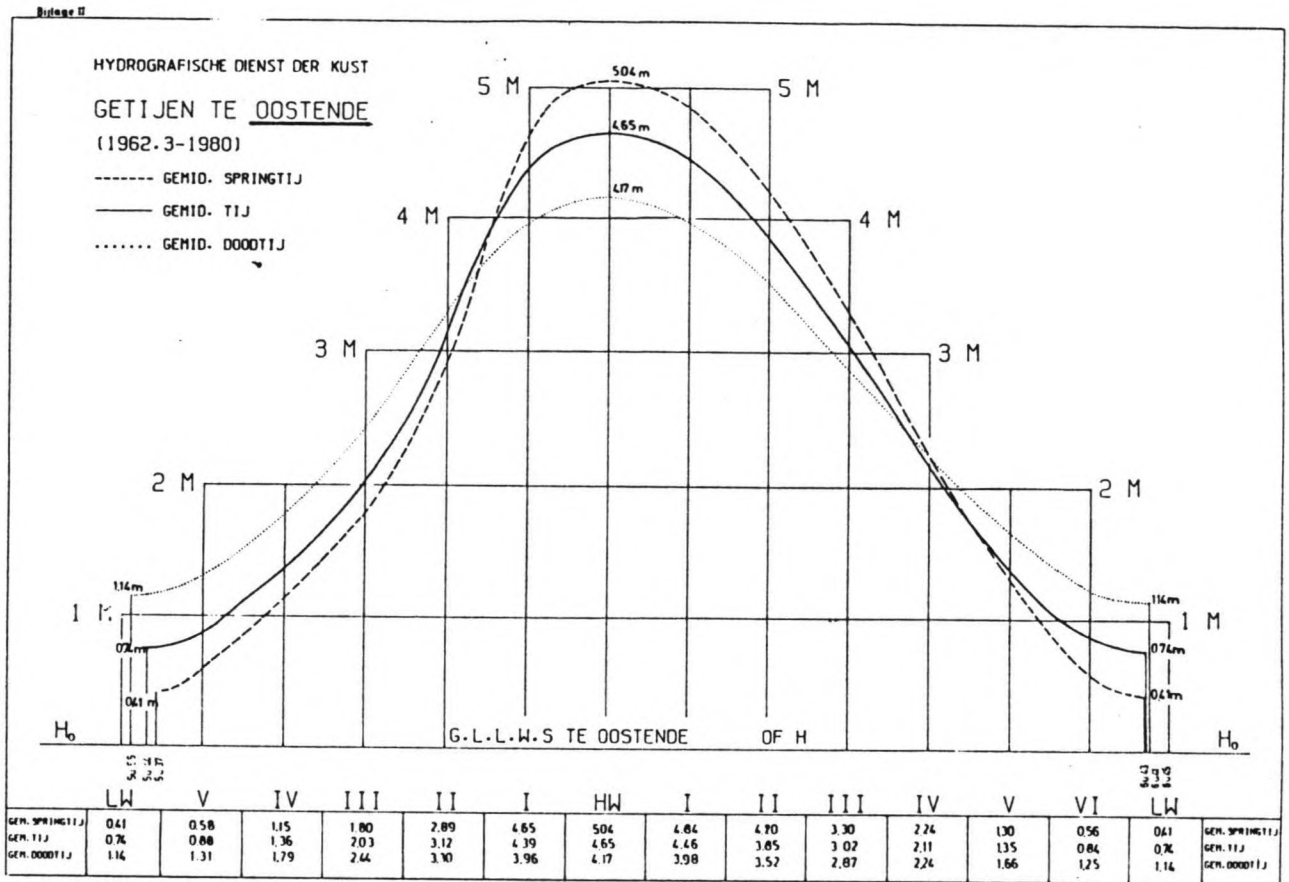
Getijkrommen voor het meetstation
Vlissingen voor gemiddeld getij,
gemiddeld spring- en doottij

Beisperiode	: nov/1972 ... sept/1973
Grenspel	: NAP +327 cm
LLWS	: NAP -250 cm
Gemiddelde zee­stand	: NAP -44 cm
Dagelijkse ongelijkheid	
Gemiddelde waarde bij	HW : 10 cm
	LW : 30 cm
Maandelijkse variatie bij	HW : 0-15 cm
	LW : 0-65 cm
HW dagstand >	HW nachtstand : Winter en Lente
LW dagstand >	LW nachtstand : Lente en Zomer
Per. af. dag = 5h00-18h00 MET	
De getekende HW- en LW-standen zijn gemiddelden van dag- en nachtstanden.	



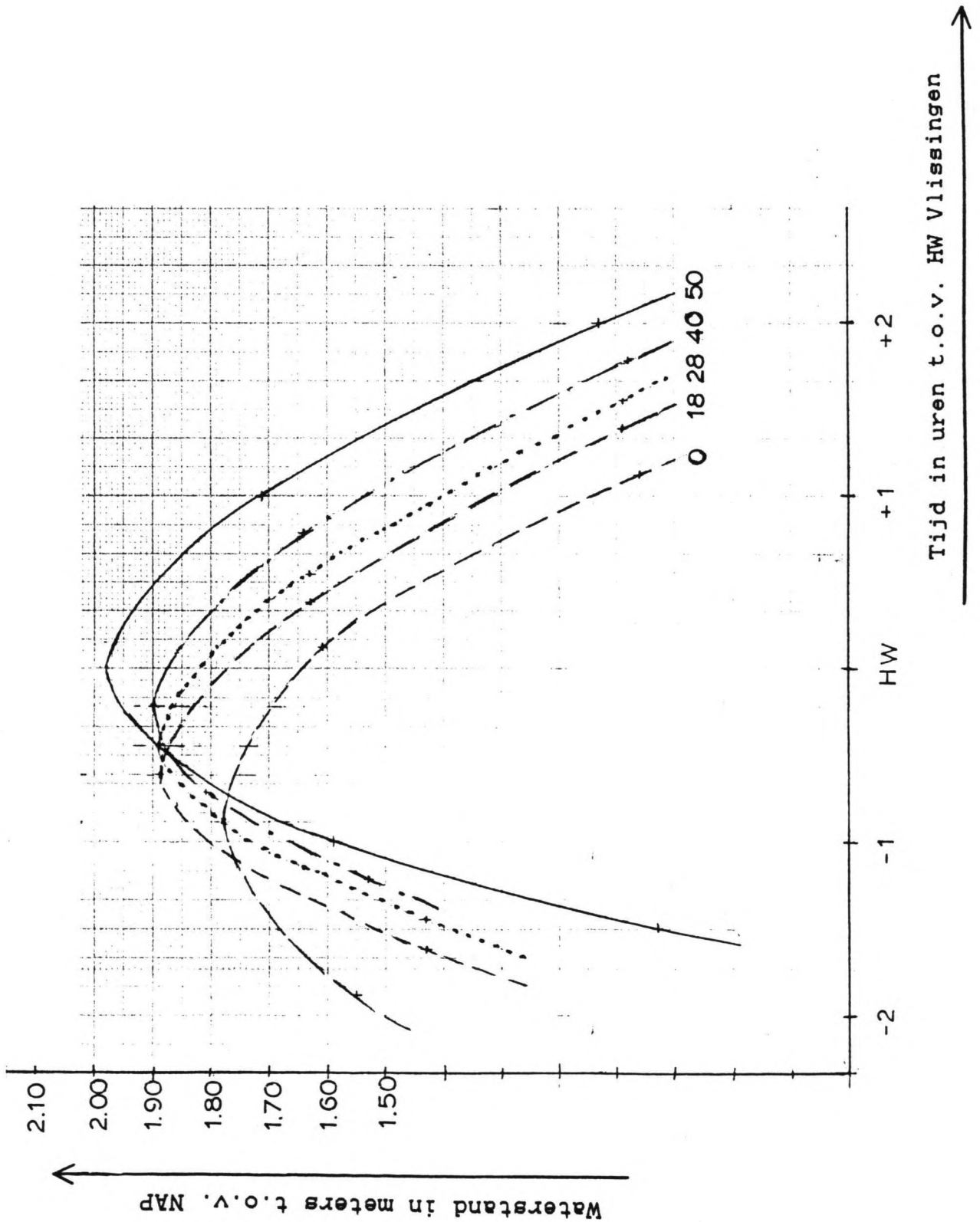
BIJLAGE 5b:

Getijkrommen voor de meetstations
Oostende en Zeebrugge voor gemiddeld getij,
gemiddeld spring- en doottij



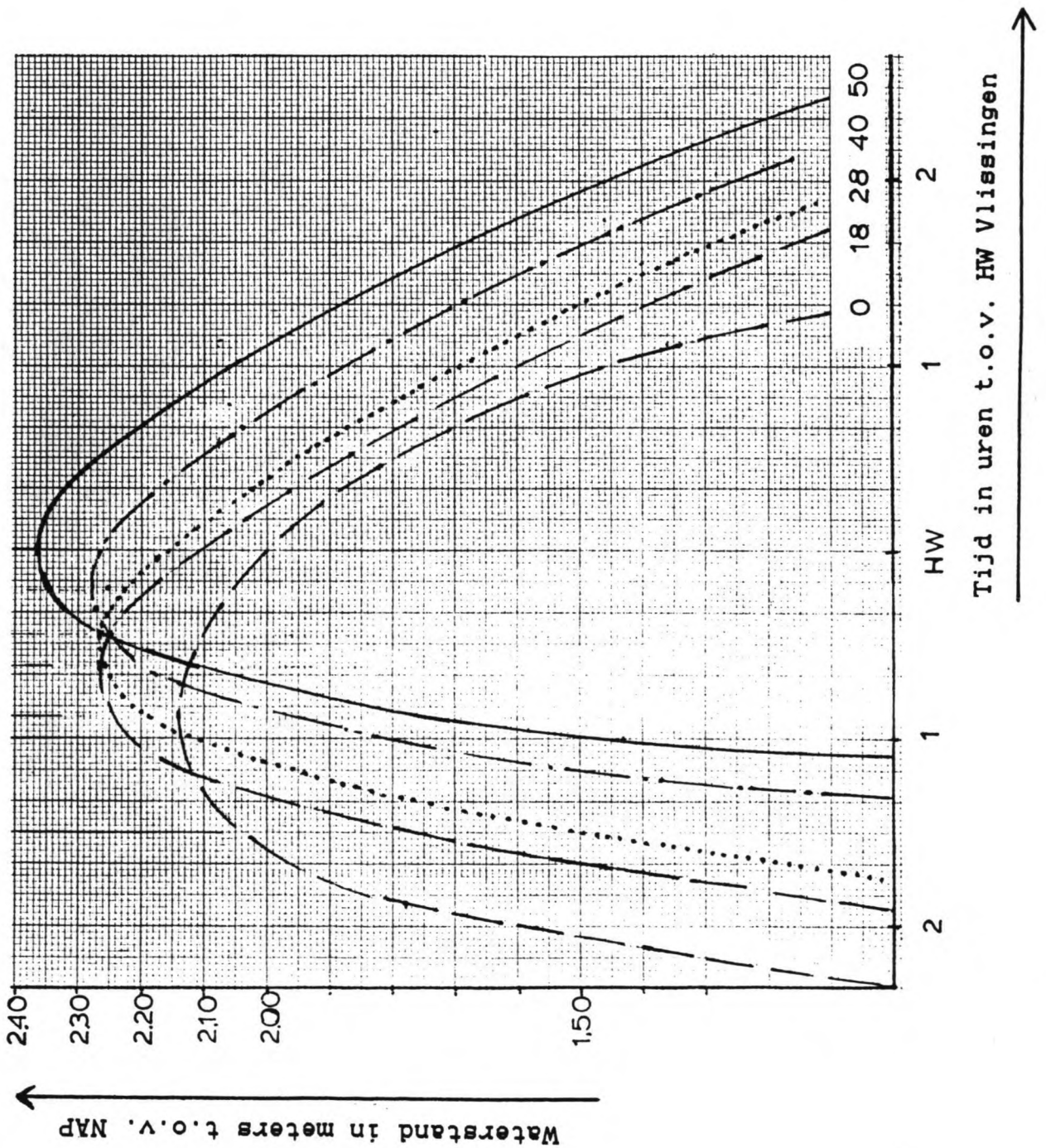
BIJLAGE 6a:

Getijkrommen langs de vaarroute (bijlage 1)
t.p.v. de kilometernummers 0, 18, 28, 40 en 50
voor gemiddeld getij.



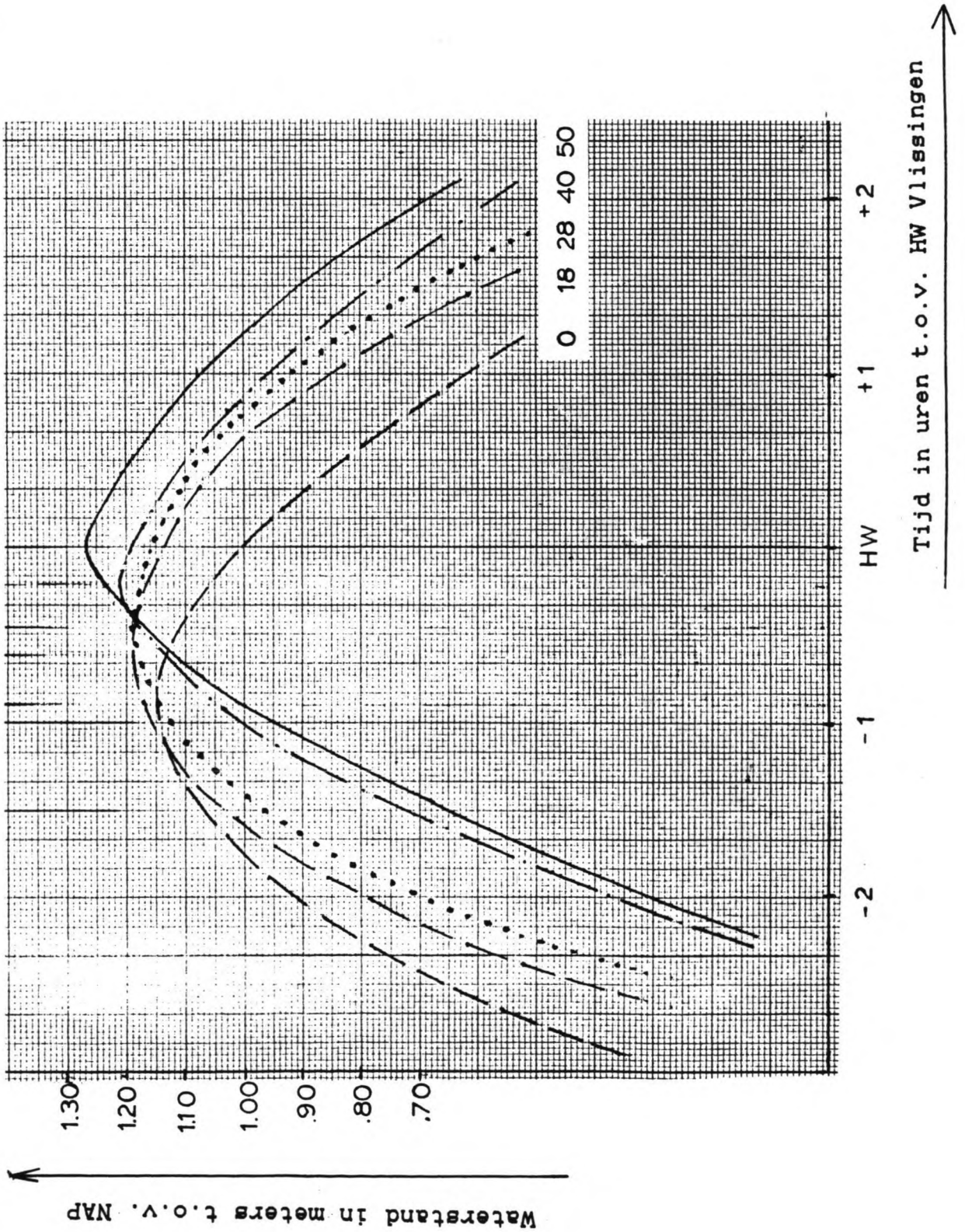
BIJLAGE 6b:

Getijkrommen langs de vaarroute (bijlage 1)
t.p.v. de kilometernummers 0, 18, 28, 40 en 50
voor gemiddeld springtij.



BIJLAGE 6c:

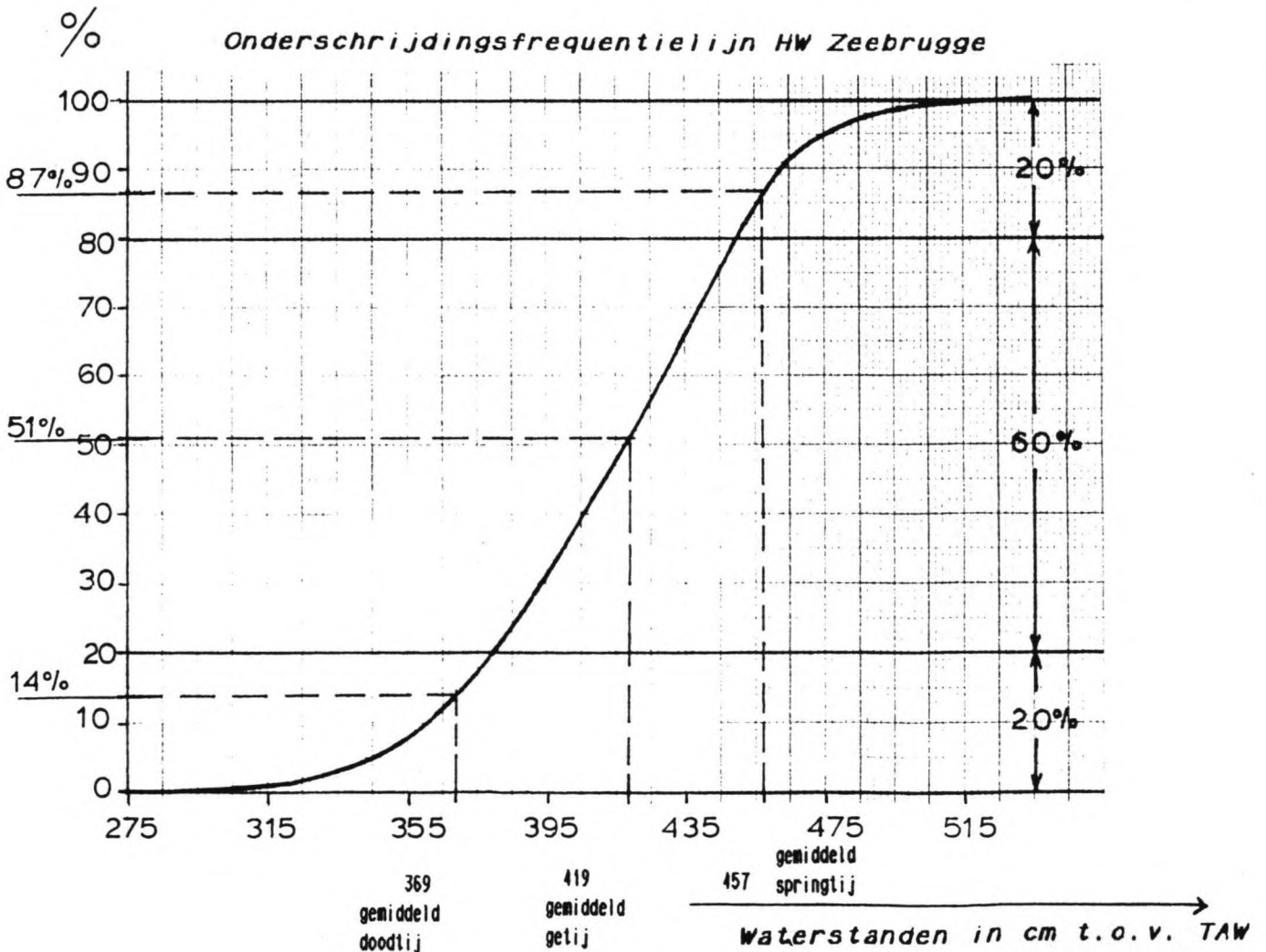
Getijkrommen langs de vaarroute (bijlage 1)
t.p.v. de kilometernummers 0, 18, 28, 40 en 50
voor doodtij.



**BIJLAGE 7: Frequentie van HW-standen te Zeebrugge;
onderschrijdingsfrequentielijn HW Zeebrugge**

Frekwentie van H.W.-standen te Zeebrugge – Periode 1973-1974

T.A.W. cm	H.W.												Totaal over 2 jaar	%
	Jan.	Feb.	Ma.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.		
289 en lager		1											1	0,07
290/299														
300/309			2										2	0,14
310/319		2		2					1	1			6	0,43
320/329	1	4	1	3	1					1			11	0,78
330/339	1	1	6	2				3	2	2	2		19	1,35
340/349	4	3	5	4	1			2	3	1	4	1	28	1,99
350/359	3	3	6	6	6		1	3	2	4	5	5	44	3,12
360/369	8	5	9	7	4	5	4	6	2	4	6	6	66	4,68
370/379	12	4	5	4	7	6	8	11	5	8	4	3	77	5,46
380/389	9	5	9	11	11	11	7	7	6	3	7	6	92	6,52
390/399	10	10	8	5	9	13	7	7	8	6	3	10	96	6,81
400/409	11	5	6	10	13	15	11	5	5	7	4	9	101	7,16
410/419	19	8	13	5	11	13	8	10	7	4	15	12	125	8,87
420/429	9	7	9	13	13	14	16	13	13	7	9	14	137	9,72
430/439	7	11	13	7	12	10	14	14	15	11	6	9	129	9,15
440/449	7	12	16	12	11	10	19	10	10	16	9	6	138	9,79
450/459	6	7	10	11	10	8	7	8	16	18	11	5	117	8,30
460/469	6	5	1	5	10	9	9	11	6	11	8	7	88	6,24
470/479	4	7		3		1	5	8	6	8	7	7	56	3,97
480/489	1	3	1	2				1	6	6	6	11	41	2,91
490/499	1	2		2		1	3		1	2	4	1	15	1,06
500/509		3		1								4	8	0,57
510/519		1							1		2	1	5	0,35
520/529											2		2	0,14
530/539												1	1	0,07
540/549				1							1		2	0,14
550/559											1	1	2	0,14
560 en hoger												1	1	0,07
	119	109	120	116	119	116	119	120	116	120	116	120	1410	100%



BIJLAGE 8:

Golfklimaatregistraties [Hs en Tm] over 1985 en 1986 van de stations SCHW, SCHO EN WIEL.

RIJSWAATERSSTAAT
DIENST GETIJDWATEREN
WATERSYSTEMEN DELTA

STATION : SCHW
PERIODE : ****
PERIODE TOT : 0612

Programma : GOLFKL04
MAAND : GEGEVENS
GOLFKLIMAAT GOLF/WINDRELATIE

Waterstandsklasse ALLE WATERSTANDEN

Relatieve aantallen tabel

Periode Golfhoogte (m)

(sec)	0.0	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	Total
00.0-01.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.5-03.5	203	190	17	0	0	0	0	0	0	0	410
03.5-05.5	102	204	182	59	16	3	0	0	0	0	566
05.5-07.5	0	2	2	2	5	7	5	1	0	0	24
07.5-09.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.5-11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5-13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5-15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.5-17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	305	396	201	67	21	10	5	1	0	0	1000

Energie (cm2)

Total	0	25	55	100	400	900	1600	2500	3600	6400	Total
	908	41	17	25	7	2	0	0	0	0	1000

RIJSWAATERSSTAAT
DIENST GETIJDWATEREN
WATERSYSTEMEN DELTA

STATION : SCHO
PERIODE : ****
PERIODE TOT : 0612

Programma : GOLFKL04
MAAND : GEGEVENS
GOLFKLIMAAT GOLF/WINDRELATIE

Waterstandsklasse ALLE WATERSTANDEN

Relatieve aantallen tabel

Periode Golfhoogte (m)

(sec)	0.0	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	Total
00.0-01.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.5-03.5	328	178	8	0	0	0	0	0	0	0	514
03.5-05.5	161	182	93	33	5	1	0	0	0	0	474
05.5-07.5	3	2	1	2	3	0	0	0	0	0	12
07.5-09.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.5-11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5-13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5-15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.5-17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	491	362	102	35	9	1	0	0	0	0	1000

Energie (cm2)

Total	0	25	55	100	400	900	1600	2500	3600	6400	Total
	942	24	12	18	3	1	0	0	0	0	1000

RIJSWAATERSSTAAT
DIENST GETIJDWATEREN
WATERSYSTEMEN DELTA

STATION : WIEL
PERIODE : ****
PERIODE TOT : 0612

Programma : GOLFKL04
MAAND : GEGEVENS
GOLFKLIMAAT GOLF/WINDRELATIE

Waterstandsklasse ALLE WATERSTANDEN

Relatieve aantallen tabel

Periode Golfhoogte (m)

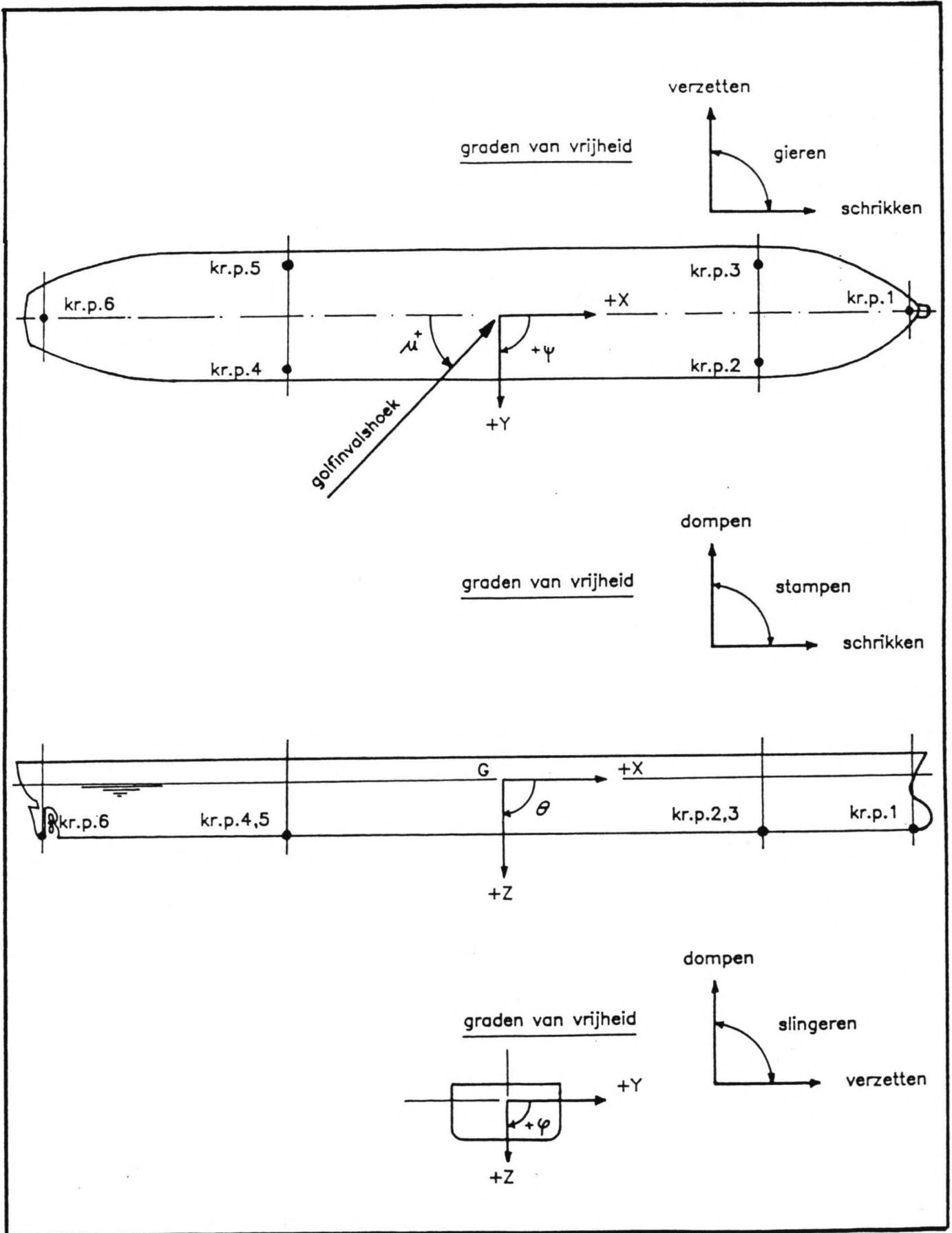
(sec)	0.0	.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	Total
00.0-01.5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
01.5-03.5	449	185	8	0	0	0	0	0	0	0	642
03.5-05.5	134	119	65	21	5	1	0	0	0	0	345
05.5-07.5	3	2	1	2	3	1	0	0	0	0	12
07.5-09.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.5-11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.5-13.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13.5-15.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15.5-17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17.5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	507	307	74	23	7	1	0	0	0	0	1000

Energie (cm2)

Total	0	25	55	100	400	900	1600	2500	3600	6400	Total
	940	23	14	20	3	0	0	0	0	0	1000

BIJLAGE 9:

Scheepsvast assenstelsel en graden van vrijheid;
Kritieke punten die in [7] beschouwd zijn



BIJLAGE 10:

Afmetingen van het in [7] onderzochte schip;
beschouwde omstandigheidskombinaties

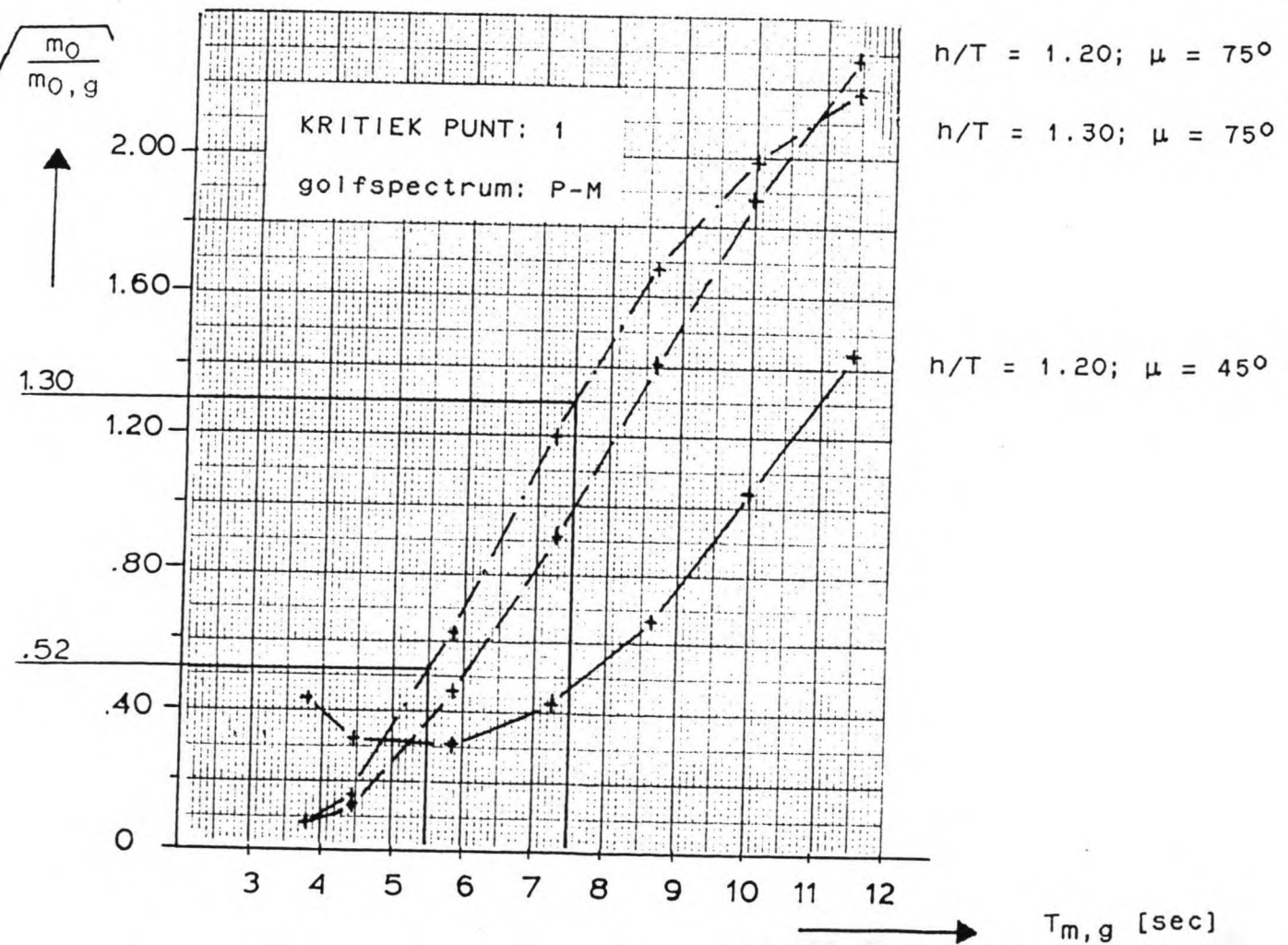
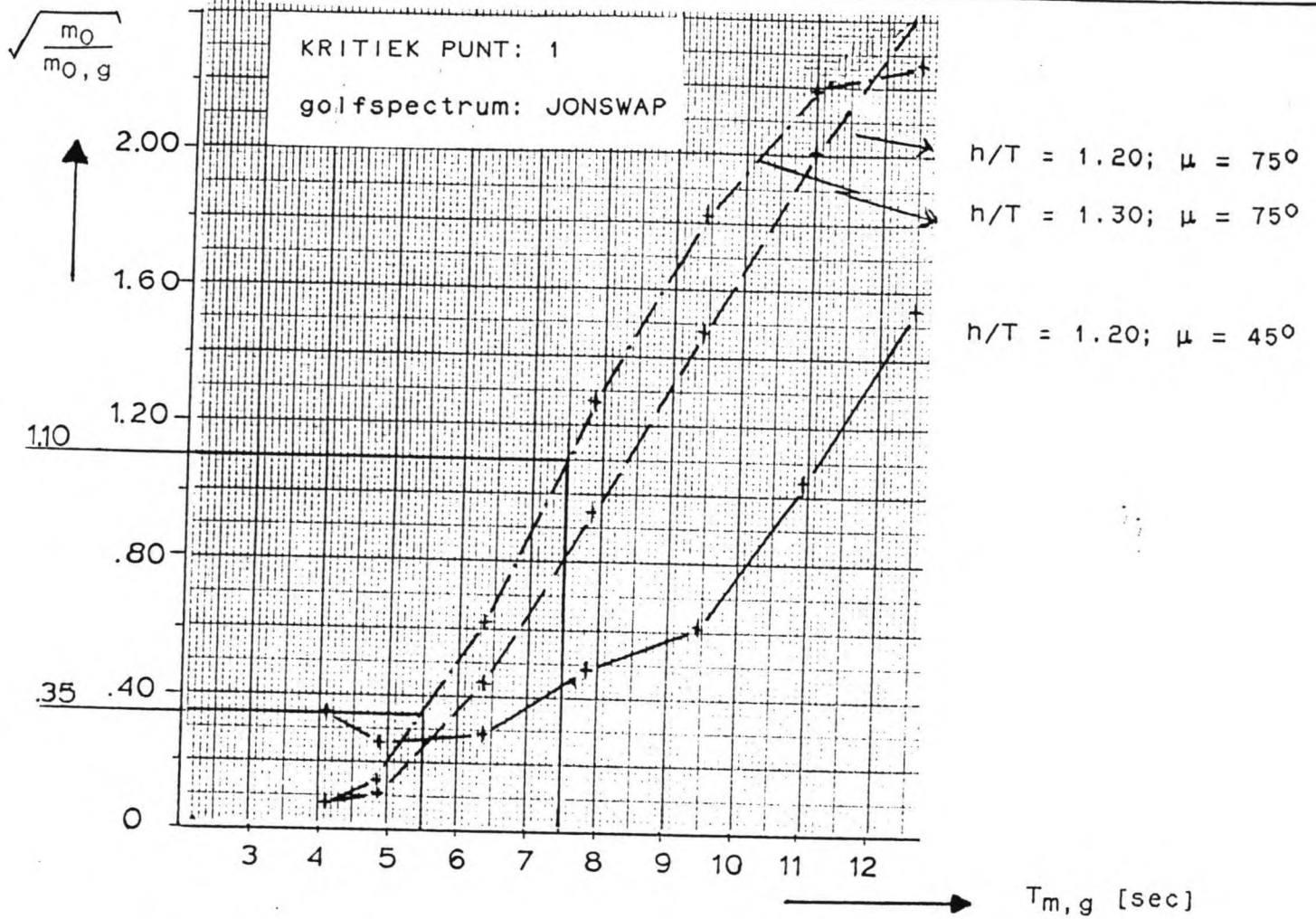
Kenmerk	symbool	eenheid	grootte
lengte tussen de loodlijnen	L_{pp}	m	283,36
Breedte	B	m	43,68
Holte	H	m	23,20
Diepgang	T	m	15,60
Waternverplaatsing	Δ	t	170.000
Afstand midscheeps tot zwaartepunt (voorwaartse richting)	\overline{OC}	m	6,38
Afstand zwaartepunt boven kiel	\overline{KG}	m	11,27
Metacentrum hoogte (dwars)	\overline{GM}	m	6,62
Metacentrum hoogte (langs)	\overline{GM}_L	m	231,20
<u>traagheidsstralen (berekend)</u>			
dwarstraagheidsstraal	k_{xx}	m	13,54
langstraagheidsstraal, in lucht	k_{yy}	m	70,84
giertraagheidsstraal	k_{zz}	m	70,84
<u>eigen perioden</u>			
dompen	T_z	s	14,4
slingeren	T_ϕ	s	13,0
stampen	T_θ	s	15,6

Kenmerken van de gedeeltelijk beladen 150.000 tdw bulkcarrier

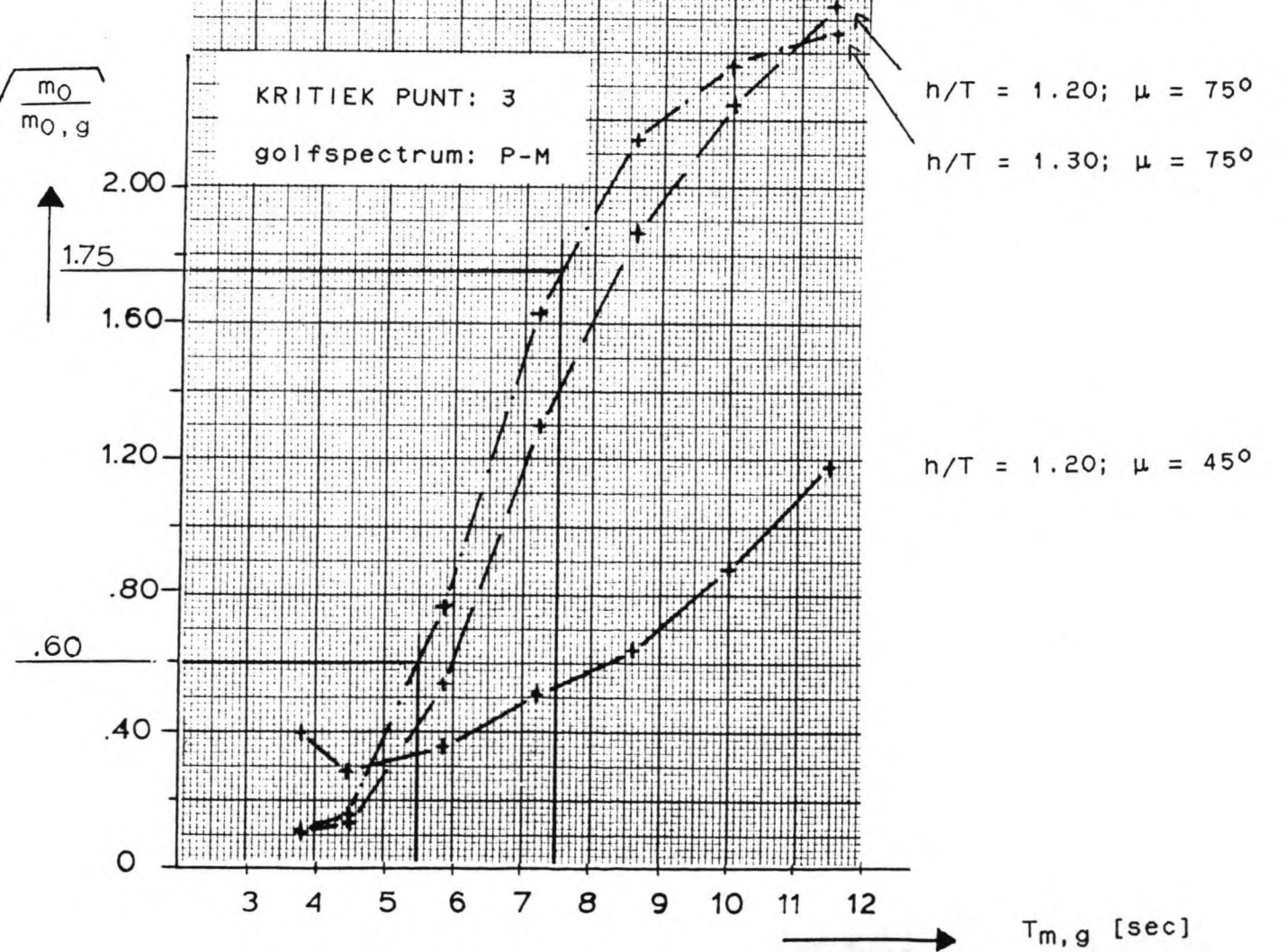
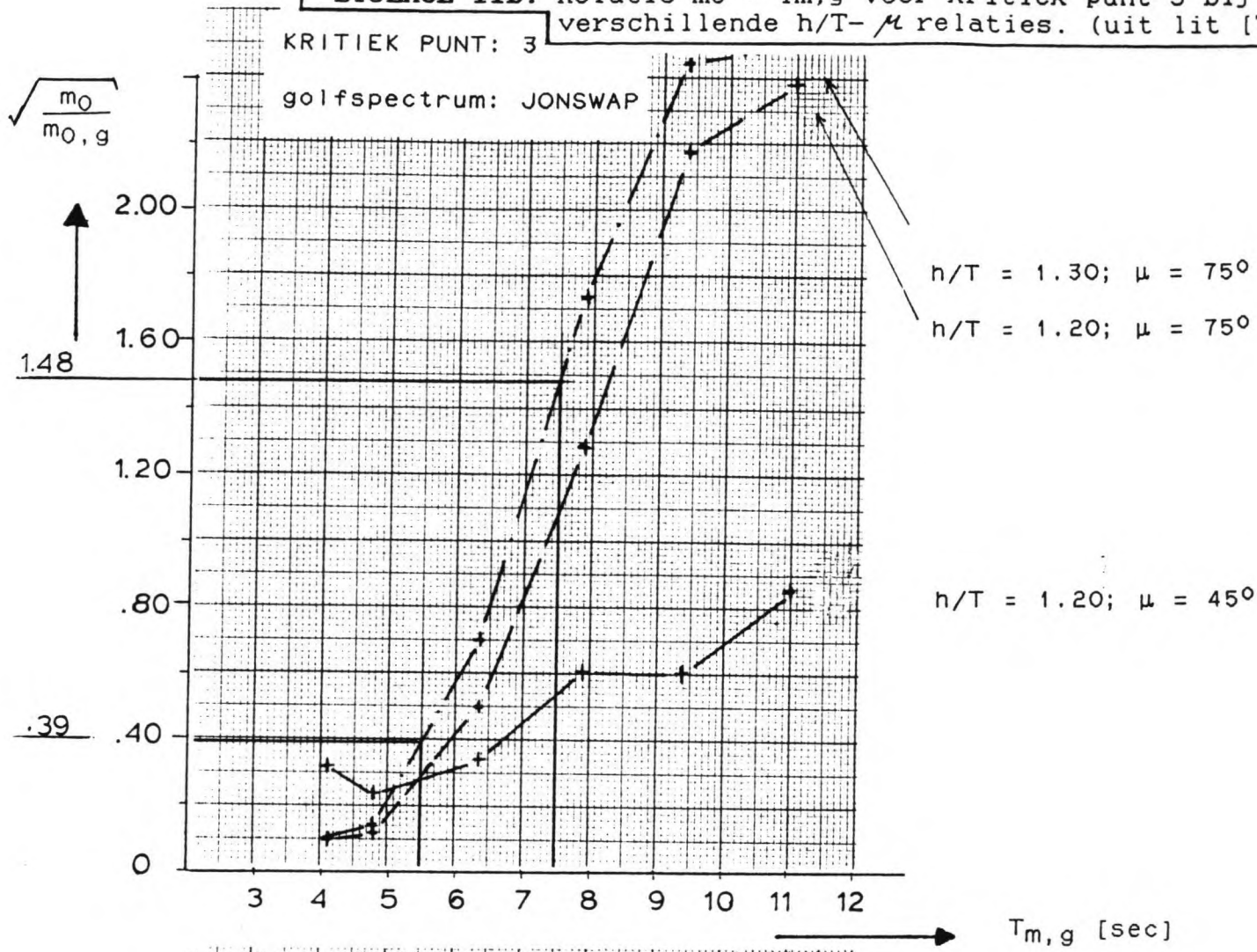
150.000 tdw bulkcarrier					
Kode	h/T	h	V	μ	Resultaten in bijlage *)
(-)	(-)	(m)	(m/s)	(gr)	
CC01	1,15	17,94	3,1	75	3.01
CC02	1,15	17,94	5,1	75	3.02
CC07	1,15	17,94	3,1	45	3.03
CC08	1,15	17,94	5,1	45	3.04
CC03	1,20	18,72	3,1	75	3.05
CC04	1,20	18,72	5,1	75	3.06
CC09	1,20	18,72	3,1	45	3.07
CC10	1,20	18,72	5,1	45	3.08
CC05	1,30	20,28	3,1	75	3.09
CC06	1,30	20,28	5,1	75	3.10

De in [7] onderzochte omstandigheidskombinaties

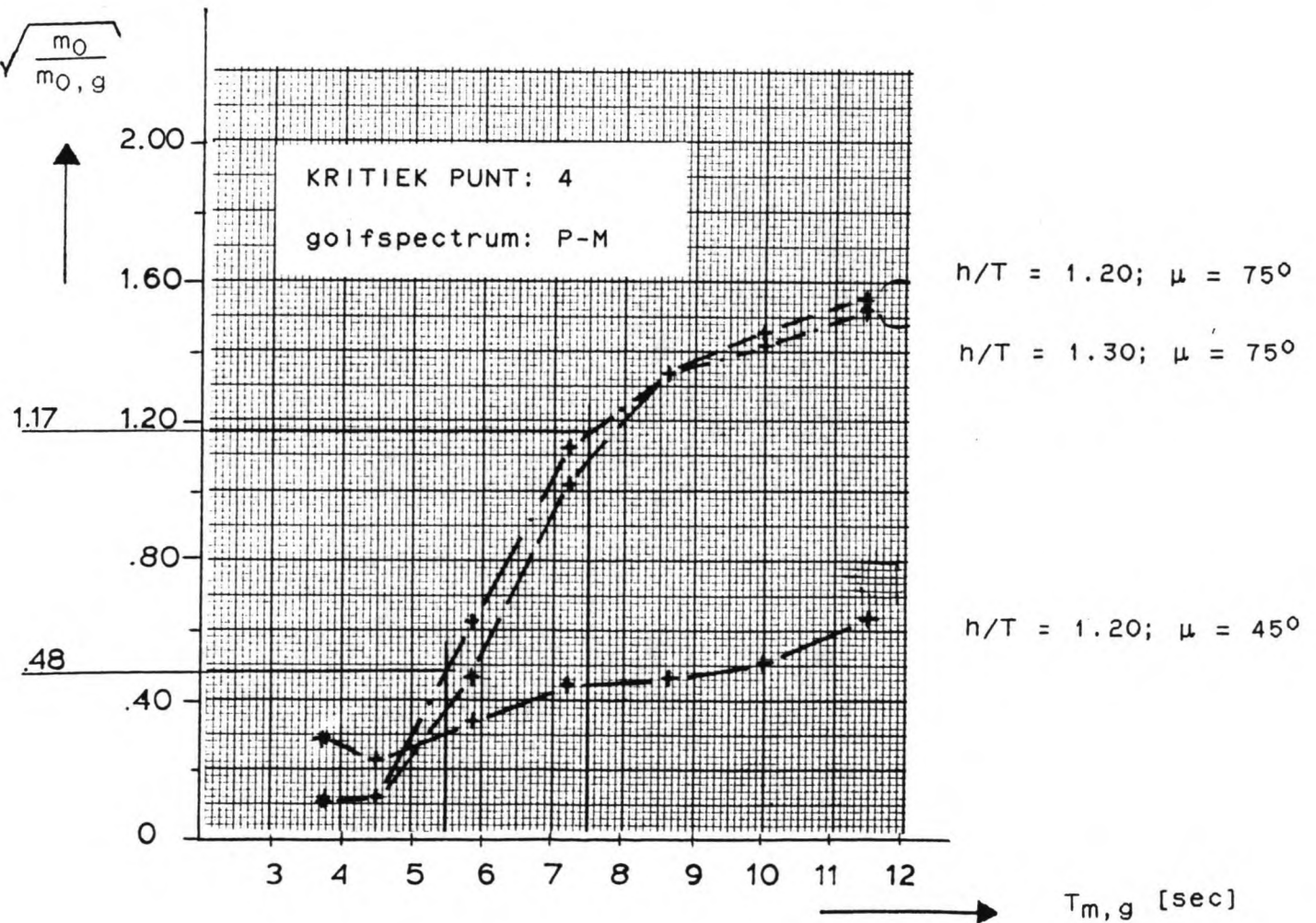
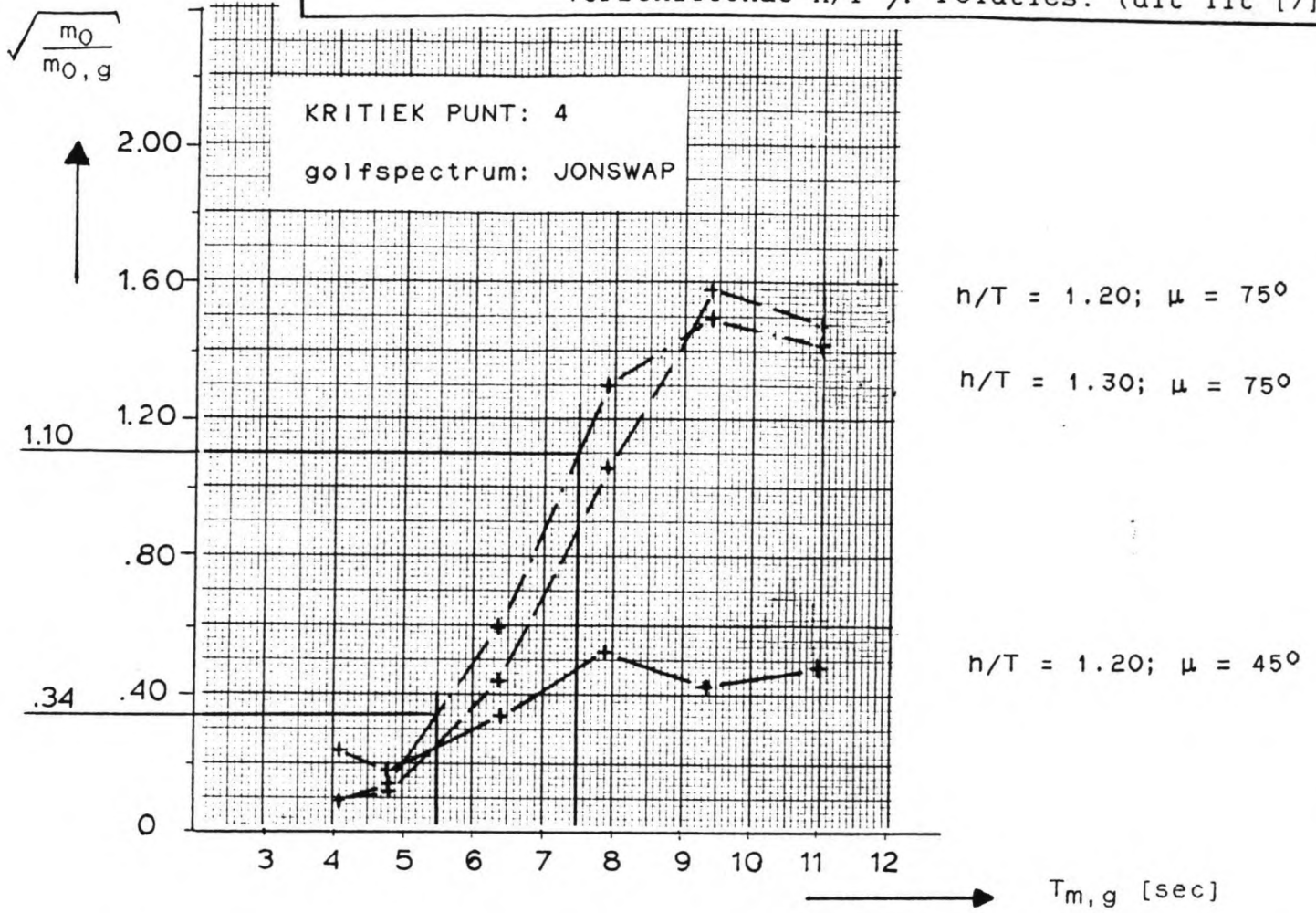
BIJLAGE 11a: Relatie $m_0 - T_{m,g}$ voor kritiek punt 1 bij verschillende $h/T - \mu$ relaties. (uit lit [7])



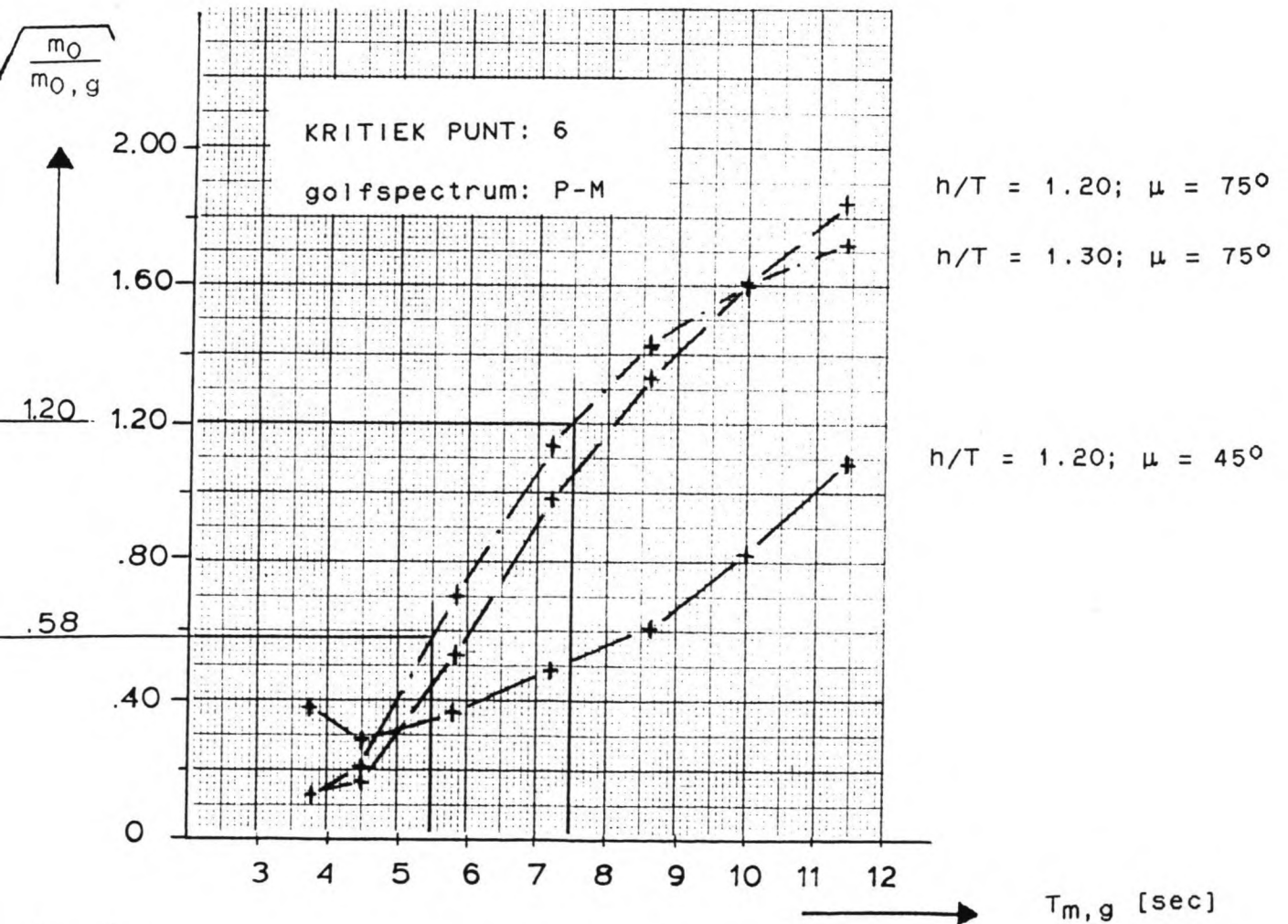
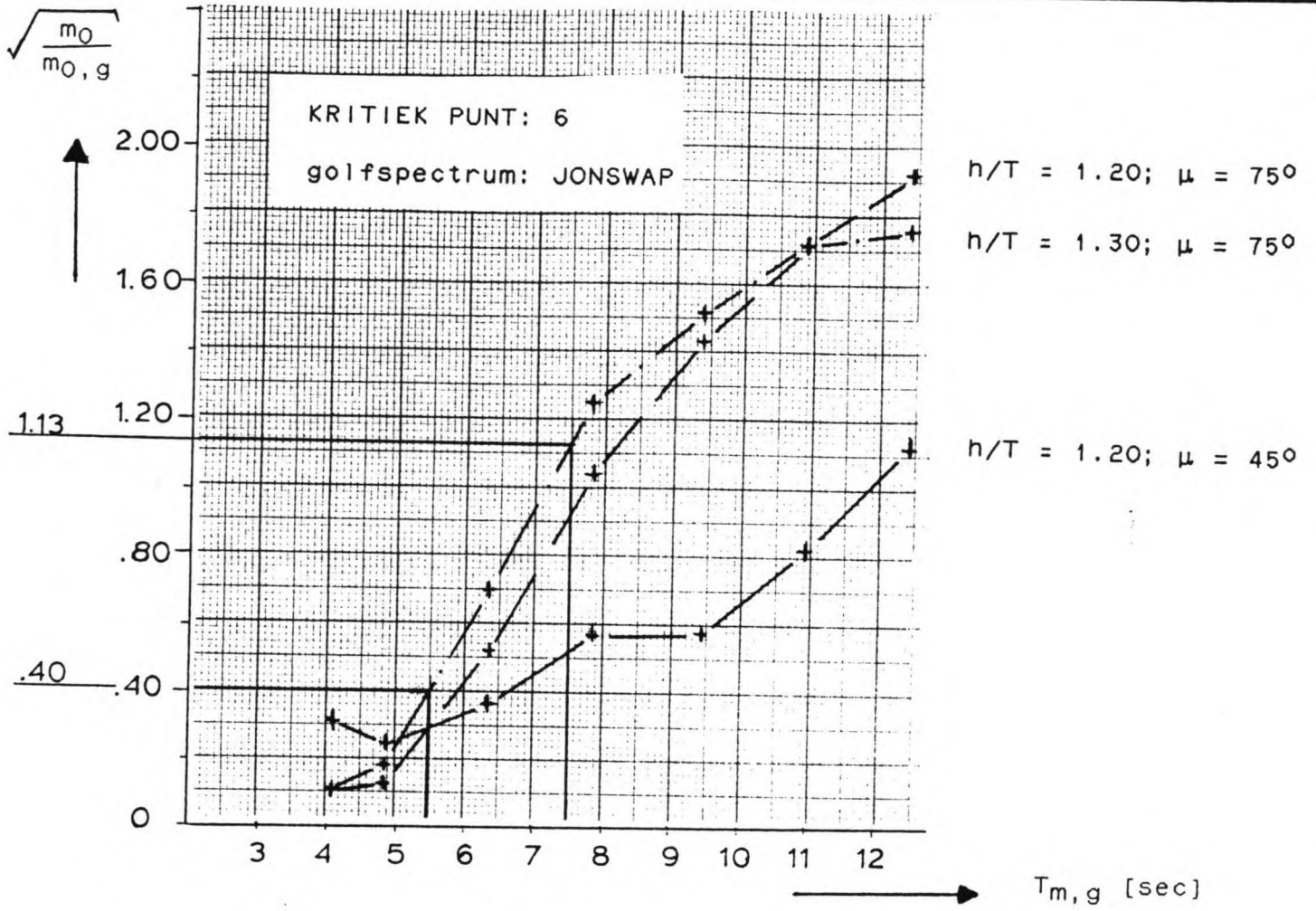
BIJLAGE 11b: Relatie $m_0 - T_{m,g}$ voor kritiek punt 3 bij verschillende $h/T - \mu$ relaties. (uit lit [7])



BIJLAGE 11c: Relatie $m_0 - T_{m,g}$ voor kritiek punt 4 bij verschillende $h/T - \mu$ relaties. (uit lit [7])

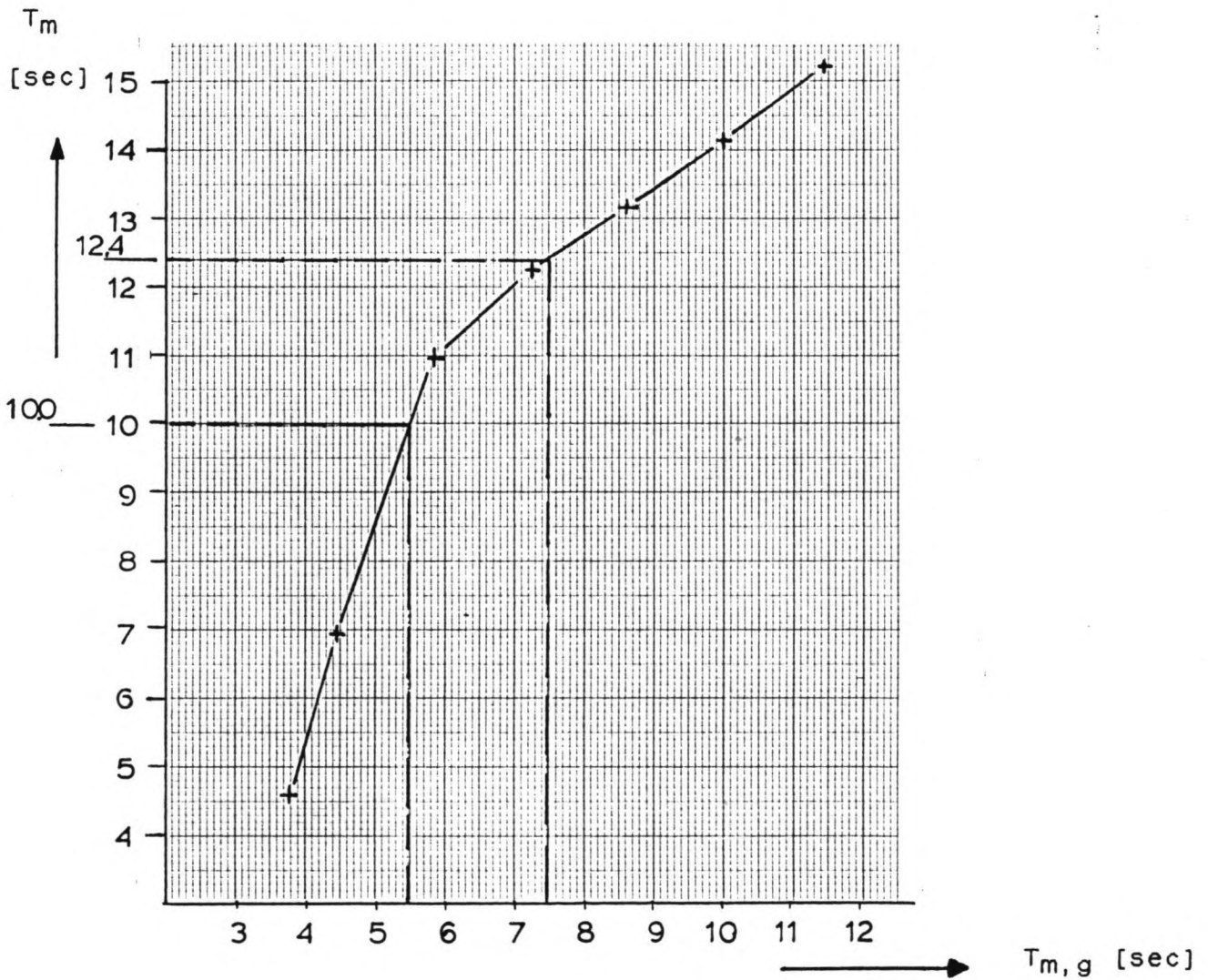


BIJLAGE 11d: Relatie $m_0 - T_{m,g}$ voor kritiek punt 6 bij verschillende h/T - relaties. (uit lit [7])



BIJLAGE 12:

Relatie $T_m - T_{m,g}$ voor kritiek punt 3
De grafiek is opgesteld aan de hand van
onderzoeksresultaten uit lit. [7]



KRITIEK PUNT: 3

golfspectrum: P-M

$h/T = 1.30$; $\mu = 75^\circ$

1 Berekening van de parameter ksi geïndeld
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61

S-lengte (a)	Bodeal. (e-NAP)	bodeavar (duany)	Vs, W (m/s)	w-klasse Parameters			golklasse Parameters			h (a)	verpl. F(duany)	Sympt. Fax (a)	KC (a)	duany	lambda (sec)	Tp (sec)	ksi	f	fiksi	ksi per vaart
				ws (a)	fw (a)	ms (a ²)	Ta (sec)	fg												
18000	17.6	17.6	7.2	1.14	.01	3.06	12.4	.001	14.95	18.74	2.20662	5310228	1.285066	2.504934	1.0289272	2337.662	67.82198	.00001	.0006762	
10000	17.5	17.5	6.7	1.34	.01	1.72	12.4	.001	14.95	18.84	2.20662	4928331	1.077914	2.812066	1.0080952	1388.889	11.24334	.00001	.0001124	
12000	17.35	17.35	7.2	1.36	.01	1.72	12.4	.001	14.95	18.71	2.20662	5314468	1.287532	2.472468	1.0136398	1558.442	21.25689	.00001	.0002126	
16000	20	20	5.1	1.36	.01	1.72	12.4	.001	14.95	21.36	2.20662	3523182	5.121715	5.897829	1.0000033	1785.714	.0058468	.00001	.0000001	
18000	17.6	17.6	7.2	1.74	.02	3.06	12.4	.001	14.95	19.34	2.20662	5227208	1.237681	3.152319	1.0159004	2337.662	37.18987	.00002	.0007454	
10000	17.5	17.5	6.7	1.94	.02	1.72	12.4	.001	14.95	19.44	2.20662	4851680	1.039512	3.450488	1.0045321	1388.889	8.516810	.00002	.0000703	
12000	17.35	17.35	7.2	1.96	.02	1.72	12.4	.001	14.95	19.31	2.20662	5231267	1.239666	3.120034	1.0047599	1558.442	7.418049	.00002	.0001484	
16000	20	20	5.1	1.96	.02	1.72	12.4	.001	14.95	22.16	2.20662	3474718	4.972160	6.312784	1.0000004	1785.714	.0006359	.00002	1.272e-8	
18000	17.6	17.6	7.2	1.89	.03	3.06	12.4	.001	14.95	19.49	2.20662	5207054	1.226362	3.313618	1.0018264	1388.889	2.336721	.00003	.0000781	
10000	17.5	17.5	6.7	2.09	.03	1.72	12.4	.001	14.95	19.46	2.20662	5211068	1.228625	3.281375	1.0035254	1558.442	5.494136	.00003	.0001648	
12000	17.35	17.35	7.2	2.11	.03	1.72	12.4	.001	14.95	22.11	2.20662	3462911	4.936129	6.665387	1.0000002	1785.714	.0003530	.00003	1.059e-8	
16000	20	20	5.1	2.11	.03	1.72	12.4	.001	14.95	19.64	2.20662	5187131	1.215291	3.474709	1.0112150	2337.662	26.21677	.00014	.0036703	
18000	17.6	17.6	7.2	2.04	.14	3.06	12.4	.001	14.95	19.74	2.20662	4814672	1.021327	3.768673	1.0025729	1558.442	4.009751	.00014	.0005614	
10000	17.5	17.5	6.7	2.26	.14	1.72	12.4	.001	14.95	19.61	2.20662	5191098	1.217493	3.442507	1.0000001	1785.714	.0001934	.00014	2.707e-8	
12000	17.35	17.35	7.2	2.26	.14	1.72	12.4	.001	14.95	22.26	2.20662	3451224	4.990617	6.819938	1.0000001	1785.714	.0001934	.00014	2.707e-8	
16000	20	20	5.1	2.26	.14	1.72	12.4	.001	14.95	18.38	2.20662	5361981	1.315304	2.114676	1.0388361	2337.662	90.78566	.00003	.0027236	
18000	17.6	17.6	7.2	.78	.03	3.06	12.4	.001	14.95	18.45	2.20662	4980146	1.104515	2.395549	1.0055338	1388.889	7.685875	.00006	.0004612	
10000	17.5	17.5	6.7	.95	.03	1.72	12.4	.001	14.95	18.45	2.20662	4980146	1.104515	2.395549	1.0055338	1388.889	7.685875	.00006	.0004612	
12000	17.35	17.35	7.2	.97	.03	1.72	12.4	.001	14.95	18.32	2.20662	5370754	1.320485	2.049515	1.0237832	1558.442	37.06473	.00003	.0011119	
16000	20	20	5.1	.98	.03	1.72	12.4	.001	14.95	20.98	2.20662	3554945	5.221877	5.507881	1.0000119	1785.714	.0213022	.00003	.0000006	
18000	17.6	17.6	7.2	1.38	.06	3.06	12.4	.001	14.95	18.98	2.20662	5276548	1.265667	2.764323	1.0231374	2337.662	54.08746	.00006	.0032452	
10000	17.5	17.5	6.7	1.55	.06	1.72	12.4	.001	14.95	19.05	2.20662	4901091	1.064152	3.033848	1.0053538	1388.889	7.685875	.00006	.0004612	
12000	17.35	17.35	7.2	1.57	.06	1.72	12.4	.001	14.95	18.92	2.20662	5284908	1.270469	2.699531	1.0096950	1558.442	15.10906	.00009	.0009063	
16000	20	20	5.1	1.58	.06	1.72	12.4	.001	14.95	21.58	2.20662	3505177	5.065843	6.123416	1.0000015	1785.714	.0023580	.00006	.0000002	
18000	17.6	17.6	7.2	1.52	.09	3.06	12.4	.001	14.95	19.12	2.20662	5257195	1.254539	2.915361	1.0201112	2337.662	47.01330	.00009	.0042312	
10000	17.5	17.5	6.7	1.7	.09	1.72	12.4	.001	14.95	19.2	2.20662	4881909	1.054537	3.195463	1.0041444	1388.889	5.754058	.00009	.0005180	
12000	17.35	17.35	7.2	1.72	.09	1.72	12.4	.001	14.95	19.07	2.20662	5284908	1.270469	2.699531	1.0074824	1558.442	11.62974	.00009	.0010467	
16000	20	20	5.1	1.73	.09	1.72	12.4	.001	14.95	19.28	2.20662	5255355	1.242280	3.087740	1.0189827	2337.662	39.69972	.00042	.0168739	
18000	17.6	17.6	7.2	1.68	.42	3.06	12.4	.001	14.95	19.22	2.20662	4862950	1.045095	3.354905	1.0030592	1388.889	4.248849	.00042	.0017845	
10000	17.5	17.5	6.7	1.85	.42	1.72	12.4	.001	14.95	19.22	2.20662	4862950	1.045095	3.354905	1.0030592	1388.889	4.248849	.00042	.0017845	
12000	17.35	17.35	7.2	1.87	.42	1.72	12.4	.001	14.95	19.22	2.20662	5243500	1.246873	3.023127	1.0056592	1558.442	8.819562	.00042	.0037042	
16000	20	20	5.1	1.88	.42	1.72	12.4	.001	14.95	21.88	2.20662	3481064	4.991953	6.430841	1.0000005	1785.714	.0008856	.00042	.0000004	
18000	17.6	17.6	7.2	.17	.01	3.06	12.4	.001	14.95	17.77	2.20662	5453256	1.569977	1.450023	1.0571970	2337.662	133.7074	.00001	.0013371	
10000	17.5	17.5	6.7	.27	.01	1.72	12.4	.001	14.95	17.77	2.20662	5453256	1.569977	1.450023	1.0571970	2337.662	133.7074	.00001	.0013371	
12000	17.35	17.35	7.2	.29	.01	1.72	12.4	.001	14.95	17.77	2.20662	5074539	1.154020	1.665980	1.0359896	1388.889	49.98558	.00001	.0004999	
16000	20	20	5.1	.29	.01	1.72	12.4	.001	14.95	17.64	2.20662	5473293	1.382230	1.307770	1.0000609	1785.714	.015271	.00009	.0000001	
18000	17.6	17.6	7.2	.29	.01	1.72	12.4	.001	14.95	20.29	2.20662	3614886	5.412072	4.798793	1.0189827	2337.662	39.69972	.00042	.0168739	
10000	17.5	17.5	6.7	.77	.02	3.06	12.4	.001	14.95	18.37	2.20662	5363440	1.316165	2.103835	1.0030592	1388.889	19.00036	.00042	.0018294	
12000	17.35	17.35	7.2	.87	.02	1.72	12.4	.001	14.95	18.37	2.20662	4990979	1.110058	2.309942	1.0170977	2337.662	91.46785	.00042	.0018294	
16000	20	20	5.1	.89	.02	1.72	12.4	.001	14.95	18.24	2.20662	5382519	1.327457	1.925243	1.0216885	1558.442	33.79718	.00003	.0010139	
18000	17.6	17.6	7.2	.89	.02	1.72	12.4	.001	14.95	20.89	2.20662	3562595	5.245316	5.415468	1.0000098	1785.714	.0174695	.00003	.0000006	
10000	17.5	17.5	6.7	1.02	.03	3.06	12.4	.001	14.95	18.52	2.20662	5341675	1.303375	2.286625	1.0348336	2337.662	81.42927	.00003	.0024429	
12000	17.35	17.35	7.2	1.04	.03	1.72	12.4	.001	14.95	18.52	2.20662	4970726	1.099591	2.470409	1.0136803	1388.889	19.00036	.00003	.0005700	
16000	20	20	5.1	1.04	.03	1.72	12.4	.001	14.95	18.39	2.20662	5368323	1.314445	2.125555	1.0216885	1558.442	27.42746	.00003	.0010139	
18000	17.6	17.6	7.2	1.07	.14	3.06	12.4	.001	14.95	21.04	2.20662	3549873	5.202524	5.569178	1.0000098	1785.714	.0174695	.00003	.0000006	
10000	17.5	17.5	6.7	1.17	.14	1.72	12.4	.001	14.95	18.67	2.20662	5320174	1.290834	2.429166	1.0307493	2337.662	71.88157	.00014	.0100634	
12000	17.35	17.35	7.2	1.19	.14	1.72	12.4	.001	14.95	18.67	2.20662	4950717	1.089321	2.630679	1.0107865	1388.889	14.98123	.00014	.0020974	
16000	20	20	5.1	1.19	.14	1.72	12.4	.001	14.95	18.54	2.20662	5358794	1.301689	2.288311	1.0175993	1558.442	27.42746	.00014	.0038398	
18000	17.6	17.6	7.2	1.14	.01	3.06	12.4	.005	14.95	21.19	2.20662	3537286	5.163742	5.723226	1.0000059	1785.714	.0103589	.00014	.0000153	
10000	17.5	17.5	6.7	1.34	.01	1.72	12.4	.005	14.95	18.74	2.20662	5310228	1.285066	2.504934	1.0211008	2337.662	49.32659	.00005	.0024663	
12000	17.35	17.35	7.2	1.34	.01	1.72	12.4	.005	14.95	18.84	2.20662	4928331	1.077914	2.812066	1.0029896	1388.889	4.152187	.00005	.0002076	
16000	20	20	5.1	1.36	.01	1.72	12.4	.005	14.95	21.36	2.20662	3523182	5.121715	5.897829	1.0063150	1558.442	9.841618	.00005	.0004921	
18000	17.6	17.6	7.2	1.36	.01	1.72	12.4	.005	14.95	19.34	2.20662	5227208	1.237681	3.152319	1.0096479	2337.662	22.55361	.0001	.0022554	
10000	17.5	17.5	6.7	1.74	.02	3.06	12.4	.005	14.95	19.44	2.20662	4851680	1.039512	3.450488	1.0005651	1388.889	7.848866	.0001	.0000785	
12000	17.35	17.35	7.2	1.94																

BIJLAGE 14:

Berekeningsresultaten (onbewerkt)

<u>KC,min:</u>	1.307770	<u>toestand:</u>	ontwerpbodemligging
<u>ksi,gem</u>	per klasse:	<u>ksi,max</u>	per vaart per klasse:
k1 1:	.0704288	260.3166	
k1 2:	.2121013	217.1711	
k1 3:	.1727208	184.5561	
k1 4:	.0494877	129.8874	
k1 5:	.0049276	69.77545	
k1 6:	.0005941	19.67265	
k1 7:	.0000410	1.345440	
k1 8:	.0000211	.1316684	
k1 9:	.0000012	.0019820	
k110:	3.15e-10	.0000002	
k111:	.0000171	.8474731	
k112:	8.42e-22	0	
<u>ksi,gem:</u>			
k1 1-12:		.5103406	
k1 2-12:		.4399118	
k1 3-12:		.2278106	
k1 4-12:		.0550897	
k1 5-12:		.0056020	
k1 6-12:		.0006745	
k1 7-12:		.0000803	

vanaf klasse 7 wordt aan criterium 3 voldaan

450 K
MIR

BIJLAGE 16:

Berekeningsresultaten voor 5 en 6 meter extra verdieping

KC,min: 6.660554 toestand: ontwerpboedemligging - 5 meter

ksi,gen per klasse: ksi,max per vaart per klasse:

k1 1:	.0000057	.0996263
k1 2:	.0000016	.0097236
k1 3:	3.546e-8	.0002769
k1 4:	4.91e-11	.0000008
k1 5:	3.58e-16	1.76e-11
k1 6:	1.75e-26	8.77e-22
k1 7:	0	0
k1 8:	0	0
k1 9:	0	0
k110:	0	0
k111:	0	0
k112:	0	0

ksi,gen:

k1 1-12:	.0000073
k1 2-12:	.0000016
k1 3-12:	3.551e-8
k1 4-12:	4.91e-11
k1 5-12:	3.58e-16
k1 6-12:	1.75e-26
k1 7-12:	0

Klasse 1 voldoet niet aan criterium 2
Aan criterium 3 wordt onder alle omstandigheden voldaan

KC,min: 7.710389

toestand: ontwerpboedemligging - 6 meter

ksi,gen per klasse: ksi,max per vaart per klasse:

k1 1:	.0000004	.0080646
k1 2:	4.590e-8	.0003648
k1 3:	3.36e-10	.0000032
k1 4:	7.52e-14	1.362e-9
k1 5:	1.65e-20	8.18e-16
k1 6:	3.06e-34	1.53e-29
k1 7:	0	0
k1 8:	0	0
k1 9:	0	0
k110:	0	0
k111:	0	0
k112:	0	0

ksi,gen:

k1 1-12:	.0000004
k1 2-12:	4.623e-8
k1 3-12:	3.36e-10
k1 4-12:	7.52e-14
k1 5-12:	1.65e-20
k1 6-12:	3.06e-34
k1 7-12:	0

De geul voldoet onder alle omstandigheden aan de criteria

KIP

Tussenvoegen



