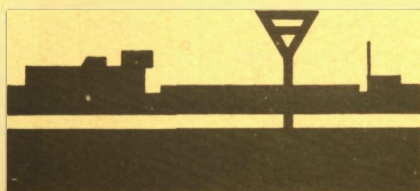
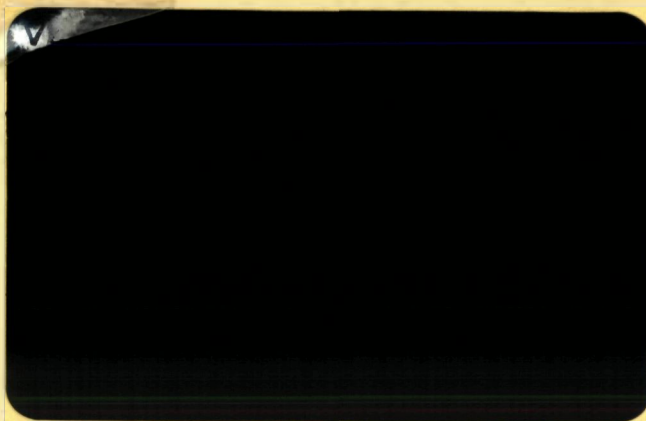


rijkswaterstaat

348



V

dienst verkeerskunde
hoofdafdeling scheepvaart

waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout

BIBLIOTHEEK

274313

Diepdieping Westerschelde

Technisch-nautisch onderzoek
deel 3

**Maatgevende verkeerssituaties
en vaargeulbreedte**

A, Tekst.

Projektgroep VWS
Bijlage bij hoofdstuk 5 en 7
van de projektrapportage

RWS Dienst Verkeerskunde
Nota S 80.20.03
maart 1984

INHOUD DEEL A

LITERATUUR

1. INLEIDING
2. SAMENVATTING EN KONKLUSIES
3. RANDVOORWAARDEN
4. ONTWERPREGELS OP BASIS VAN INFORMATIE UIT DE LITERATUUR
5. TOETSING VAN DE ONTWERPREGELS AAN DE VAARPRAKTIJK OP DE WESTERSCHELDE
6. BEREKENINGEN MET EEN MATHEMATISCH MODEL VOOR HET MANOEUVREREN VAN SCHEPEN
7. ONGEVALLANALYSE
8. SIMULATIE VAN DE VAART MET MAATGEVENDE SCHEPEN LANGS BORSSELE EN BATH
9. SAMENVATTING ONTWERPREGELS VOOR DE WESTERSCHELDE
10. MOGELIJKE KNELPUNTEN IN DE VERKEERSAFWIKKELING
11. EFFEKT VAN TOEKOMSTIGE INFRASTRUKTURELE WERKEN OP DE AFWIKKELING VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER
12. SCENARIO'S VOOR HET TOEKOMSTIGE SCHEEPVAARTVERKEER
13. MAATGEVENDE VERKEERSSITUATIES
14. VAARGEULBREEDTE EN VERKEERSAFWIKKELING
15. MOGELIJKE EFFEKTEN VAN DE UIT TE VOEREN WERKEN EN HET TOELATEN VAN GROTE SCHEPEN OP DE VEILIGHEID VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER

INHOUD

	<u>Blz.</u>
1. INLEIDING	1
2. SAMENVATTING EN KONKLUSIES	2
3. RANDVOORWAARDEN	6
3.1 Maatgevende schepen en vaarschema's	6
3.2 De vaarweg	7
3.3 Overige aspecten	10
4. ONTWERPREGELS OP BASIS VAN INFORMATIE UIT DE LITERATUUR	11
4.1 Inleiding	11
4.2 Ontwerpregels voor de breedte van kanalen en vaargeulen	11
4.2.1 Indeling van de vaarweg	11
4.2.2 De vaarstrook	13
4.2.3 De bermstrook	16
4.2.4 De veiligheidsstrook	17
4.2.5 Toeslagen op de vaarstrook	18
4.2.6 De totale vaargeulbreedte	22
4.3 Benodigde lengte voor ontmoetings- en olop- manoeuvres	24
5. TOETSING VAN DE ONTWERPREGELS AAN DE VAARPRAKTIJK OP DE WESTERSCHELDE	29
5.1 Padbreedte in bochten	29
5.2 De vaarpraktijk in 1980	31
6. BEREKENINGEN MET EEN MATHEMATISCH MODEL VOOR HET MANOEUVREREN VAN SCHEPEN	33
6.1 INLEIDING	33
6.2 Varen door geschematiseerde bochten met een stuurautomaat	33
6.3 Varen door geschematiseerde dwarsstroomsituaties met een stuurautomaat	34
6.4 Varen met het handbestuurde mathematische model	36

INHOUD (vervolg)

	<u>Blz.</u>
6.5 Vergelijking van de resultaten van het mathematisch model met de ontwerpregels van hoofdstuk 4 en met de metingen in de praktijk van hoofdstuk 5	38
6.6 Konklusies	40
7. ONGEVALLENANALYSE	41
7.1 Inleiding	41
7.2 Globaal overzicht van de scheepsongevallen tussen 1966 en 1979	42
7.3 Ongevallen met zeeschepen >20.000 BRT, periode 1966 - 1978	43
7.4 Nadere analyse van de "zware" ongevallen met grote zeeschepen	45
7.5 Analyse van ongevallen nabij Borssele in de periode vanaf 1979 tot begin 1982	46
7.6 Samenvatting en konklusies	47
8. SIMULATIE VAN DE VAART MET MAATGEVENDE SCHEPEN LANGS BORSSELE EN BATH	50
8.1 Inleiding	50
8.2 Toegepaste schematisaties	50
8.3 Beschrijving van de uitgevoerde simulaties	51
8.4 Konklusies	53
9. SAMENVATTING ONTWERPREGELS VOOR DE WESTERSCHELDE	55
10. MOGELIJKE KNELPUNTEN IN DE VERKEERSAFWIKKELING	57
10.1 Toelaatbare verkeerssituaties in vaargeulen met een breedte van 300 m en 500 m	57
10.2 Mogelijke knelpunten bij de vaart met specifieke schepen	58
10.3 Geladen opvaart van het massagoedschip (L = 300 m, B = 50 m)	58
10.4 Opvaart van het "oorspronkelijke" maatgevende massagoedschip (290 x 42,5 m ²)	60
10.5 Afvaart van een maatgevend massagoedschip	61
10.6 Vaart van een containerschip (L = 288 m, B = 33 m) en van een Panamax-schip (L = 260 m, B = 32 m)	61
10.7 Samenvatting	63

INHOUD (vervolg)

	<u>Blz.</u>
11. EFJEKT VAN TOEKOMSTIGE INFRASTRUKTURELE WERKEN OP DE AFWIKKELING VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER	64
11.1 Inleiding	64
11.2 De verbetering van het Kanaal door Z.Beveland	64
11.3 De vaste oeververbinding over de Westerschelde	65
11.4 Hrt Baalhoekkanaal	66
11.5 Bochtafsnijding bij Bath	67
11.6 Het Spuikanaal bij Bath	69
11.7 De Berendrechtsluis	69
11.8 Samenvatting	70
12. SCENARIO'S VOOR HET TOEKOMSTIGE SCHEEPVAARTVERKEER	71
12.1 Goederenprognose	71
12.2 Formuleren van scenario's voor het toekomstige verkeer van/naar de verschillende zeehaven .	73
12.3 Uitwerking van de scenario's voor het verkeer naar de verschillende havens	75
12.4 Aandeel van de geladen maatgevende en getijge- bonden schepen in het totale aanbod	77
12.5 Vergelijking met andere toekomstverwachtingen	78
12.6 Samenvatting	79
13. MAATGEVENDE VERKEERSSITUATIES	80
14. VAARGEULBREEEDTE EN VERKEERSAFWIKKELING	84
14.1 Zandvliet-Hansweert	84
14.2 Hansweert-Terneuzen	84
14.3 Terneuzen-Borssele	86
14.5 De Rede van Vlissingen	88
14.6 Wielingen en Scheurpas	88
15. MOGELIJKE EFJEKTEN VAN DE UIT TE VOEREN WERKEN EN HET TOELATEN VAN GROTE SCHEPEN OP DE VEILIGHEID VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER	90

LITERATUUR

1. "Verdieping Westerschelde, Technisch - nautisch onderzoek, deel 1, Vaarschema's en vereiste waterdiepte", nota S 80.20.1, Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart, Dordrecht, 1983.
2. "Verdieping Westerschelde, Technisch-nautisch onderzoek deel 5, Aanvullend onderzoek vereiste waterdiepte", nota S 80.20.5, Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart, Dordrecht, 1983.
3. "Scheepsongevallen op de Westerschelde 1966-1978", nota S 77.42, Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart, Dordrecht, 1982.
4. "Stroomatlas Westerschelde, Gemiddelde stroom in de laag van 0-10 m beneden het wateroppervlak", (1976) en "Gemiddelde stroom in de laag van 0-5 m beneden het wateroppervlak", (1981).
Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine,
5. Loof, D. de, en Malde, J. van,
"De cyclus der drempelgeulen bij de Zimmermangeul(Westerschelde)",
Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging,
Studiedienst Vlissingen,
Vlissingen, 1976.
6. "Verdieping Westerschelde, Technisch - nautisch onderzoek, deel 4, Noodanker- en wachtgebieden", nota S 80.20.4,
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Dordrecht, 1984.
7. Aleer, J.B.Mc., Wicker C.F. en Johnston, J.R.,
"Evaluation of the present state of knowledge of factors affecting tidal hydraulics and related phenomena, Chapter 10: Design of channels for navigation",
US Army, Corps of Engineers, 1965.
8. Balanin, V., Zirnov, D., Kinjakov, S., e.a.,
"Peculiarities of navigation on canals and restricted channels, originating hydraulic phenomena associated with them and their effect on the canal bed; measures to prevent slope deterioration",
24th IANAC congres, Section I, subject 3, p. 183 - 202,
Leningrad, 1977.
9. Kray, C.J.,
"Supership effect on waterway depth and alignments", proceedings ASCE,
Journal of the Waterway, Volume 76, no. 2
mei 1970.

LITERATUUR (vervolg)

10. "Big tankers and their reception", final report,
PIANC bulletin nr. 16,
Brussel, 1973.
11. "Final report of the international commission for the reception of large ships",
PIANC bulletin nr. 35, 37 p.,
Brussel, 1980.
12. Guliev, Y., en Vorbev, Y.,
"Determination of safety dimensions of the cross section in marine approach channels",
23th PIANC congres, Section II, subject 3, p. 121 - 137,
Ottawa, 1973.
13. Witt, F.G.J., Paymans, P.J.,
"Oplopende geulschepen II, deel I," rapport 01247-2-MS, 28 p.
Nederlands Scheepbouwkundig Proefstation,
Wageningen, 1979.
14. "Verruiming Maas-Waalkanaal", Rapport R. 507, 29 p.,
Waterloopkundig Laboratorium,
Delft, juli 1969.
15. Koster, J.,
"Push-tows in canals", Rijkswaterstaat communications nr. 21,
Staatsuitgeverij
's-Gravenhage, 1975.
16. Ammar, A.A.,
"Design of navigation canal cross section and alignment",
22th PIANC Congres, section I, subject 6, p. 199 e.v.,
Parijs, 1969.
17. Iijima, Y., en Honda, K.,
"Lane width in a harbour passage",
Journal of navigation, Volume 32, nr. 2, p. 186 - 199,
mei 1979.
18. "Noordzeekanaal", Rapport M 726 (I t/m IV), 1962-1965.
Waterloopkundig Laboratorium,
Delft.

LITERATUUR (vervolg)

19. Sukselainen, J.,
"On ship manoeuvring and waterway width",
Helsinki University of Technology Ship Hydrodynamic Lab.,
Helsinki, 1975.
20. Bohlin, A.,
"Problems arising from the use of very large ships in connection with
the alignment and depth of approach channels and of manoeuvring area's",
22th PIANC congress, blz. 167 - 178, section II, subject 3,
Paris, 1969.
21. Fujii, Y., en Tanaka, K.,
"Studies in marine traffic engineering",
Journal of the institute of navigation, Volume 24, nr. 4, p. 521 - 552,
Japan, 1971.
22. "Voorhavens Hansweert", Verslag M 1642, deel 1, 2 en 3,
Waterloopkundig Laboratorium,
Delft, 1981.
23. "De kwaliteit van de verkeersafwikkeling in de ontworpen bochtafsnijding
in de Westerschelde bij Bath", Nota S 72.13;
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Dordrecht, 1976.
24. "Beoordeling bevaarbaarheid van de voorgestelde bochtafsnijding bij Bath
op basis van de resultaten van het NSP-onderzoek", rapport 02439-1-MS,
Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation,
Wageningen, juni 1979.
25. "Scheepvaartonderzoek Bochtafsnijding Bath", Nota 80.20.001,
Rijkswaterstaat, Deltadienst,
Den Haag, april 1980.
26. "Door België gestelde vragen m.b.t. de Bochtafsnijding Bath",
notitie DD-WWO-80-25.072,
Rijkswaterstaat, Deltadienst, WWO,
Bergen op Zoom, mei 1980.

LITERATUUR (vervolg)

27. "Sleepbootassistentie bij de Zandvlietsluis i.v.m. de geplande afsnijding van de bocht bij Bath", nota S 77.26,
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Dordrecht, 1978.
28. "Toekomst perspectieven voor de Benelux zeehavens 1980-2000",
Benelux Economische Unie,
Brussel, november 1979.
29. "Elementen voor een havenbeleid",
Gewestelijke economische raad voor Vlaanderen, berichten 22, drie-
maandelijks bericht, 499 p.,
Antwerpen, september 1979.
30. "Jaarverslag 1981",
Havenschap Terneuzen,
Terneuzen, 1982.
31. "Statistisch jaarbericht 1981"
Haven van Antwerpen
32. "Statistische tabellen, 1981".
Havenbedrijf van de stad Gent.
33. "Scheepvaarttelling Westerschelde 1981", nota S 82.03,
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Dordrecht, 1983.
34. "Verdieping Westerschelde, Technisch-nautisch onderzoek, deel 2,
Invloed van het golfklimaat op de vereiste diepgang", nota S 80.20.2,
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Dordrecht, 1982.
35. "Verdieping Westerschelde, Technisch-nautisch onderzoek, deel 6,
Vaarwegafmetingen en verkeerafwikkeling op het traject Hansweert -
Zandvliet" nota S 80.20.6,
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart,
Dordrecht, 1984.
36. Horst, J. v.d., en Jansen, C.M.A.,
"De invloed van de verdieping van de Westerschelde op het risico voor
mens en milieu t.g.v. het transport van gevaarlijke stoffen", Rapport 8727-
10389.
TNO hoofdgroep maatschappelijke technologie, bureau industriële veiligheid
te Apeldoorn,
Apeldoorn, 1983.

LITERATUUR (vervolg)

37. Onderzoek naar de zijdelingse afwijkingen van boei-posities bij eb en vloed (springtij).

Rijkswaterstaat, Direktoraat-Generaal Scheepvaart en Maritieme Zaken
distrikt Scheldemond.

Vlissingen, december 1983

1. INLEIDING

Sinds enige tijd wordt door België de wens te kennen gegeven de maritieme toegankelijkheid van de haven van Antwerpen te verbeteren. Van Nederlandse zijde is medewerking toegezegd bij de verdere uitwerking van de plannen. De Technische Schelde Commissie heeft daartoe de Subcommissie Verdieping Westerschelde ingesteld. De direktie Zeeland van Rijkswaterstaat, die als vaarwegbeheerder van Nederlandse zijde vertegenwoordigd is in de subcommissie, heeft de dienst Verkeerskunde bij brief nr. SX 6839, d.d. 8 mei 1980, verzocht haar assistentie te verlenen bij de uit te voeren studies.

Een voorstel van de dienst Verkeerskunde voor nader technisch-nautisch onderzoek naar de karakteristieken van de gewenste vaarweg is samengevat in de notitie "Verdieping Westerschelde; enige karakteristieken van de gewenste vaarweg". Die notitie¹⁾ is op de vergadering van 20 juni 1980 door de Technische Schelde Commissie aanvaard als basis voor verdere studie. Het voorliggende rapport geeft een nadere uitwerking van de in paragraaf 5 van de bovengenoemde notitie voorgestelde studie naar de vereiste breedte van de vaargeul bij de verschillende verkeerssituaties.

De verschillende in het voorliggende verslag gepresenteerde analyses en berekeningen zijn uitgevoerd door medewerkers van de dienst Verkeerskunde, die ook het rapport samenstelden. Daarbij dient opgemerkt te worden dat door verschillende diensten medewerking is verleend in de vorm van het beschikbaar stellen van basisgegevens. Met name dienen in dit verband het distrikt Scheldemond van het Direktoraat-Generaal voor Scheepvaart en Maritieme Zaken en de Adviesdienst Vlissingen van de direktie Waterhuishouding en Waterbeweging genoemd te worden.

¹⁾ Integraal opgenomen in nota S 80.20.01, [1], als bijlage 1.

2. SAMENVATTING EN KONKLUSIES

Het onderzoek naar de bij verschillende verkeerssituaties vereiste breedte van de vaargeul naar Antwerpen is gestart met een inventarisatie van de randvoorwaarden voor de verbetering van de maritieme toegankelijkheid van de haven van Antwerpen. Enerzijds betreft dit de maatgevende scheepsafmetingen en vaarschema's, anderzijds de karakteristieken van de vaarweg (zie hoofdstuk 3).

Vervolgens is een studie uitgevoerd naar regels, die in de literatuur worden genoemd voor het ontwerp van vaarwegen (hoofdstuk 4). Die ontwerp-regels zijn getoetst aan de huidige vaarpraktijk op de Westerschelde (hoofdstuk 5), aan berekeningen met een mathematisch model voor het manoeuvreren van schepen (hoofdstuk 6) en aan een ongevallenanalyse (hoofdstuk 7). Daarbij bleek het nodig de ontwerpregels op enige (vrij ondergeschikte) punten bij te stellen. Voor een tweetal "moeilijke" trajekten (Borssele en Zimmermangeul/Bath) zijn nog enige oriënterende berekeningen met een mathematisch manoeuvreermodel uitgevoerd (hoofdstuk 8). Deze berekeningen gaven geen aanleiding de ontwerpregels, die voor meer "geschematiseerde" situaties zijn afgeleid, bij te stellen. De uiteindelijk afgeleide ontwerpregels zijn samengevat in hoofdstuk 9.

Op grond van de uiteindelijke ontwerpregels is in hoofdstuk 10 nagegaan of en, zo ja, waar op de Westerschelde knelpunten in de verkeersafwikkeling verwacht kunnen worden, zowel bij (minimaal te onderhouden) vaargeulbreedtes van 300 resp. 500 m als bij de in 1980 aanwezige vaargeul. Diverse verkeerssituaties, waarbij meerdere maatgevende schepen betrokken zijn, bleken daarbij over grote delen van het traject Hansweert-Zandvliet niet mogelijk te zijn. Gekonstateerd is dat een simulatie van het in de toekomst te verwachten scheepvaartverkeer op dit traject nodig is alvorens de minimaal benodigde geulafmetingen op dit traject en de (eventuele) verkeersafspraken vastgesteld kunnen worden. De verkeerssimulatie zal worden uitgevoerd door TNO-IWECO. Op grond van dat onderzoek en van de in dit rapport afgeleide ontwerp-regels zullen in een volgend deelrapport, S 80.20.06, de minimaal te onderhouden geulafmetingen en de daarbij toe te passen verkeersafspraken voor het traject Hansweert-Zandvliet worden afgeleid. Ten westen van Hansweert vormt vooral

de drempel van Borssele een knelpunt. Voor de overige trajekten zeewaarts van Hansweert worden bij een te onderhouden vaargeulbreedte van 500 m weinig problemen m.b.t. de verkeersafwikkeling verwacht.

Alvorens simulaties van de in de toekomst te verwachten verkeersafwikkeling kunnen worden gemaakt, is het nodig een goed inzicht op te bouwen van het mogelijk effect daarop van toekomstige infrastrukturele werken (zie hoofdstuk 11). Het blijkt dat het effect van de meeste voorgenomen/overwogen werken zeer beperkt is. Het belangrijkste gegeven daaruit is dat in de studies m.b.t. de verkeersafwikkeling er van uitgegaan moet worden dat na ingebruikname van de Berendrechtsluis regelmatig meerdere maatgevende massagoedschepen binnen hetzelfde tij zullen opvaren. Deze situatie zal vóór ingebruikname van de Berendrechtsluis een grote uitzondering zijn. De ingebruikname van het Baalhoekkanaal zal de verkeersafwikkeling op het traject tussen Hansweert en Baalhoek relatief sterk kunnen beïnvloeden. Mocht t.z.t. tot aanleg van dat kanaal worden besloten, dan zullen hiervoor wellicht een aantal maatregelen moeten worden getroffen. Onoverkomelijke problemen voor de verkeersafwikkeling behoeven als gevolg daarvan niet te worden verwacht.

De in de toekomst te verwachten afwikkeling van het scheepvaartverkeer kan slechts worden onderzocht, wanneer inzicht bestaat over de omvang van het vervoer en verkeer. Daarom zijn scenario's voor het toekomstige scheepvaartverkeer op de Westerschelde opgesteld (zie hoofdstuk 12). In overleg met de Antwerpse havenautoriteiten is daaruit een verkeersaanbod voor het jaar 2000 gekozen, waarmee in de verdere studies rekening zal worden gehouden. Het scenario waarop dit verkeersaanbod is gebaseerd, veronderstelt een voortgaande, sterke groei van het vervoer van en naar Antwerpen en de andere havens langs de Westerschelde.

Op grond van de maatgevende scheepsafmetingen, de vaarschema's en het in 2000 mogelijk te verwachten verkeersaanbod is in hoofdstuk 13 een aantal maatgevende verkeerssituaties gedefinieerd. Voor die verkeerssituaties is in hoofdstuk 14 voor de verschillende deeltrajekten zeewaarts van Hansweert nagegaan welke afmetingen van de vaargeul onder normale omstandigheden v.w.b. zicht en wind enz. nodig zijn, rekening houdend met de ter plaatse relevante vaarwegkarakteristieken (stroomsnelheden, bochtstralen, vaarwegmarkering).

Voor het traject Hansweert--Terneuzen werd daarbij gekonstateerd dat een vaargeulbreedte tussen de boeien van 500 m voldoende is voor ontmoetingen tussen een maatgevend massagoedschip en een derde generatie-

containerschip. Voor de bochten bij Ossensisse en bij Terneuzen dient een extra breedte van 50 m te worden onderhouden.

Op een groot deel van het traject Terneuzen-Borssele is een geul met een bodembreedte van 520 m (i.p.v. 500 m) en een breedte van 580 m tussen de boeien nodig om de mogelijkheid van (incidentele) oploopmanoeuvres van twee maatgevende massagoedschepen open te houden.

Ter plaatse van de drempel van Borssele blijkt, in verband met de sterke dwarsstroom, een bodembreedte van 330 m nodig (420 m tussen de boeien). Ook dan moet met de volgende beperkingen in de verkeersafwikkeling rekening worden gehouden:

- schepen >125.000 tdw mogen geen schepen oplopen en v.v.;
- schepen > 50.000 tdw mogen geen schepen >6.000 tdw oplopen en v.v.;
- schepen > 25.000 tdw mogen geen schepen >12.000 tdw oplopen en v.v.;
- schepen >125.000 tdw mogen geen schepen >6.000 tdw ontmoeten;
- schepen > 50.000 tdw mogen geen schepen >12.000 tdw ontmoeten;
- schepen > 25.000 tdw mogen geen schepen >25.000 tdw ontmoeten;

Zelfs bij het (hoge) verkeersaanbod volgens het voor 2000 aangehouden scenario zullen gemiddeld per etmaal slechts 2 à 3 schepen bij dergelijke situaties betrokken worden. Het wordt dan ook goed mogelijk geacht de daarvoor nodige afspraken te treffen.

Het thans aangegeven voorzorgsgebied ("precautionary area") op de Rede van Vlissingen is ook voor de vaart met de maatgevende massagoedschepen voldoende ruim. In de Wielingen en de Scheurpas zijn een tweetal deeltrajecten aanwezig waarbij maatgevende massagoedschepen elkaar kunnen oplopen nl. aan het begin van de geul ten westen van de Mid-Akkaert en van de Wielingen 6 boei tot het redegebied Vlissingen. De vaargeul dient daar een breedte van 520 m te hebben, terwijl voor de kleinere zeevaartuigen nog te weerszijden bermen van 70 m nodig zijn. Voor de rest van het traject is een breedte van 570 m tussen de boeien nodig voor een oploopmanoeuvre van een maatgevend massagoedschip en een derde generatie-containerschip, waarbij tevens aan weerszijde een berm van 60 m is gereserveerd voor de kleinere vaart. Bij dwarsstroom >0,5 m/s is een breedte tussen de boeien van 710 m nodig.

Binnen de hiervoor beschreven vaarwegafmetingen en verkeersafspraken is onder normale omstandigheden een veilige vaart met de maatgevende schepen mogelijk.

Wanneer daarnaast een aantal aanvullende beheersmaatregelen worden genomen zal de veiligheid van het scheepvaartverkeer als gevolg van het verdiepings-
projekt naar verwachting toenemen.

Het gaat daarbij o.a. om (zie hoofdstuk 15):

- onderhouden van noodanker- en wachtgebieden (zie voor de uitwerking
deelrapport S 80.20.04 [6]);
- beschikbaarheid van sleepboten met voldoende vermogen (in 1983 ge-
deeltelijk geëffektueerd);
- beëindiging van de loodswisseling op de Rede van Vlissingen;
- instellen van aanvullende verkeersafspraken t.p.v. knelpunten bij
slecht zicht en harde wind;
- navigatie-assistentie bij slecht zicht;
- assistentie van de verkeersdienst bij het opstellen van vaarplannen,
inkl. de planning van oploop- en ontmoetingsmanoeuvres;

3. RANDVOORWAARDEN

3.1 Maatgevende schepen en vaarschema's

De verbetering van de maritieme toegankelijkheid van de haven van Antwerpen houdt in dat deze haven door grotere schepen met meer diepgang bereikt zal kunnen worden dan nu mogelijk is. In nota S 80.20.01 [1] zijn de uiteindelijke, in de Technische Schelde Commissie overeengekomen, maximale afmetingen van de maatgevende schepen en de vaarschema's gedetailleerd aangegeven. Deze randvoorwaarden zijn in het onderstaande samengevat (zie ook tabel 1):

1. een massagoedschip (L = 300 m, B = 50 m) met een diepgang van 15,25 m (50') moet in 2 getijden op kunnen varen naar Zandvliet. Het getijvenster is $\frac{1}{2}$ uur per getij^{*}.
2. een massagoedschip (L = 300 m, B = 50 m) met een diepgang van 14,64 m (48') moet in 1 getij op kunnen varen naar Zandvliet. Het getijvenster is 1 uur per getij.
3. een containerschip (L = 288 m, B = 33 m) met een diepgang van 13,00 m (42'8") moet in 1 getij kunnen afvaren vanuit Zandvliet. Het getijvenster is 1 uur per getij.
4. een containerschip (L = 288 m, B = 33 m) met een diepgang van 12,50 m (41') moet in 1 getij kunnen afvaren vanuit Zandvliet. Het getijvenster is per getij 3 uur.
5. massagoedschepen van het type Panamax (L = 260 m, B = 32 m) met een diepgang van 12,50 m (41') moeten in 1 getij kunnen afvaren vanuit Zandvliet. Het getijvenster is 1 uur per getij.
6. een (leeg, geballast of gedeeltelijk geladen) massagoedschip (260 m < L ≤ 300 m, 32 m < B ≤ 50 m) afvarend vanuit Zandvliet is niet gebonden aan een getij en heeft een maximale diepgang van 10,67 m (35').
7. vrachtschepen (L = 190 m, B = 24 m) en containerschepen (L = 288 m, B = 33 m) met een diepgang van <11,58 m (38') zijn niet van het getij afhankelijk. Dat geldt ook voor opvarende massagoedschepen (L = 300 m, B = 50 m) en afvarende massagoedschepen van het Panamax type, met een diepgang <11,58 m (38').

^{*} het getijvenster is uitgedrukt in uren per dubbeldaagsgetij van ca. 12,5 u

Voor de uitvoering van de studie zijn betreffende de vaart met de overige tijgebonden schepen de volgende aannamen gedaan:

8. schepen met een diepgang tussen 11,58 m en 14,64 m moeten in 1 getij kunnen opvaren naar Zandvliet. Het getijvenster is, afhankelijk van de beschikbare waterdiepte, tenminste 1 uur. Containerschepen ($L \leq 288$ m, $B \leq 33$ m) en vracht- en massagoedschepen ($L \leq 260$, $B \leq 33$ m) met een diepgang tussen 11,58 m en 12,5 m moeten in 1 getij kunnen afvaren vanaf Zandvliet. Het getijvenster is, afhankelijk van de beschikbare waterdiepte, tenminste 1 uur.

De vaarschema's van de getijgebonden schepen zijn in nota S 80.20.01 [1] gerapporteerd. Met het effect van de stroomsnelheden op de vaarsnelheid is daarbij rekening gehouden. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van deze vaarschema's.

De Westerschelde is naast een drukke zeevaartweg ook een vaarwater waarvan door de binnenvaart frekvent gebruik gemaakt wordt. De binnenvaart kruist het hoofdvaarwater op enkele plaatsen, vooral nabij Terneuzen en Hansweert. Door de aanwezigheid van de verkeersposten aldaar wordt het verkeer zoveel mogelijk in goede banen geleid. De diepgang van de binnenvaart is maximaal ca. 4 m, zodat de binnenvaart op het hoofdvaarwater niet getijgebonden is. Het breedtebeslag van vooral de grotere binnenvaart kan echter aanzienlijk zijn. De in de toekomst, nadat de verbetering van het kanaal door Zuid-Beveland gereed gekomen is, steeds meer voorkomende 4-baks duweenheden hebben afmetingen ($L = 185 - 193$ m, $B = 22,80$ m) die afgezien van de diepgang nagenoeg overeenkomen met de afmetingen van de grootste, niet getijgebonden vrachtschepen ($L = 190$ m, $B = 24$ m).

Bij de analyses betreffende de verkeerssituaties zullen 4-baks duwstellen, 2-baks duweenheden in brede formatie of schepen met een dergelijke breedte meegenomen worden als niet getijgebonden vaart. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat deze schepen door hun geringere diepgang dichter bij de tonnenlijn kunnen varen dan de (maatgevende) zeevaart. Maar ook de binnenvaart zal om veiligheidsredenen als regel vermijden om buiten het betonde vaarwater te varen.

3.2 De vaarweg

Voor de verbetering van de maritieme toegangsweg naar Antwerpen is een in de toekomst te onderhouden vaargeulbreedte voorgesteld.

Deze is als volgt gedefinieerd (zie ook bijlage 1 in [1] en figuur 1):

- a. stroomafwaarts van Hansweert (Overloop van Hansweert, Pas van Terneuzen, Honte, Wielingen en Scheur, met uitzondering van de drempel van Borsselle) zou een vaargeul met een bodembreedte onderhouden worden, die voldoende zou moeten zijn voor vlot en veilig tweestroomverkeer van de maatgevende schepen. Uitgegaan wordt van een breedte van 500 m. De gegarandeerde kielspeling is ten westen van Vlissingen 20%^{*} van de diepgang, tussen Vlissingen en Hansweert is dit 15%.
- b. Nabij de drempel van Borsselle is een vaargeulbreedte van 300 m voorgesteld.
- c. Bovenstrooms van Hansweert zou een vaargeul met een bodembreedte onderhouden worden, die toereikend moet zijn om enkelstroomverkeer met de maatgevende ontwerpschepen toe te laten. De kielspeling is hier tenminste 15% van de diepgang, behalve bij de drempel van Zandvliet waar wordt volstaan met een kielspeling van 10%. Uitgegaan wordt van een bodembreedte van 300 m.

De afmetingen van de te onderhouden vaargeulen werden door de bij de verdieping betrokken partijen voorshands voldoende geacht voor een veilige verkeersafwikkeling bij de gekozen maatgevende verkeerssituaties. Op basis van nader onderzoek zal in dit rapport worden nagegaan of deze breedte inderdaad voldoende is voor een veilige en vlotte afwikkeling van het scheepvaartverkeer. Indien dat niet overal onder alle omstandigheden het geval is, zal worden aangegeven welke infrastrukturele ingrepen of operationele maatregelen nodig zijn om de veiligheid en vlotheid van de verkeersafwikkeling te verzekeren.

De bodemconfiguratie van de Westerschelde is onder invloed van de getij-beweging continu onderhevig aan veranderingen. In dit rapport worden lodingen uit 1980 en 1981 als uitgangspunt genomen. Daarnaast is gebruik gemaakt van een prognose voor de bodemconfiguratie in 1985. Deze is gebaseerd op lodingen uit 1976. De bodemconfiguraties uit 1980 en 1985 zijn op enkele karakteristieke punten (de ligging van de vaargeulas en enkele dieptelijnen) met elkaar vergeleken. Er blijken duidelijke verschillen tussen de bodemconfiguraties te zijn. Met name tussen Bath en Hansweert

^{*} Eventueel terug te brengen tot 17,5%, zie [2].

wordt een verbreding en verdieping van de vaargeul verwacht.

Figuur 3, ontleend aan [3], geeft een overzicht van de ontwikkeling van de hoogteligging van de drempels in de Westerschelde in de periode van 1972 tot 1981. Afgezien van het Middellgat, dat sinds enige tijd geen hoofdvaarwater meer is, is de tendens dat in de laatste jaren de waterdiepte boven de drempels, mede als gevolg van baggerwerk toe neemt.

Het blijkt, dat er thans op de meeste plaatsen van nature al grotere breedten en diepten beschikbaar zijn dan in principe onderhouden zullen worden. Deze gegevens zijn in de figuren 4 en 5 sterk geschematiseerd (d.w.z. gebaseerd op gegevens per kilometer-vaarweg) weergegeven. Enige karakteristieke kenmerken van bochten in de vaarweg zoals bijvoorbeeld bochtstraal en koersverandering zijn in figuur 1 gepresenteerd.

Het stroombeeld op de Westerschelde is sterk afhankelijk van de getijbeweging en van de bodemconfiguratie, die zelf ook door de getijbeweging beïnvloed wordt. Met het effect van de langsstromen op de vaarschema's van de getijgebonden schepen is in rapport S 80.20.01 [1] rekening gehouden. Daarnaast zijn de langsstromen van invloed op de grootte van het breedtebeslag van de schepen op de beschikbare vaargeul. Met name beïnvloedt de stroomrichting van het water de bestuurbaarheid van het schip. Bij een gelijkblijvende snelheid t.o.v. de grond is de bestuurbaarheid in geval van stroom tegen veelal beter dan bij stroom mee, waardoor het benodigde breedtebeslag af- resp. toeneemt. Omdat de stroomsnelheden relatief klein zijn t.o.v. de scheepssnelheid mag worden aangenomen dat dit effect gering is. Alleen bij de in een later stadium uit te voeren manoeuvreersimulaties zal nagegaan worden of deze variabele een belangrijk effect op de vaarstrookbreedte heeft (zie hoofdstuk 8).

In tabel 2 wordt een samenvatting gegeven van de dwarsstroomsnelheden die de getijgebonden schepen bij de voorgestelde vaarschema's op de relevante plaatsen op de Westerschelde ondervinden. De plaatsen waar dwarsstromen optreden zijn ook aangegeven in figuur 4. Deze gegevens van het stroombeeld zijn ontleend aan de stroomatlas van de Westerschelde, 1976 en 1981 [4]. Hoe snel de stroomsnelheden kunnen veranderen blijkt uit de situatie bij bijvoorbeeld de Zimmermangeul in de bocht bij Bath. Volgens [5] varieerde de maximaal optredende dwarsstroom voor de getijgebonden vaart van 3 m/s in 1963 tot 1,5 m/s in 1980 in dezelfde fase van het getij. Een ander voorbeeld is de drempel van Borssele, waar de dwarsstroomsnel-

heden de laatste jaren sterk zijn toegenomen. De resultaten van een (recente) stroomsnelheidsmeting aldaar door de Adviesdienst Vlissingen zijn samengevat in figuur 6.

In de toekomst zullen wellicht enkele belangrijke wijzigingen aan de vaargeul en direkte omgeving worden aangebracht. In hoofdstuk 11 wordt kort ingegaan op de nautische gevolgen van deze projekten, behalve op die van de mogelijk te konstrueren stormvloedkering in de Schelde nabij Antwerpen.

3.3 Overige aspecten

Op diverse plaatsen op de Westerschelde dient rekening te worden gehouden met overslag-activiteiten, anker- en noodankergebieden. In geval van overslag van lading en bij kalamiteiten kunnen de betrokken schepen zich daar thans veilig buiten de vaargeul ophouden, zonder de afwikkeling van het overige scheepvaartverkeer te hinderen. Voor de in de toekomst te verwachten 14,64 m (48') en 15,25 m (50') diepstekende schepen is vrijwel nergens voldoende ruimte ter beschikking om veilig een getij over te blijven liggen. Op dit aspect zal in nota S 80.20.4 [6] nader ingegaan worden.

4. ONTWERPREGELS OP BASIS VAN INFORMATIE UIT DE LITERATUUR

4.1 Inleiding

Het uitgangspunt van deze studie is dat het scheepvaartverkeer op de verruimde Westerschelde veilig en vlot moet worden afgewikkeld.

In de literatuur worden verschillende regels gepresenteerd, die bij het ontwerp van vaarwegen toegepast zijn. Hieruit zijn ontwerp-regels voor de Westerschelde afgeleid, waaraan de mogelijke verkeers-situaties getoetst kunnen worden. Op deze wijze kan vastgesteld worden waar de voorkomende verkeerssituaties, gezien de te onderhouden of beschikbare vaarwegafmetingen, nog acceptabel zijn en waar wellicht knelpunten in de afwikkeling van het scheepvaartverkeer optreden.

Uitdrukkelijk moet gesteld worden dat de ontwerpregels voor de vaart op de Westerschelde gebaseerd zijn op een veilige interpretatie van een aantal literatuurgegevens. Verder hebben deze regels alleen betrekking op min of meer konventionele scheepstypen (massagoedschepen, vrachtschepen) met een normale kielspeling. Dit kan tot gevolg hebben dat sommige verkeerssituaties, die volgens de ontwerpregels niet toelaatbaar zijn, in werkelijkheid bij "goed vakmanschap" nog voldoende veilig kunnen worden afgewikkeld. Waar vermoed wordt dat dat het geval is en waar toepassing van de ontwerpregels tot problemen voor de afwikkeling van het scheepvaartverkeer leidt, zal nader onderzoek verricht worden. Hetzelfde geldt voor de condities die op grond van de ontwerpregels marginaal veilig zijn en waarbij schepen betrokken zijn waarvan onvoldoende bekend is van het vaargedrag, met name bij een geringe kielspeling. Dit geldt vooral voor containerschepen en andere slanke schepen, zoals LPG-schepen.

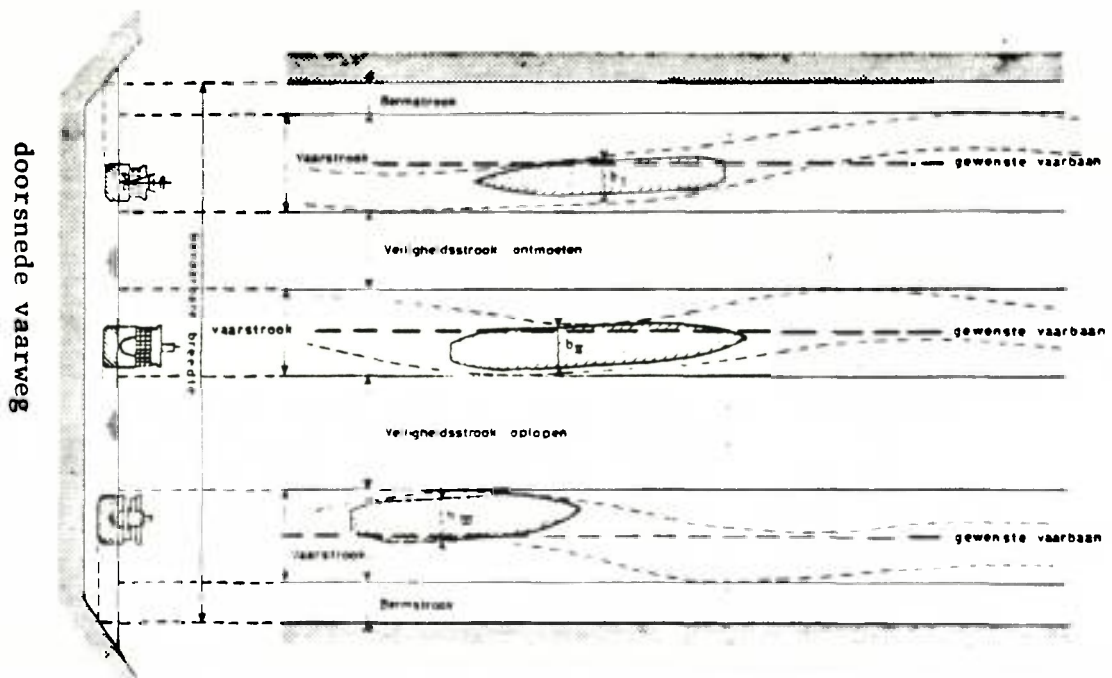
4.2 Ontwerpregels voor de breedte van kanalen en vaargeulen

4.2.1 Indeling van de vaarweg

Een vaarweg kan in een aantal stroken verdeeld worden. Deze hebben

elk een afzonderlijke functie in de afwikkeling in het scheepvaartverkeer. De volgende definities worden hier aangehouden (zie ook de onderstaande figuur):

- a. De padbreedte is het breedtebeslag van een enkel schip dat een gewenste baan volgt.
- b. De vaarstrook is de afstand tussen twee lijnen evenwijdig aan de gewenste vaarbaan. Deze lijnen vormen de omhullende van de padbreedtes van diverse schepen die dezelfde gewenste baan volgen.
- c. De bermstrook is de benodigde ruimte tussen de vaarstrook en de (al dan niet, bijvoorbeeld door tonnen) gemarkeerde rand van de vaargeul.
- d. De veiligheidsstrook wordt gedefinieerd als de benodigde ruimte tussen de vaarstroken van elkaar oplopende of ontmoetende schepen.



GESCHEMATISEERDE INDELING VAN DE VAARWEG

- e. Toeslagen op de vaarstroken zijn nodig voor bijzondere omstandigheden, zoals bij bochten en dwarsstroom het geval is. In deze gevallen zullen de schepen een groter beslag op de beschikbare breedte van de vaargeul leggen dan zonder deze complicaties voor de navigatie het geval is.
- f. De bevaarbare breedte van de vaargeul wordt gedefinieerd als de som van de bovengenoemde stroken en toeslagen.

De breedte van elke strook of combinatie van stroken wordt gerelateerd aan de afmetingen van de ter plaatse maatgevende schepen.

In de navolgende paragrafen zal de breedte van de diverse stroken bepaald worden op basis van een analyse van in de literatuur gepresenteerde gegevens.

4.2.2 De vaarstrook

De breedte van de vaarstrook is onder andere afhankelijk van de koers- en positie-informatie die tijdens de vaart beschikbaar is en van de bestuurbaarheid van de betreffende schepen. Naarmate de koers- en positie-informatie minder nauwkeurig is, zal de vaarstrookbreedte groter zijn. In deze paragraaf wordt uitgegaan van situaties, waarin het uitzicht niet beperkt wordt door mist of slecht zicht, en waarin de gebruikelijke navigatie-hulpmiddelen op de brug van het schip aanwezig zijn. De bestuurbaarheid hangt, behalve van de karakteristieke eigenschappen van het betreffende schip, in belangrijke mate af van diverse externe factoren, zoals de waterdiepte(h) - diepgang(T) verhouding, het stroombeeld, enz.

Een grotere scheepvaartintensiteit zal het attentieniveau van de navigator vergroten, waardoor de benodigde vaarstrookbreedte in geringe mate verkleind zal worden. Neemt echter de verkeersintensiteit toe tot boven een zekere grenswaarde, dan wordt het verkeersbeeld zo complex dat in de praktijk de benodigde vaarstrookbreedte weer toe zal gaan nemen. In deze studie zal echter steeds één waarde voor de benodigde vaarstrookbreedte gegeven worden.

Het is zinvol om de benodigde vaarstrookbreedte voor de verschillende typen maatgevende schepen, afhankelijk van hun afmetingen, afzonderlijk vast te stellen. Voor bijzondere gevallen, zoals bochten, dwarsstroom en windhinder, dienen toeslagen op deze vaarstroken in rekening gebracht te worden. Hierop zal in paragraaf 4.2.5 teruggekomen worden.

De vereiste breedte van de vaarstrook in rivieren en kanalen wordt in het algemeen gerelateerd aan de breedte van het maatgevende schip (B). De onderstaande gegevens hebben betrekking op de vereiste vaarstrookbreedte (B_v) in kanalen.

Voor het onderzoek betreffende het Panamakanaal [7] wordt de benodigde vaarstrookbreedte gerelateerd aan de manoeuvreerbaarheid van de verschillende typen schepen:

$B_v = 1,6 B$: voor goed sturende schepen

$B_v = 1,8 B$: voor schepen met normale stuuereigenschappen
(massagoedschepen enz.)

$B_v = 2,0 B$: voor schepen met slechte stuuereigenschappen
(sleepschepen enz.)

Balanin [8] geeft de in Rusland gebruikelijke ontwerpeisen voor vaarstroken in kanalen en vaarwegen. Afhankelijk van het type en de manoeuvreerbaarheid van het schip en de vaarweg varieert de breedte van de vaarstrook tussen de $1,8 B$ en $3,0 B$.

Voor een prismatisch kanaal gaat Kray [9] uit van een vaarstrookbreedte van $1,6 B - 1,8 B$ (enkelstrooks verkeer).

Voor vaargeulen op zee en in estuaria dienen grotere breedtes voor de vaarstroken in rekening te worden gebracht. Deze vaargeulen zijn moeilijker bevaarbaar dan de kanalen, omdat de oriëntatiemogelijkheden (oeverlijn, walkenmerken) geringer zijn en de invloed van het stroombeeld groter is. In de literatuur zijn hierover weinig algemene ontwerpgegevens bekend. De vaargeul naar Antwerpen in de Westerschelde kan beschouwd worden als een vaargeul waarvoor een ruimere vaarstrookbreedte in rekening gebracht moet worden dan bij kanalen.

De manoeuvreerbaarheid van schepen neemt af met afnemende kielspeling. Het gaat bij deze afname met name om de mogelijkheden om

het schip van koers te laten veranderen (geringe koershoek-snelheid en -versnelling). In het algemeen kan gesteld worden dat bij een waterdiepte/diepgangsverhouding (h/T) van meer dan 1,5 het effect van een beperking van de waterdiepte op de manoeuvreerbaarheid gering is. Bij h/T -verhoudingen kleiner dan 1,3 loopt de manoeuvreerbaarheid van verschillende typen schepen echter zo sterk terug, dat deze in het algemeen als minder goed manoeuvreerbaar gekwalificeerd moeten worden.

Massagoedschepen zijn ook bij geringere waterdiepten relatief goed manoeuvreerbaar. Bij een h/T -verhouding van minder dan 1,3 wordt mede gezien het bovenstaande een grotere vaarstrookbreedte in rekening gebracht dan bij grote h/T -verhoudingen.

Containerschepen en daarmee vergelijkbare typen schepen zijn vaak zeer gevoelig voor de waterdiepte in verhouding tot de diepgang. Hier wordt de invloed van de beperking van de waterdiepte bij een h/T -verhouding van 1,5 al duidelijk merkbaar. Bij een waterdiepte-diepgangsverhouding van minder dan 1,3 neemt deze nog verder af. Onder die omstandigheden moet bijvoorbeeld een TRIO-container-schip (met 2 schroeven en 1 roer) als een relatief minder goed manoeuvreerbaar schip worden gekwalificeerd.

De niet-getijgebonden vrachtschepen zijn van velerlei typen en afmetingen. Het is bijgevolg niet goed mogelijk om te stellen in hoeverre deze schepen al dan niet goed manoeuvreerbaar zijn. Een relatief ongunstige aanname als bij de containerschepen, met betrekking tot de afnemende manoeuvreerbaarheid bij lage h/T -verhoudingen gedaan is, wordt onder deze omstandigheden voor dit type schepen aanvaardbaar geacht.

Afhankelijk van het type schip en de waterdiepte worden voorlopig de volgende ontwerpregels voor de berekening van de vaarstrookbreedte aangehouden:

	$h/T < 1,3$	$1,3 < h/T < 1,5$	$h/T > 1,5$
massagoedschip	$B_v = 2,5 B$	$B_v = 1,8 B$	$B_v = 1,8 B$
containerschip	$B_v = 3 B$	$B_v = 2,5 B$	$B_v = 1,8 B$
niet-getijgebonden vrachtschip (L=190 m; B=24 m)	$B_v = 3 B$	$B_v = 2,5 B$	$B_v = 1,8 B$

4.2.3 De bermstrook

De breedte van de bermstrook is in hoofdzaak afhankelijk van de waterbeweging rond het schip en de wijze waarop de oeverlijn gemarkeerd is. Schepen, die naast de as van de vaargeul varen, worden ten gevolge van de opgewekte waterbeweging naar de oever gezogen. Deze zuiging neemt toe naarmate het schip verder naast de as van de vaargeul gaat varen en als de afstand tot de oever afneemt. Verder is deze zuiging afhankelijk van de vorm van het talud. Daarom moet er een zekere minimum afstand tussen het schip en de wal worden aangehouden, teneinde te voorkomen dat het schip bij een te late reactie of bij een kalamiteit aan de grond loopt.

In vaargeulen op zee en in estuaria is deze oeverzuiging geringer. Hier ontbreekt echter een continue visuele markering van de rand van de vaargeul. Verder liggen de boeien op de Westerschelde voor de maatgevende diepstekende schepen ver buiten de vaarwegbegrenzing.

Het attentieniveau waarmee de navigatie uitgevoerd wordt, speelt een rol van betekenis. In het algemeen zal bij drukkere vaarwegen met gekompliceerde verkeerssituaties een geringere bermstrook geaccepteerd worden, dan op "rustiger" vaarwegen aanvaardbaar wordt geacht. Hieruit kan afgeleid worden dat bij enkelstrooksverkeer de bermstrook in het algemeen groter zal zijn dan bij twee- of meerstrooks verkeer.

Evenals de vaarstrookbreedte wordt ook de breedte van de bermstrook gerelateerd aan de breedte B van het betreffende schip in de te onderzoeken situatie.

Afhankelijk van de vormgeving van de oever en het type schip wordt in het Panamakanaal [7] een bermstrook met een breedte van 0,6 B tot 1,5 B aangehouden.

In de PIANC^{*}-aanbevelingen [10] en [11] wordt gesteld dat de afstand tot de oever tenminste 0,5 B moet bedragen.

In de door Balanin [8] gepresenteerde gegevens wordt uitgegaan van een bermstrook van circa 1,5 B.

*PIANC: Permanent International Association of Navigation Congresses

Voor de bepaling van de vereiste vaargeulbreedte van de toelaatbare verkeerssituaties met maatgevende schepen op de Westerschelde zullen bermstrookbreedtes van ca. 1 B aangehouden worden.

4.2.4 De veiligheidsstrook

Bij oplopen of ontmoeten zullen de betrokken schepen onder alle omstandigheden proberen voldoende afstand van elkaar te houden om aanvaringen te voorkomen. De kleinste acceptabele afstand tussen de vaarstroken van de betrokken schepen wordt de veiligheidsstrook genoemd.

Bij een ontmoeting zal de stroomsnelheid tussen de schepen sterk toenemen, waardoor de schepen naar elkaar toegezogen worden. Naarmate de onderlinge afstand kleiner is, zullen de zuigingskrachten toenemen.

Bij een oplooptoegang zijn de krachten die de schepen op elkaar uitoefenen kleiner dan bij een ontmoeting. De duur van de oplooptoegang is echter veel groter. Dit geldt ook voor het effect op de scheepsbewegingen (bij gelijke onderlinge dwarsafstand). Het gevolg hiervan is dat de breedte van de veiligheidsstrook die bij oplopen aangehouden dient te worden groter is dan bij ontmoeten.

Aan de literatuur zijn de volgende gegevens betreffende ontmoeten ontleend:

De PIANC-aanbevelingen [10] gaan er van uit dat de afstand tussen twee schepen tenminste gelijk moet zijn aan de breedte van het breedste schip in de verkeerssituatie. Guliev en Vorbev komen in [12] tot hetzelfde resultaat, evenals Balanin in [8].

In de literatuur worden weinig gegevens omtrent de breedte van veiligheidsstroken bij elkaar oplopende zeeschepen gepresenteerd. [13] geeft informatie over het vaargedrag van (geladen) 200.000 DWT en 425.000 DWT massagoedschepen die elkaar in de 600 m brede vaargeul naar de haven van Rotterdam oplopen. Uit de gepresenteerde gegevens (zonder dwarsstroom) is af te leiden dat de gemiddelde afstand bij veilige oplooptoegangs ca. 2,5 B bedraagt, terwijl

de maximale afstand tijdens de uitgevoerde simulaties ca. 3,5 B is.

Verder is enige informatie over de benodigde breedte van de veiligheidsstroken bij oplopen in de binnenvaart beschikbaar. Bij het Maas-Waalkanaal [14] wordt uitgegaan van een veiligheidsstrook met een breedte van $1,5 \bar{B} - 3 \bar{B}$. In [15] wordt als kleinste afstand tussen oplopende schepen een waarde van $2 \bar{B} - 3 \bar{B}$ aangehouden.

Voor de Westerschelde zullen op basis van bovenstaande samenvatting van de literatuur, de volgende ontwerpregels gehanteerd worden:

1. de breedte van de veiligheidsstrook bij ontmoeten wordt gelijk gesteld aan $1,5 \bar{B}$,
2. de breedte van de veiligheidsstrook bij oplopen wordt gesteld op $3 \bar{B}$.

In beide gevallen wordt voor \bar{B} het gemiddelde van de breedte van de beide in de verkeerssituatie betrokken schepen genomen.

4.2.5 Toeslagen op de vaarstrook

De in paragraaf 4.2.2 genoemde minimale breedte van de vaarstrook geldt voor rechte vaarwegvakken, waar zowel stroom- als windhinder te verwaarlozen zijn. Deze vaarstrookbreedte moet in voorkomende gevallen vergroot worden in verband met:

1. Bochten. Hier zullen de schepen onder een drifthoek varen en dienengevolge een groter beslag op de breedte van de vaargeul leggen dan op een recht traject. Daarnaast moet in krappe en ondiepe bochten vaak zoveel roer gegeven worden, dat correcties t.g.v. een te vroeg of te laat ingezette bocht niet of nauwelijks mogelijk zijn.
2. Dwarsstromen. Die zijn er de oorzaak van dat schepen ten opzichte van de as van de vaargeul weggezet kunnen worden en dat zij een grotere drifthoek hebben dan op een traject zonder dwarsstromen het geval is. Vooral in estuaria met getijstromen, zoals bij de eb- en vloedstroom in de Westerschelde, kunnen deze effecten een rol van betekenis spelen.

3. Wind. Met name schepen met een hoge opbouw (bijvoorbeeld lege schepen, autoschepen, containerschepen, enz.) kunnen veel hinder van (vooral dwars)wind ondervinden. Het groter oppervlak van het schip boven de waterlijn t.o.v. het onderwaterschip is hiervan de oorzaak.

In het volgende zal een beknopte samenvatting van literatuurgegevens over deze verschijnselen gepresenteerd worden.

Bochten

In bochten leggen de schepen t.g.v. de drifthoek een groter beslag op de beschikbare breedte dan het geval is op een recht vaarwegvak. Meestal wordt dit extra breedtebeslag (V_{BB}) gerelateerd aan de lengte (L) van het betrokken schip en aan de bochtstraal (R).

De PIANC-aanbeveling ([10] en [11]) luidt, dat de vaarstrook in bochten vergroot moet worden met een waarde gelijk aan $V_{BB} = \frac{L^2}{8R}$ (4-1) Ammar geeft in [16] verschillende formules. De benodigde overbreedte kan volgens hem als volgt weergegeven worden:

$$V_{BB} = 4 \left[R - \sqrt{R^2 - \frac{L^2}{4}} \right] \quad (4-2)$$

$$\text{of } V_{BB} = \frac{L^2}{2R} \quad (4-3)$$

$$\text{of } V_{BB} = \sqrt{R^2 + (2L)^2} - R \quad (4-4)$$

Voor het ontwerp van het Kielerkanaal [7] is uitgegaan van de formule

$$V_{BB} = 85 - \frac{R}{100} \quad (4-5)$$

Figuur 7 geeft een samenvatting van de met de verschillende formules berekende overbreedte voor een massagoedschip. Voor deze studie zal voorlopig formule (4-3) aangehouden worden. In tabel 3 wordt aangegeven welke de benodigde extra vaarstrook is voor de verschillende typen maatgevende schepen in de bochten op de Westerschelde.

Hieruit volgt:

- a. in de huidige bocht van Bath ($R = \text{ca. } 1500 \text{ m}$) dient de overbreedte voor de grootste schepen ca. 30 m te bedragen. Aangehouden wordt 0,8 B voor derde generatie containerschepen en 0,6 B voor andere grote schepen.
- b. in de overige bochten met een grotere bochtstraal (met $R = 2000 - 3000 \text{ m}$ zoals bij Hansweert, Walsoorden, Valkenisse en Saeftinge) kan voor de grootste schepen volstaan worden met een overbreedte van 15 à 25 m. Aangehouden wordt 0,6 B voor derde generatie containerschepen en 0,5 B voor andere grote schepen.

Dwarsstroom

De grootte van de dwarsstroom op de Westerschelde is geen vast gegeven wegens de zich onder invloed van het getij in de loop der jaren wijzigende morfologie. Als voorbeeld kan de Zimmermangeul genoemd worden waar rond 1976 zeer hoge stroomsnelheden loodrecht op de vaargeul voorkwamen [4]. Op dit moment zijn de stroomsnelheden afgenomen door veranderingen in de bodemconfiguratie [5].

Zonder meer gedetailleerd onderzoek is het niet mogelijk om exakt aan te geven hoeveel het extra breedtebeslag van de diverse maatgevende scheepstypen bij de verschillende getijomstandigheden zal zijn. Globaal is echter wel te stellen dat de grootte van het extra breedtebeslag in een homogene dwarsstroom geheel afhankelijk is van de drifthoek (β) van het schip. De gemiddelde drifthoek is onder die omstandigheden alleen afhankelijk van de resulterende snelheid van het schip V_s en de dwarsstroomsnelheid V_d , waarin $\text{tg}\beta = \frac{v_d}{V_s}$ (zie ook figuur 8). De grootte van het extra breedtebeslag voor enkelstrooksverkeer kan volgens de PIANC-aanbevelingen [10] gesteld worden op: $V_{BD} = L \sin \beta$ (N.B. op blz. 90 van [10], paragraaf 4.c is kennelijk de zinsnede dat de daar gegeven formule voor de overbreedte betrekking heeft op de halve vaarstrookbreedte weggevalen. Zie verder ook blz. 101 van [10], onder aan linkerkolom en bovenaan rechterkolom!).

Voor enkele maatgevende scheepstypen is in figuur 8 bepaald welke extra breedte als functie van de dwarsstroomsnelheid benodigd is.

Kondities met een nagenoeg homogene dwarsstroom komen in de aanlooproutes van diverse havens voor. In de literatuur worden enkele gegevens over het extra breedtebeslag van schepen t.g.v. dergelijke dwarsstromen genoemd. Iijima en Honda geven in [17] een theoretische benadering voor de benodigde extra breedte van een vaargeul t.g.v. dwarsstromen. Zij relateren deze maat aan de drifthoek van het schip. Deze laatste is weer afhankelijk van de verhouding tussen de dwarsstroomsnelheid en de snelheid van het betrokken schip.

Het PIANC bulletin [10] geeft meer praktische informatie. Evenals bij Iijima en Honda wordt de drifthoek van het schip (β) gerelateerd aan de snelheid van de dwarsstroom (V_d) en de resulterende scheepssnelheid (V_s): $\text{tg } \beta = \frac{V_d}{V_s}$. Om een goede afwikkeling van het scheepvaartverkeer te verkrijgen dient, waar mogelijk, de drifthoek tot ca. 15° beperkt te blijven ($\text{tg } \beta = 0,25$). Het extra breedtebeslag kan dan bepaald worden met de relatie $V_{db} = L \sin \beta$, die reeds in het voorgaande genoemd werd. Dit komt ongeveer neer op 1,5 - 2B (massagoed-schip) of 2 - 3B (containerschip).

In de voornoemde PIANC-aanbevelingen [10] wordt gesteld dat een normale vaargeul tenminste 5 maal de breedte B van het maatgevende schip dient te zijn. Zijn er echter relatief grote dwarsstromen te verwachten, dan wordt een vaargeulbreedte van tenminste 7B aanbevolen. De voor de dwarsstroom noodzakelijk geachte overbreedte heeft in deze gevallen dan een waarde van 2 maal de breedte van het maatgevende schip.

Opgemerkt dient te worden dat deze gegevens slechts geldig zijn voor doorgaande vaart in een homogeen dwarsstroomveld zonder gradiënten in de stroomsnelheid. Bij het kruisen van stroomgeulen en het in- en uitvaren van havens zullen in het dwarsstroomveld gradiënten aanwezig zijn. De genoemde toelagen kunnen dan in principe niet zondermeer toegepast worden.

Samenvattend kan gesteld worden dat de noodzakelijke overbreedte in verband met het zich steeds wijzigende stroombeeld op de Westerschelde niet eenduidig te bepalen is. Gezien de in tabel 2 gemaakte inventarisatie van de optredende stroomsnelheden loodrecht op de vaar-

geul, de snelheidsinformatie uit de vaarschema's en de in figuur 7 gepresenteerde overbreedtes wordt het volgende voorgesteld:

1. op plaatsen waar hoge dwarsstroomsnelheden (1 - 2 m/s) op kunnen treden, wordt met een extra breedtebeslag van ca. 2 B rekening gehouden;
2. op plaatsen waar dwarsstroomsnelheden van 0,5 tot 1 m/s op kunnen treden, wordt een extra breedtebeslag van 1 B in rekening gebracht;
3. Bovenstrooms van de overloop van Valkenisse moet i.v.m. de lage snelheid van de schepen (vastmaken sleepboten) rekening gehouden worden met een groter breedtebeslag. Dit ligt in de orde van grootte van tweemaal de onder 1 en 2 genoemde waarden.

Windeffekten

In de literatuur wordt gesteld dat de effecten van wind op de scheepvaart aanzienlijk kunnen zijn. Alleen Iijima en Honda [17] geven een eenvoudige praktijkformule die het effect van de dwarswind kwantificeert. Zij rekenen dit om naar een driftsnelheid van het schip: $V_{dr} = 0,041 \times v_A \sqrt{\frac{B_A}{B_W}}$, waarbij B_A en B_W de oppervlakte loodrecht op de windrichting boven resp. onder het wateroppervlak zijn; v_A is de windsnelheid en V_{dr} de driftsnelheid van het schip in die richting.

Met $\text{tg } \beta = \frac{V_{dr}}{v_s}$ kan hiermee het extra breedtebeslag ($\approx L \sin \beta$) worden berekend. Voor een derde-generatie containerschip met 3 lagen containers op het bovendek leidt dat bij een windsterkte van 7 à 8 Bft tot een extra breedtebeslag van ongeveer 1,5B op de Westerschelde (vaarsnelheid ca. 12 kn) en van ongeveer 1,0B in het Scheur en Wielingen (vaarsnelheid ca. 16 kn). Lege massagoedschepen hebben een wat kleiner breedtebeslag, ondermeer door hun lagere snelheid. Het extra breedtebeslag van de geladen massagoedschepen t.g.v. wind is veel lager (orde $\leq 0,5 B$ bij 7 à 8 Bft).

4.2.6 De totale vaargeulbreedte

Onder de vaargeul wordt de totale voor de scheepvaart beschikbare breedte van de vaarweg verstaan. Hiervoor wordt meestal

de breedte van de vaarweg ter hoogte van het kielvlak van de maatgevende schepen aangehouden.

Diverse auteurs geven geen specificatie van de benodigde breedte voor de afzonderlijke stroken, maar volstaan met het noemen van de totale benodigde breedte van de vaargeul, al dan niet gerelateerd aan de afmetingen van de maatgevende scheepstypen.

De PIANC-aanbevelingen [10] en [11] stellen een enkelstrooks vaarweg voor met een breedte van tenminste 5 maal de breedte van het maatgevende schip. Indien er echter sterke dwarsstromen te verwachten zijn, wordt aangeraden om een breedte van 7 maal de breedte van het maatgevende schip aan te nemen (zie ook par. 4.2.5.). Een belangrijk aspect kan zijn de "plaatsvastheid" van de vaarwegmarkering. Boeien kunnen, afhankelijk van hun kettlinglengte en het verticale getij, soms aanzienlijke verplaatsingen ondergaan o.i.v. stroom, wind en golven. Wanneer de navigatoren van schepen voor hun oriëntatie voornamelijk afhankelijk zijn van de waarneming van boeien moet daarmee terdege rekening worden gehouden. De op basis van de eerder behandelde strookbreedtes en toelagen bepaalde breedte van de vaargeul moet dan volgens de PIANC-aanbevelingen [11] worden vermeerderd met de maximale beweging die de boeien loodrecht op de vaarrichting kunnen ondergaan. Die aanbeveling zal in dit rapport ook worden gevolgd.

In de literatuur worden diverse voorbeelden van toegangsheuln naar havens gegeven. De breedte van de toegangsheul naar de haven van Rotterdam neemt af van 1200 m (of 23 B) in de Eurogeul tot ca. 400 m (7,7 B) in de ingang van de haven [10]. Op de Rotterdamsche Waterweg, die als een kanaal, voorzien van moderne navigatiehulpmiddelen, gezien kan worden, komt de vaargeulbreedte overeen met 4 B, waarbij zelfs bepaalde vormen van tweestrooksverkeer toelaatbaar geacht worden. Het maatgevende schip heeft een laadvermogen van 275.000 DWT.

In de toegangsheul naar Antifer [10], waar dwarsstroomsnelheden tot 2 m/s optreden, blijkt een vaargeulbreedte van 550 m (8 B voor de maatgevende schepen) voldoende voor een veilige en vlotte afwikkeling van het verkeer te zijn. Het maatgevende schip heeft een laadvermogen van 500.000 DWT.

Voor de toegangsheuln naar de havens van Bordeaux-Le Verdon en Duinkerken West [10] worden vaargeulbreedtes van 6 B tot 10 B aangehouden,

afhankelijk van de optredende dwarsstroomsnelheden. Het maatgevende schip heeft een laadvermogen van 215.000 DWT.

Het Noordzeekanaal [18] is gedimensioneerd op een breedte van 4,4 B. Hierbij wordt rekening gehouden met een ontmoeting van een geladen en een ongeladen maatgevend schip (laadvermogen 70.000 DWT). In [19] geeft Sukselainen informatie over diverse vaarwegen in Finland. De breedte van de vaargeulen is afhankelijk van o.a. de plaats en de vormgeving van de vaargeul. De minimale vaargeulbreedte bedraagt ca. 4 B, terwijl deze breedte onder normale omstandigheden gemiddeld 12 B bedraagt. Is de beschikbare vaarwegbreedte meer dan 20 B, dan wordt dit als een onbeperkt brede vaarweg beschouwd. De toegangseul van de haven van Göteborg [20] heeft een breedte van 5 B tot 6B, waarin nog een aantal bochten aanwezig zijn. De vaarsnelheid is overigens laag.

Naast de genoemde vaargeulen zijn er nog een groot aantal andere toegangseulen naar havens. Deze hebben elk weer hun eigen kenmerken wat betreft stroombeeld en bodemconfiguratie, zodat er verschillen in vaargeulbreedte aanwezig zijn.

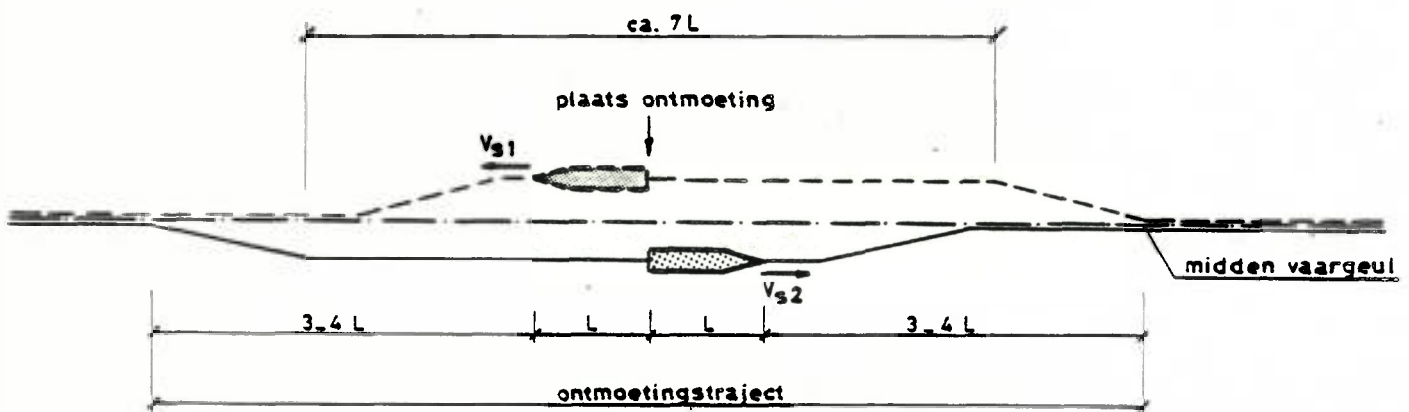
Voor de Westerschelde kunnen in enkele gevallen de PIANC-aanbevelingen (voor enkelstrooksverkeer) aangehouden worden. Dit betekent dat de vaargeul een breedte van tenminste 5 maal de breedte van het maatgevende schip dient te hebben, waarbij de mogelijk optredende dwarsstroom gering moet zijn. Indien de dwarsstroom van enige invloed op de scheepvaart is, dient de benodigde vaargeulbreedte 6 tot 7 B of zelfs nog meer te bedragen, afhankelijk van het dwarsstroomeffect.

4.3 Benodigde lengte voor ontmoetings- en oploopmanoeuvres

De lengte van het traject, waarover dergelijke manoeuvres uitgevoerd worden, is van diverse factoren afhankelijk. In vele gevallen zullen de loodsen in onderling overleg al in een vroegtijdig stadium aan de hand van de vaarschema's vaststellen waar de manoeuvre plaats zal vinden. Afhankelijk van de ter plaatse beschikbare ruimte zullen de benodigde snelheidsverschillen bepaald worden. Vooral bij oploopmanoeuvres speelt dit een grote rol.

De lengte van de feitelijke ontmoetingsmanoeuvre kan geschat worden met behulp van de virtuele afmetingen van schepen, zoals deze door Fujii en Tanaka in [21] gepresenteerd wordt. Met deze virtuele afmetingen wordt het gebied gedefinieerd waarbinnen zich onder normale omstandigheden geen andere schepen zullen bevinden. Voor zeevaart zullen zich binnen een afstand van ongeveer $3 - 4 L$ voor het betreffende schip geen andere schepen bevinden.

Uitgaande van een ontmoeting tussen twee geulgebonden schepen, die beide in het midden van de vaargeul varen, kan een schatting gemaakt worden van de lengte van het traject waarover de ontmoetingsmanoeuvre zich uitstrekt.



Schematische weergave van de ontmoeting van schepen.

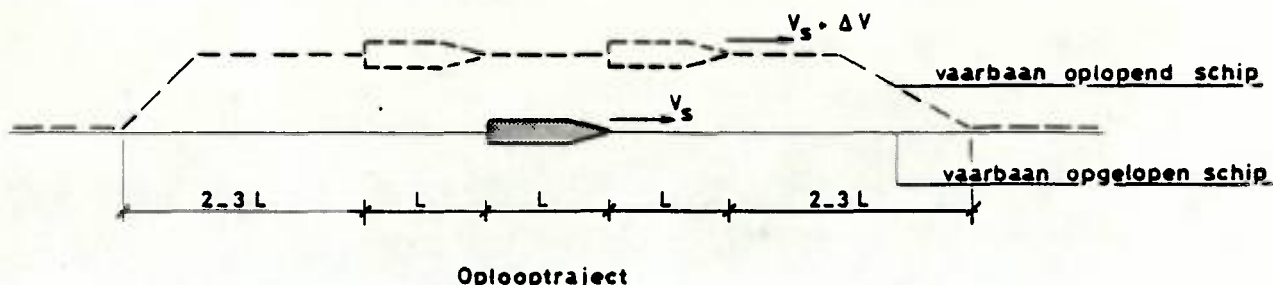
Op een afstand van ongeveer $4 \text{ à } 5$ maal de lengte van de betrokken schepen tot het punt waar de schepen naar verwachting elkaar zullen passeren, zullen de schepen elk naar stuurboord gaan uitwijken. Na de ontmoeting zullen beide weer naar het midden van de vaargeul terugkeren. Na ongeveer $3 \text{ à } 4$ maal de lengte van de betrokken schepen zal dit gerealiseerd zijn. De totale ontmoetingsmanoeuvre strekt zich dus uit over een afstand in orde van $8 \text{ à } 10$ maal de lengte van de betrokken schepen. De tijdens de eigenlijke ontmoeting vereiste vaarwegbreedte wordt over een afstand van $ca. 7 L$ benut. De tijdsduur van een ontmoeting is afhankelijk van de snelheid van elk van de schepen.

Die ligt in het algemeen op de Westerschelde in de grootte orde van 5 - 7,2 m/s (10 - 14 knopen; [1]).

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de lengtes waarover een ontmoetingsmanoeuvre zich afspeelt en de tijdsduur die daarmee gemoeid is. Hieruit blijkt dat onder normale omstandigheden een ontmoeting zich over een afstand van 2 - 3 km uitstrekt en een tijdsduur heeft in de grootte orde van 5 - 10 minuten. In de praktijk kan deze afstand korter zijn wanneer de schepen meer stuurboordswal houden, in gevallen waarin zij op de hoogte zijn van de komende ontmoetingen en daarop anticiperen door vroegtijdig uit te wijken. Dit heeft mede tot gevolg dat de tijdsduur van de ontmoeting afneemt.

Onzeker is echter de plaats waar de ontmoeting plaatsvindt. Er zal nooit geheel exakt aangegeven kunnen worden waar de manoeuvre plaats zal vinden. Door de in het algemeen krap opgestelde vaarplannen op elkaar af te stemmen zal reeds in een vroeg stadium het traject waar de ontmoeting plaats zal vinden, vastgelegd worden. Tijdens de vaart kan dit tot op zekere hoogte bijgesteld worden. Al te sterke ingrepen in het vaarschema zijn echter niet altijd mogelijk zonder de veiligheid van het betreffende schip en het overige scheepvaartverkeer in gevaar te brengen (minimum snelheid voor veilige passage van dwarsstroomvelden, maximum snelheid i.v.m. hinder voor de overige scheepvaart, enz.). De lengte van de vaarweg, waarover de voor een ontmoeting vereiste vaargeulbreedte in ieder geval aanwezig moet zijn zal daarom groter zijn dan de eerder genoemde 7L. Geadviseerd wordt tenminste de in tabel 4 gegeven afstanden aan te houden. Die moeten zeker niet als extremen beschouwd worden.

Het traject, waarover een oploopmanoeuvre zich uitstrekt is veel langer dan bij een ontmoeting, daar de relatieve snelheid (ΔV) bij oplopen veel geringer is. De lengte van het oplooptraject kan geschat worden met behulp van de, in het voorgaande reeds genoemde, virtuele maten van een zeeschip [21].



Schematische weergave van de olopmanoeuvre van 2 schepen.

In bovenstaande figuur is de relatieve beweging van een schip met een snelheid $V_s + \Delta V$ t.o.v. een schip met een snelheid V_s geschetst. De werkelijk afgelegde weg tijdens de olopmanoeuvre is veel groter dan in de figuur aangegeven, omdat de passeersnelheid (ΔV) t.o.v. de werkelijke snelheid (V_s) gering is.

De tijdsduur die nodig is om het traject met een lengte van $7 \text{ à } 9 L$ met een snelheid van ΔV m/s af te leggen bedraagt $\frac{7 \text{ à } 9 L}{\Delta V}$ s. Het in deze periode door het opgelopen schip afgelegde traject heeft dan een lengte van $\frac{7 \text{ à } 9 L}{\Delta V} \times V_s$ m. De olopmanoeuvre strekt zich uit over een afstand $(V_s + \Delta V) \frac{7 \text{ à } 9 L}{\Delta V}$.

In de praktijk zal deze lengte echter sterk afhangen van de mogelijkheden die ter plaatse in de vaargeul aanwezig zijn, de intensiteit van het overige scheepvaartverkeer en de afspraken die tussen de betrokken schepen gemaakt zijn.

In tabel 5 zijn een aantal voorbeelden uitgewerkt. De snelheid van het oplopende schip bedraagt voor de uitgewerkte voorbeelden 6,2 en 7,2 m/s (12 of 14 knoop). Het snelheidsverschil tussen de beide schepen bedraagt 1 à 2 m/s (2 à 4 knoop), ervan uitgaande dat het opgelopen schip het oplopende schip de gelegenheid zal bieden de manoeuvre uit te voeren.

Uit deze voorbeelden blijkt dat een "normale" olopmanoeuvre ($\Delta V = 2$ m/s) globaal genomen 10 tot 17 minuten duurt en zich uitstrekt over een traject van ongeveer 5-6 km. Dergelijke manoeuvres vereisen dat de oloper tijdens de olopmanoeuvre wat sneller gaat varen en dat het opgelopen schip, zonodig, wat snelheid terugneemt.

Indien het opgelopen en het oplopende schip de oorspronkelijke snelheid handhaven, dan kan de tijdsduur van de manoeuvre wel een periode van ca. 45 minuten beslaan. In dat geval zal de lengte van het voor deze manoeuvre benodigde traject ca. 20 km bedragen. Het op deze wijze uitvoeren van de oploopmanoeuvre moet op de Westerschelde als niet aanvaardbaar beschouwd worden.

5. Toetsing van de ontwerpregels aan de vaarpraktijk op de Westerschelde

5.1 Padbreedte in bochten

Tussen 1971 en 1979 is het vaargedrag van een groot aantal afvaarrende massagoedschepen en containerschepen op de Westerschelde gemeten door de dienst Verkeerskunde¹⁾ in samenwerking met de Adviesdienst Vlissingen, beide onderdeel van Rijkswaterstaat. Doel van de metingen was onder meer informatie te verzamelen over het gedrag van zeeschepen in bochten. Dat is gebeurd door positie en koers van verschillende schepen in een drietal bochten - Bath, Walsoorden en Hansweert - vast te leggen. Figuur 9 geeft een beeld van de passage van de Bocht van Walsoorden door een opvarend tweede-generatie containerschip. Een rapportage van de metingen zal naar verwachting in 1985 gereedkomen. Vooruitlopend daarop is voor deze studie per bocht van ieder schip waarvan positie en koers vastgelegd waren, bepaald hoe groot de gemiddelde padbreedte was. Ook is de maximale padbreedte gedurende de passage van de bocht vastgelegd. (Voor definities, zie figuur 10).

De resultaten zijn samengevat in de figuren 11, 12 en 13. Ter vergelijking zijn in deze figuren ook de ontwerpregels voor de padbreedte (= scheepsbreedte + "overbreedte" in de bocht, zie §4.2.5) en voor de vaarstrookbreedte (inklusief "overbreedte" in de bocht, zie §4.2.2 en §4.2.5) gegeven. Omdat bij alle metingen de waterdiepte in de bochten relatief groot was ($h/T > 1,5$) zijn daarbij de ontwerpregels voor "diep water" toegepast.

Bij de interpretatie van deze metingen is van belang te weten dat de navigatoren geen opdracht hadden om de padbreedte zo veel mogelijk te beperken. Ook is van belang dat in de verschillende bochten nog een vrij grote breedte beschikbaar was. In een aantal gevallen is de maximale padbreedte daarom wellicht groter dan strikt nodig was. Anderzijds is het slechts in zeer geringe mate mogelijk de gemiddelde padbreedte te beperken.

1) Vóór 1 januari 1977 de onderafdeling Hydro-Nautisch Onderzoek van de afdeling Kustonderzoek in de direktie Waterhuishouding en Waterbeweging, die op die datum opging in de hoofdafdeling Scheepvaart van de dienst Verkeerskunde.

Bij de massagoedschepen (zie fig. 11) ligt de gemiddelde padbreedte bij de meeste metingen iets beneden de waarde volgens de ontwerpregels. Bij 9 van de 35 gemeten passages van bochten was de gemiddelde padbreedte gelijk aan of groter dan bij de ontwerpregels. De maximale padbreedte overschreed bij 5 van de 35 zelfs de volgens de ontwerpregels benodigde vaarstrookbreedte.

Van de 52 geregistreerde passages van bochten door tweede-generatie containerschepen is de padbreedte gepresenteerd in figuur 12. In 19 gevallen was de gemiddelde padbreedte groter dan of gelijk aan de padbreedte volgens de ontwerpregels. Bij 8 metingen was de maximale padbreedte (soms aanzienlijk) groter dan de vaarstrookbreedte volgens de ontwerpregels.

Er zijn slechts weinig bocht passages door derde-generatie containerschepen geanalyseerd (in totaal 13, zie fig. 13). Bij 9 van deze passages was de gemiddelde padbreedte groter dan volgens de ontwerpregels. De maximale padbreedte was bij 7 van de metingen, soms aanmerkelijk, groter dan de vaarstrookbreedte volgens de ontwerpregels.

Uit de resultaten van de metingen met massagoedschepen kan worden gekonkludeerd dat de ontwerpregels voor de padbreedte in bochten de gemiddelde padbreedte van dergelijke schepen onder normale omstandigheden vrij goed benaderden; de ontwerpregels voor de vaarstrookbreedte in bochten zijn voldoende ruim. Gezien de grote spreiding in maximale padbreedte bestaat er echter zeker geen aanleiding om de, volgens deze regels benodigde, vaarstrookbreedte te verminderen.

Naar aanleiding van de metingen met derde-generatie containerschepen moet worden gekonkludeerd dat de ontwerpregels voor de padbreedte in bochten in de meeste gevallen tot een onderschatting van de in werkelijkheid optredende gemiddelde padbreedte van dergelijke schepen leiden. Ook de vaarstrookbreedte volgens de ontwerpregels is in de bochten voor deze schepen onvoldoende, gezien de metingen. Tweede-generatie containerschepen nemen qua toepasbaarheid van de ontwerpregels een tussenpositie in tussen de massagoedschepen en de derde-generatie containerschepen.

Op grond van deze praktijkmetingen zal bij de verdere studie de vereiste vaarstrookbreedte van de derde-generatie containerschepen met een waterdiepte-diepgangsverhouding $h/T > 1,5$ veiligheidshalve worden verhoogd van $1,8B$ tot $2,5B$, dit is de waarde die ook geldt voor $1,3 < h/T < 1,5$. De andere ontwerpregels behoeven op grond van deze praktijkmetingen niet te worden bijgesteld.

Het feit, dat de ontwerpregels volgens hoofdstuk 4 voor massagoedschepen beter blijken op te gaan dan voor containerschepen behoeft geen verwondering te wekken. Reeds in de inleiding tot hoofdstuk 4 is immers opgemerkt dat de regels "betrekking hebben op min of meer conventionele scheepstypen (massagoedschepen, vrachtschepen)" en dat vooral van trio-containerschepen en andere slanke schepen (zoals LPG-schepen) het vaargedrag eigenlijk onvoldoende bekend is.

5.2 De vaarpraktijk in 1980

Het quotiënt van de beschikbare vaargeulbreedte (B_c) en de breedte van een maatgevend schip (B) is een indicatieve maat voor de vergelijking van de bevaarbaarheid van vaargeulen. Een voorwaarde daarvoor is natuurlijk dat de maatgevende schepen op de te vergelijken vaargeulen bij benadering gelijke manoeuvreereigenschappen hebben. In dat geval zal de bevaarbaarheid van qua karakter vergelijkbare vaargeulen gelijk zijn, wanneer het quotiënt vaargeulbreedte/breedte maatgevend schip (B_c/B) gelijk is. Regelmatige vaart met een maatgevend massagoedschip ($300 \times 50 \text{ m}^2$) op de plaatselijk verruimde vaargeul naar Antwerpen is qua bevaarbaarheid goed vergelijkbaar met de regelmatige vaart van massagoedschepen op de Westerschelde in het recente verleden.

Voor het jaar 1980 is de bodemconfiguratie in de Westerschelde goed bekend. Uit een van de Antwerpse zeediensten ontvangen overzicht van de grootste schepen, die Antwerpen in 1980 aandeden, zijn de 10 langste, de 10 breedste en de 10 diepststekende schepen en de 10 schepen met het grootste tonnage geselecteerd. Uiteraard voldoen een aantal schepen aan meerdere selectiekriteria, zodat uiteindelijk 31 schepen overbleven (zie tabel 6).

Sinds enige tijd wordt door het Belgische Loodswezen het tijdstip bijgehouden, waarop grote tijgebonden schepen een aantal karakteristieke punten op de Westerschelde passeerde. Uit die gegevens is het vaarschema van de 31 geselecteerde schepen gerekonstrueerd. Daar niet steeds van alle daarvoor nodige punten op de Westerschelde het passagetijdstip was geregistreerd, was dat overigens meestal slechts voor delen van het traject Vlissingen-Zandvliet mogelijk. Uit het verloop van het aktuele getij (springtij, gemiddeld tij dan wel doodtij) en het vaarschema is voor het traject Vlissingen-Antwerpen de waterstand tijdens de passage van de geselecteerde schepen bepaald. Dit gegeven is gekombineerd met de scheepsdiepgang en de bodemkonfiguratie in 1980 om de vaargeulbreedte, op 15% van de diepgang beneden de kiel van de 31 geselecteerde schepen, te bepalen. Voor de 4 smalste deeltrajekten (Borsssele, Zuidergat, Valkenisse en Bath) is de kleinste beschikbare vaargeulbreedte op dat traject gepresenteerd in tabel 7. Het blijkt dat de kleinste afstand tussen de boeien meestal kleiner was dan de vaargeulbreedte. Behalve bij Borsssele was steeds aanzienlijk meer dan 300 m breedte beschikbaar. Het quotiënt van maximaal beschikbare vaargeulbreedte (kleinste afstand tussen de boeien of breedte vaargeul op 15% beneden de kiel van het schip) en de scheepsbreedte is gegeven in tabel 8.

Het behoeft nauwelijks betoog dat handhaving van de thans beschikbare verhoudingen tussen vaargeulbreedte en scheepsbreedte tot een aanzienlijk grotere breedte zou leiden dan de 300 m, die voor de verdieping van de vaargeul naar Antwerpen thans wordt voorgesteld. De uitgevoerde vergelijking geeft geen aanleiding om de volgens de ontwerpregels in hoofdstuk 4 benodigde geulbreedten te verminderen.

6. BEREKENINGEN MET EEN MATHEMATISCH MODEL VOOR HET MANOEUVREREN VAN SCHEPEN

6.1 Inleiding

De dienst Verkeerskunde heeft de beschikking over een rekenprogramma, waarmee het manoeuvreergedrag van een schip onder invloed van de besturing (roerhoek, toerental) en onder invloed van storingen vanuit de omgeving (stroom, wind) berekend kan worden (zie bijlage 1). Met dit rekenprogramma zijn berekeningen uitgevoerd voor het gedrag van maatgevende schepen (een 175.000 tdw-massagoedschip en een TRIO-containerschip) in een aantal geschematiseerde bochten en dwarsstroomsituaties en in dwarswind. De schepen werden daarbij bestuurd door een stuurautomaat. De resultaten van de berekeningen zijn vergeleken met de ontwerp-regels, zoals afgeleid in par. 4.2.5. Daarnaast zijn een aantal berekeningen gemaakt met een wat vereenvoudigd model, waarbij de besturing plaats vond door proefpersonen. Deze berekeningen zijn gemaakt om te controleren of menselijke bestuurders wezenlijk anders zouden sturen dan de eerder genoemde stuurautomaat. Ze zijn uitgevoerd voor dezelfde bochten en dwarsstroomsituaties.

Een uitgebreide beschrijving van de toegepaste modellen en de daarbij toegepaste manoeuvreercoëfficiënten wordt gegeven in bijlage 1 van dit verslag. In de volgende paragrafen worden de uitgevoerde berekeningen en vergelijkingen toegelicht.

6.2 Varen door geschematiseerde bochten met een stuurautomaat

De berekeningen zijn uitgevoerd voor bochten met bochtstralen van 1000 m, 1500 m en 2000 m. De bochten hadden een aanloopstuk en een uitloopstuk van elk 600 m (2 scheepslengtes) lang. De bochten hadden een middelpuntshoek van 90°. De stuurautomaat, waarvan de afstelling wordt beschreven in bijlage 1, volgde een referentiebaan, bestaande uit 9 lijnstukken. De kielspeling bij de berekeningen voor het massagoedschip bedroeg steeds 30%. De kielspeling bij de berekeningen voor het containerschip bedroeg 40%. De berekeningen zijn uitgevoerd bij 2 snelheden te weten 6,0 m/s en 3,0 m/s voor het massagoedschip en 6,4 m/s en 4,1 m/s voor het containerschip. De hoge snelheid volgt uit de vaarschema's voor tijgebonden schepen.

De resultaten van de berekeningen zijn gegeven in de vorm van padbreedte en vaarstrookbreedte, zoals gedefinieerd in figuur 14. De resultaten zijn samengevat in tabel 9. Figuur 15 geeft ter illustratie de gevaren baan van het massagoedschip en het containerschip bij een bochtstraal van 1500 m.

Voorals bij een bochtstraal van 1000 m is het bestuurde schip niet goed in staat om de referentiebaan aan te houden. Dit is te zien aan de maximale gevaren bochtstraal in tabel 9. Zowel door de stuurauto-
maat van het massagoedschip als die van het containerschip werd onder deze conditie gedurende langere tijd de maximale roerhoek ingesteld.

De verschillen in breedtebeslag tussen het massagoedschip en het containerschip zijn te verklaren uit de relatief slechtere manoeuvreereigenschappen van het containerschip. Eenzelfde tendens werd bij de ware-grootte metingen op de Westerschelde (zie hoofdstuk 5) gekonstateerd. Een lagere vaarsnelheid resulteert niet consistent in een groter breedtebeslag. Toepassing van toerenstoten kan dan, gezien de overbreedte voor het massagoedschip bij een bochtstraal van 1000 m, zelfs leiden tot een geringer breedtebeslag. Daarnaast is het mogelijk dat de structuur en afstelling van de stuurautomaat voor de tanker beter geschikt was dan voor het containerschip. In het verleden is wel ervaring opgedaan met de besturing van tankers door dergelijke automaten. Voor containerschepen was dat niet het geval.

6.3 Varen door geschematiseerde dwarsstroomsituaties met een stuurautomaat

In eerste instantie zijn berekeningen uitgevoerd voor blokvormige dwarsstroomprofielen met een lengte van 300 m, 600 m, 900 m en 1500 m.

Bij een dergelijk profiel is de gradiënt, die het schip bij het invaren van het stroomveld ondervindt, zeer groot. Dit heeft invloed op de gevaren baan. Daarom zijn ook berekeningen uitgevoerd voor een meer reële situatie, zoals op kan treden bij de Zimmermangeul. De stroomsituatie daar is op grond van metingen in [5] geschematiseerd tot een trapeziumprofiel (zie fig. 14). De drijvermetingen vonden plaats iets voor hoogwater tijdens een sterk ontwikkeld springtij.

Geen gegevens waren beschikbaar voor de verdeling van de dwarsstroom over de vertikaal t.p.v. de vaargeul. De berekeningen met het model zijn uitgevoerd voor een uniforme verdeling over de vertikaal. Verwacht mag echter worden dat de snelheid t.p.v. de bodem aanzienlijk lager zal zijn dan de snelheid aan de oppervlakte, zodat de berekeningsresultaten een wat overtrokken beeld zullen geven van de dwarsstroomhinder voor diepstekende zeeschepen. De resultaten van de berekeningen met het mathematisch model zijn uitgewerkt tot vaarstrookbreedtes, zoals gedefinieerd in fig. 14.

Fig. 16 geeft de berekende vaarstrookbreedte als functie van de lengte waarover het (blokvormige) dwarsstroomprofiel werkt en van de dwarsstroomsnelheid. Het schip is een 175.000 tdw-massagoedschip, bij een snelheid van 6,0 m/s. Bij een stroomsnelheid van 1 m/s wordt vrij snel een situatie bereikt, waarbij de vaarstrookbreedte, als functie van de lengte waarover de dwarsstroom werkt, niet meer toeneemt. De stuurautomaat kan in dit geval een evenwichtssituatie creëren. Dit blijkt bij een dwarsstroomsnelheid van 2 m/s binnen het beschouwde gebied nog niet het geval te zijn. De oorzaak ligt bij de bijzonder sterke gradiënt bij het in- en uitvaren van de dwarsstroom. De gradiënt wordt door het schip ondervonden als een draaisnelheid. Deze "draaisnelheid" welke moet worden opgeheven door het schip een even grote doch tegengestelde draaisnelheid te geven, heeft een zelfde grootte-orde als de maximum draaisnelheid. Bovendien kan de gradiënt bij het uitvaren van de dwarsstroom ongelukkig samenvallen met een draaisnelheid dezelfde richting uit, omdat de stuurautomaat nog bezig is baan- en koersfouten te corrigeren.

De resultaten van de berekeningen voor een meer reëel dwarsstroomprofiel, zoals kan optreden bij de Zimmermangeul, zijn gegeven in tabel 10. Fig. 17 geeft ter illustratie enige vaarbanen. Het breedtebeslag is voor het containerschip duidelijk groter dan voor de tanker. De toepassing van toerenstoten kan, gezien de resultaten voor lage snelheid bij het massagoedschip, leiden tot een lager breedtebeslag. Toerenstoten bij het containerschip zijn veel minder effectief, zodat een lage vaarsnelheid van dat schip leidt tot een groter breedte-

beslag (zie tabel 10).

6.4 Varen met het handbestuurde mathematische model

De eerste berekeningen met handbesturing voor de geschematiseerde situaties droegen een globaal karakter. De vaarten werden uitgevoerd met het model van het 175.000 tdw-massagoedschip, door proefpersonen zonder nautische ervaring.

Het bleek mogelijk te zijn om voor de dwarsstroomsituatie volgens fig. 14 minder breedtebeslag te realiseren dan het breedtebeslag bij besturing met de stuurautomaat. Het model "voer" eerst zonder roer-akties, zodat duidelijk werd waar de gradiënt effectief werkzaam was. Een proefpersoon (ppl) bleek daarna goed in staat om met deze informatie langs een referentiebaan te sturen. Figuur 18 geeft een indruk van de gerealiseerde vaarbaan. Een andere proefpersoon (pp2) stuurde, anticiperend op de dwarsstroom, te vroeg op.

De vaart door bochten, waarbij de bocht aangegeven werd door een referentielijn, werd niet als reëel beschouwd. Immers, in de praktijk zal de bestuurder van het schip (loods, stuurman) positie-informatie verkrijgen door boeien, landmerken of elektronische navigatiemiddelen en niet via een lijn op een beeldscherm. Daarom werd een aantal nieuwe simulaties uitgevoerd.

Twee proefpersonen met praktisch nautische ervaring moesten de volgende serie vaarten maken:

- een 4-tal vaarten door een geschematiseerde bocht met een straal van 1500 m, varend met een 175.000 tdw-massagoedschip;
- een 4-tal vaarten door dezelfde bocht met een containerschip;
- een 4-tal vaarten door de dwarsstroomsituatie volgens fig. 14 met een 175.000 tdw-massagoedschip;
- een 4-tal vaarten door dezelfde dwarsstroomsituatie met een containerschip.

De kielspeling bedroeg voor de vaarten met het massagoedschip 30% en voor de vaarten met het containerschip 40%. De simulaties vonden plaats op een kleine computer, waarop de eenvoudige manoeuvreermodellen volgens bijlage 1 waren geïmplementeerd. De proefpersonen konden

roer- en schroeftoerentalcommando's geven door middel van een schakelaar op het toetsenbord van de machine. In de linkerbenedenhoek van het beeldscherm werd informatie gegeven over:

- de snelheid over de bodem;
- de koershoek;
- de draaisnelheid;
- de roerhoek;
- het schroeftoental.

Een bocht met een straal van 1500 m werd op het scherm schematisch weergegeven door een lichtenlijn als aanloopstuk (stippellijn op het beeldscherm), 10 boeien om en om ter indicatie van een vaargeul met een breedte van 300 m, gevolgd door een lichtenlijn als uitloopstuk (stippellijn op het beeldscherm).

De dwarsstroomsituatie volgens fig. 14 werd schematisch aangegeven door een lichtenlijn, met een indicatie waar de dwarsstroom begon en eindigde. De proefpersonen kregen op verzoek informatie over het verloop van de dwarsstroom. De maximum stroomsnelheid was hen bekend.

De proefpersonen hadden als taak de lichtenlijn resp. het midden van de vaargeul aan te houden. De simulaties werden gestart met een bepaalde snelheid (6,0 m/s voor het massagoedschip en 6,4 m/s voor het containerschip) waarna de proefpersonen vrij waren hun snelheid aan te passen. Op verzoek werd meegedeeld hoe groot de inzinking van het schip was bij de op dat moment aktuele vaarsnelheid.

De resultaten van de simulaties zijn gegeven in tabel 11. Enige vaarten zijn ter illustratie gegeven in fig. 19 en 20. Bij de resultaten van de simulaties kan het volgende worden opgemerkt:

- bij de simulaties trad een sterk leereffekt op. De padbreedte en de vaarstrookbreedte namen af, naarmate meer simulaties door de betreffende proefpersonen werden gedaan;
- de proefpersonen vonden dat in de praktijk beter gestuurd kon worden dan met de informatie op het beeldscherm. De draaisnelheid werd slechts grof geïndiceerd (de eenheid was graden/s met slechts één cijfer achter de komma), en de boeien lagen om modeltechnische redenen om en om. Een situatie met paarsgewijze boeien wordt als prettiger ervaren.

- de proefpersonen stuurden in het algemeen te snel naar de lichtenlijn aan het eind van de bocht. Zij bereikten deze lijn vaak vóór het einde van de bocht, aangegeven door de laatste boei;
- de proefpersonen konden de dwarsstroomgradiënt voor het massagoedschip, weliswaar met veel roer en/of toerenstoten, compenseren. Dit bleek in mindere mate het geval te zijn voor het containerschip. De boeg van dit schip is niet goed in de stroom te houden: de gradiënt is te groot in verhouding tot de draaisnelheid van het schip. De draaisnelheid is niet, zoals bij het massagoedschip, tijdelijk op te hogen door middel van een verhoogd toerental. Dit wordt veroorzaakt door het enkele roer tussen beide schroeven.

6.5 Vergelijking van de resultaten van het mathematisch model met de ontwerpregels van hoofdstuk 4 en met de metingen in de praktijk van hoofdstuk 5

De resultaten van de verschillende bronnen zijn kort samengevat in tabel 12. In deze tabel is tevens gegeven het breedtebeslag dat in een bocht met een straal van 1500 m nodig is i.v.m. de (statische) drifthoek voor het model van het 175.000 tdw-massagoedschip en het containerschip. Deze maten voor breedtebeslag zijn de minimummaten (bij "feilloze" besturing). Voor de dwarsstroom is ter vergelijking het breedtebeslag i.v.m. de opstuurhoek in een dwarsstroomveld van onbeperkte lengte gegeven.

Voor de vaart door de geschematiseerde bocht met een straal van 1500 m geldt dat de gemiddelde padbreedte voor het mathematische model iets beneden de padbreedte volgens hoofdstuk 4 ligt. Beide proefpersonen realiseren ongeveer dezelfde tot een iets hogere gemiddelde padbreedte als de stuurautomaat. Terwijl voor het massagoedschip deze padbreedte dezelfde grootte-orde heeft als de (minimum) gemiddelde padbreedte volgend uit de stationaire drifthoek, is bij het containerschip de gemiddelde padbreedte groter dan die volgend uit de stationaire drifthoek. Dit houdt in dat bij het containerschip zowel de proefpersonen als de automaat wat moeite hadden met de besturing.

Verschillen in besturing tussen de individuele proefpersonen en de automaat komen tot uiting in de maximum padbreedte en de vaarstrookbreedte. Hierbij treedt voor de proefpersonen een leereffekt op:

de maximum padbreedte en de vaarstrookbreedte nemen af naarmate een bepaalde vaart vaker is uitgevoerd (zie tabel 11). Een vergelijking tussen de praktijkmetingen in bochten en de resultaten van het mathematische model laat zien, dat zowel de gemiddelde als de maximale padbreedte in de praktijk wat hoger ligt. Mogelijk speelt hierbij de waterdiepte-diepgangsverhouding een rol. De berekeningen met het model voor het containerschip zijn uitgevoerd voor een kielspeling van 40%, terwijl tijdens de praktijkmetingen duidelijk meer aanwezig was. Ook de gebruikte roerhoeken bij het model zijn groter dan in de praktijk, hetgeen eveneens een aanwijzing is dat een waterdiepte-effekt hier meespeelt. Behalve door een verschil in (relatieve) waterdiepte kunnen de verschillen tussen de maximale padbreedte volgens de berekening en de praktijkmeting ook veroorzaakt zijn doordat de nautici in de praktijk niet en bij de berekeningen wel de opdracht hadden de padbreedte te beperken en door de verschillen in de wijze, waarop de vaarweg kan worden waargenomen.

Voor de vaart door de geschematiseerde dwarsstroomsituatie geldt dat de padbreedte, voorspeld door het mathematische model, minder groot is dan de padbreedte volgens de ontwerpregels van hoofdstuk 4. Hierbij moet worden opgemerkt dat de ontwerpregel in tabel 12 geldt voor een dwarsstroom met een snelheid van 1 tot 2 m/s, terwijl de berekeningen zijn uitgevoerd voor een snelheid van 1,25 m/s.

De berekeningen met het mathematische model bevestigen dat het containerschip relatief meer breedte nodig heeft dan het massagoedschip. Dit blijkt ook uit de metingen in de praktijk uit hoofdstuk 5, zodat het grotere breedtebeslag voor het containerschip volgens de rekenregels van hoofdstuk 4 hiermee gerechtvaardigd is. Een vermindering van de kielspeling van het containerschip veroorzaakt een verdere toename van de benodigde vaarstrookbreedte (zie tabel 10).

6.6 Extra breedtebeslag van een trio-containerschip onder invloed van wind

Voor een trio-containerschip zijn een aantal vaarten langs een rechte baan onder invloed van wind gesimuleerd. Het schip werd bestuurd door een stuurautomaat. In de simulatie is uitgegaan van een trio-containerschip beladen met 3 lagen containers op het bovendek. De afmetingen van het bovenwaterschip zijn: lateraal oppervlak (A_L) = 6207 m² en transversaal oppervlak (A_T) = 951 m². De waterdiepte was bij de berekeningen 1,4 x de diepgang. Voor verdere gegevens van het model wordt verwezen naar bij-

lage 1. Het trio-containerschip ondervindt de meeste windhinder bij lage scheepssnelheid en bij schuin voor of schuin achter inkomende wind. Met de gebruikte stuurautomaat bleek het verschil in maximale vaarstrookbreedte bij windsnelheden van 15 en 20 m/s niet sterk te verschillen. Het extra breedtebeslag was zeer sterk afhankelijk van de scheepssnelheid. Voor een snelheid van 5 m/s loopt het zelfs op tot ca. 2,5B. Dergelijke lage snelheden zullen op de Westerschelde echter weinig voorkomen, tenzij sleepboten beschikbaar zijn. Bij een realistisch vaarsnelheid van ca. 6 m/s is het (extra) breedtebeslag nog 1,5B à 2B. Bij een snelheid van ca. 8 m/s wordt dat ongeveer 1B. Deze waarden komen vrij goed overeen met de ontwerpregels van Ijiima (zie par. 4.2.5). Bij lage scheepssnelheden geeft het model wat hogere waarden. Wel is van belang dat met de "vlagerigheid" van de wind geen rekening is gehouden. De breedtetoeslagen zijn daarom wellicht wat aan de (te) lage kant.

6.7 Konklusies

Op grond van de uitgevoerde berekeningen en vergelijkingen (zie tabel 12) kan worden gekonkludeerd, dat de ontwerpregels voor de vaarstrookbreedte in bochten - na de bijstelling op grond van hoofdstuk 5 - voldoende zijn. Voorwaarde daarbij is wel dat de nautici voldoende getraind (leereffekt) zijn in de vaart met de maatgevende schepen en dat voldoende informatie over de positie van het schip in relatie tot de vaarweg beschikbaar is. De ontwerpregels voor de vaart door een dwarsstroom met een snelheid van 1 tot 2 m/s lijken voor massagoedschepen ook voor een situatie als bij de Zimmermangeul toepasbaar. Daarbij moet worden opgemerkt dat een "onderverdeling" van deze ontwerpregel zinvol lijkt (b.v. bij een snelheid van 1 - 1,5 m/s:3,3B, daarboven tot 2 m/s:3,8B). Voor het containerschip is de ontwerpregel voor de vaarstrookbreedte voor stroomsituaties zoals bij de Zimmermangeul aan de (te) lage kant. Voor een stroomsnelheid van 1 - 1,5 m/s lijkt een waarde van 4,5B nog acceptabel, maar daarboven moet met hogere waarden rekening worden gehouden.

De ontwerpregels geven een redelijke eerste benadering van het extra breedtebeslag. Bij lage scheepssnelheden wordt het breedtebeslag van een trio-containerschip enigszins onderschat.

7. ONGEVALLENANALYSE

7.1 Inleiding

Door de dienst Verkeerskunde is, mede op verzoek van de directie Zeeland van de Rijkswaterstaat, (tussen 1966 en 1978) een uitgebreide analyse uitgevoerd van de scheepsongevallen die in het tijdvak vanaf 1966 tot en met 1978 op de Westerschelde optraden [3]. Helaas was het bij het opstellen van dit rapport niet mogelijk ook alle ongevallen uit de periode 1979-1983 te analyseren, daar over die periode nog geen compleet bestand van de ongevallen op de Westerschelde beschikbaar was. De mate, waarin bepaalde categorieën schepen in de periode 1966 t/m 1978 bij ongevallen betrokken waren, is dan ook niet representatief voor de huidige situatie. Dat blijkt ook uit [3], waar één van de hoofdkonklusies luidt: "Over de gehele Westerschelde gerekend nam het aantal ongevallen na een piek in 1968 duidelijk af". Enige mogelijke verklaringen voor deze afname zijn:

- de vermindering van het binnenvaartverkeer tussen Hansweert en Antwerpen na de opening van de Schelde Rijnverbinding (na 1975),
- de ingebruikname van de verkeerspost aan de voorhaven van Hansweert (na 1975) en
- het verdiepen en verruimen van enige vaargeulen op de Westerschelde.

De vaargeulverruiming heeft tot een toename van de afmetingen van de grootste zeeschepen geleid. Hoewel de grootste zeeschepen relatief vaker bij ongevallen betrokken waren dan de kleinere, lijken de hiervoor genoemde maatregelen het effect van de schaalvergroting in de scheepvaart als gevolg van de uitgevoerde vaarwegverruiming in de periode 1968 - 1978 te hebben gekompenseerd.

Naast deze specifieke veranderingen bestaat de overtuiging dat ook factoren als de uitbreiding van de Schelde Inlichtingendienst, het veralgemeend gebruik van de VHF-verbindingen, uitbreiding van radar-assistentie vanaf de wal en het, mede door deze ontwikkelingen mogelijk gemaakte, betere samenspel van diensten en personen een positief effect op de verkeersveiligheid hadden en nog zullen hebben. Ook de betere uitrusting van moderne schepen, zowel qua apparatuur als qua

manoeuvreer-eigenschappen, kan een reden zijn geweest voor de gekonstateerde afname van het aantal ongevallen in het verleden. Uit de ongevallen-analyse kunnen dergelijke ontwikkelingen echter niet specifiek worden onderkend. Overigens werd in de periode 1966 t/m 1978 ook op andere druk bevaren vaarwegen in Nederland een afname van het aantal ongevallen gekonstateerd.

Een aantal kwalitatieve gegevens over de ongevallen in de periode 1966 t/m 1978 zijn wel goed bruikbaar voor het signaleren van knelpunten in de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid. Deze worden in het navolgende behandeld.

7.2 Globaal overzicht van de scheepsongevallen tussen 1966 en 1979

Een aantal gegevens van ongevallen in de periode 1967 t/m 1978 betrekking hebbende op de vaarweg als geheel, is in tabel 13 kort samengevat. Figuur 21 geeft een indruk van de ruimtelijke spreiding van de ongevallen. Naast een overzicht van "alle" ongevallen geeft figuur 21 tevens een overzicht van de "zware" ongevallen, dat zijn die ongevallen waarbij schade van betekenis¹⁾ aan schip en/of lading ontstaat. Tabel 14 geeft nog een aantal nadere gegevens over het type schepen, dat bij ongevallen was betrokken; over omstandigheden waaronder ongevallen optraden; en over oorzaken, aard en gevolgen van ongevallen. Voor definities, nadere omschrijvingen en meer uitgebreide informatie over de ongevallen in die periode 1966 - 1978 wordt verwezen naar nota [3]. De belangrijkste konklusies uit die nota, voor zover van belang voor dit rapport, zijn:

1. De Westerschelde bleek, vergeleken met een aantal andere drukbevaren vaarwegen in Nederland, geen bovenmatig onveilige rivier te zijn. Het totale aantal ongevallen per vaartuigkilometer op de

1) Onder schade van betekenis aan schip en/of lading wordt verstaan:

- zinken, breken, kapseizen, e.d.;
- zware scheepsschade, nl. deuken met diepten van meer dan 40 cm en/of gaten of lekken met oppervlakten vanaf 100 cm². evt. met gevaar voor zinken, breken, kapseizen e.d.;
- zware ladingsschade;
- zware brand- en explosieschade.

N.B.: Ongevallen met b.v. dodelijke afloop, waarbij de opgelopen scheepsschade niet aan voorgaande criteria voldeed, zijn hier niet bij de zware ongevallen ingedeeld.

Westerschelde was hoger dan elders. Er kwamen relatief veel lichte ongevallen voor. Het aantal zware ongevallen per vaartuigkilometer was van dezelfde orde van grootte als elders.

2. Zeeschepen waren zowel absoluut als relatief vaker bij ongevallen betrokken dan binnenschepen. De uitgevoerde analyses bevestigen dat de Westerschelde ten oosten van Vlissingen een moeilijke en, voor de grote zeeschepen, ook een krappe vaarweg is. Dat zeeschepen in vergelijking tot binnenschepen relatief vaker bij ongevallen betrokken zijn is hier ook een aanwijzing voor.
3. In het algemeen zijn de grootste schepen vaak bij ongevallen betrokken, gelet op hun aandeel in het verkeer. Dat geldt ook met betrekking tot de zware ongevallen.
4. Het leeuwendeel (43%) van de ongevallen bestond uit strandingen (zie fig. 22). Zeeschepen liepen het vaakst aan de grond. Van west naar oost gaande nam het aantal strandingen sterk toe. Dat hing uiteraard samen met de in die richting steeds kleiner wordende vaarwegdoorsnede, terwijl de verkeersintensiteit juist toenam. Ook het aantal aanvaringen van schepen onderling nam, van west naar oost gaande, toe. Na een piek in 1969 liep het aantal aanvaringen van schepen onderling gestaag terug.
5. Beoordelingsfouten, onoplettendheid en dergelijke speelden een rol bij meer dan de helft van de ongevallen. Technische storingen waren minder vaak (mede) de oorzaak van een ongeval (in 14% van de gevallen). Relatief veel ongevallen werden ook (mede) veroorzaakt door het in- of uitvaren van havens (16%), manoeuvreren (gaande houden, ten anker gaan, enz.) (18%), oploopmanoeuvres (8%) en door ontmoetingen van schepen (8%). Tenslotte waren slecht zicht (23%), stroom (12%) en wind (7%) vaak (mede) de oorzaak van een ongeval.

In verband met de hiervoor onder 3 genoemde konklusies is eerst een verdere analyse gemaakt van die ongevallen in de periode 1966 - 1978, waarbij grote zeeschepen (> 20.000 BRT) betrokken waren.

7.3 Ongevallen met zeeschepen > 20.000 BRT, periode 1966 - 1978

In totaal werden in de onderzochte periode 208 ongevallen gere-

gistreerd, waarbij zeeschepen > 20.000 BRT waren betrokken. Bij 83% van deze ongevallen werd het zeeschip als (mede) veroorzaker aange-merkt. Terwijl het totaal aantal ongevallen op de Westerschelde na 1970 sterk terugliep, is het aantal ongevallen met zeeschepen > 20.000 BRT tussen 1970 en 1978 ongeveer gelijk gebleven. Ook het aantal schepen > 20.000 BRT, dat in Antwerpen aankwam, bleef volgens opgaven van het havenbedrijf in deze periode ongeveer konstant (zie fig. 23). De relatieve "ongevalsgevoeligheid" van de grootste zeeschepen nam toe, naarmate de diepgang van de schepen toenam, zoals tabel 15 aantoont.

De toename in "ongevalsgevoeligheid" bij toenemende diepgang is zeer opvallend: terwijl bij "alle" zeeschepen ca. 1400 ongevallen op ca. 650.000 passages door Wielingen/Scheurpas werden geregistreerd ($2^{\circ}/_{00}$) was dit quotiënt voor de schepen met een diepgang van 12-13 m ca. $13^{\circ}/_{00}$ en voor schepen met meer dan 13 m diepgang $34^{\circ}/_{00}$. Anders gesteld, één op de 65 schepen, die in de periode vanaf 1966 t/m 1978 met een diepgang van meer dan 12 m (39') aan een reis over de Westerschelde begon, raakte betrokken bij een ongeval. Van die laatste categorie schepen bevoer ongeveer de helft alleen het deel van de Westerschelde ten westen van Terneuzen met deze diepgang (zie tabel 15).

De factoren, die (mede) leidden tot het ontstaan van ongevallen waarbij zeeschepen > 20.000 BRT betrokken waren, verschillen niet wezenlijk van die van alle ongevallen (zie fig. 21 en tabel 14). Alleen werden manoeuvreren en ontmoeten van schepen bij de grote zeeschepen relatief wat meer en in- en uitvaren van havens wat minder vaak genoemd dan bij de andere schepen. Vermeldenswaard is nog dat slechts bij 12 van de 208 "ongevallen" een technisch defekt als enige oorzaak van het ongeval werd genoemd. Bij 21 andere ongevallen waren technische defekten mede de oorzaak van het ongeval.

Bijna de helft (49%) van de ongevallen met grote zeeschepen bestond uit strandingen (voor "alle" ongevallen: 43%), 28% uit aanvaringen van schepen onderling ("alle" ongevallen: 27%), en 10% betrof boeiaanvaringen e.d. ("alle" ongevallen 18%).

Meer dan de helft van de ongevallen met grote zeeschepen trad op een 9-tal korte vaarwegtrajekten op (zie fig. 24 en 25). In tabel 16 zijn enige nadere gegevens over deze "koncentratiepunten" gegeven.

De belangrijkste concentratiepunten waren de Rede van Vlissingen, de drempel van Borssele, het traject nabij Zandvliet en het traject Bath-Zimmermangeul. Daarbij is vooral de ontwikkeling bij de drempel van Borssele opvallend. In de periode 1976-1978 was dit voor de zeeschepen >20.000 BRT het belangrijkste ongevalskoncentratiepunt (zie fig. 25).

Ongevallen met grote zeeschepen kwamen vooral voor op de rede van Vlissingen, bij vaarwegversmallingen en in smalle vaargeulen. Indien in smalle vaargeulen ook nog sterke dwarsstromen, grote koersveranderingen (Bath) of lage vaarsnelheden (manoeuvreren bij aanloop Zandvlietssluis) optreden, is in veel gevallen sprake van "ongevalskoncentratiepunten" voor grote zeeschepen. Dat is met name het geval bij Borssele, de inloop van het Middelgat (vóór 1970; zie fig. 26), en de Zimmermangeul. Opvallend is dat Hansweert en Terneuzen niet bij de "koncentratiepunten" van ongevallen met grote zeeschepen voorkwamen, terwijl deze tot de 5 belangrijkste concentratiepunten voor "alle" ongevallen behoren.

7.4 Nadere analyse van de "zware" ongevallen met grote zeeschepen

Van de 16 zware ongevallen tussen 1966 en 1978, waarbij zeeschepen > 20.000 BRT betrokken waren, zijn de belangrijkste gegevens samengevat in tabel 17.

Zes ongevallen gebeurden op de rede van Vlissingen, 2 op die van Terneuzen. Deze ongevallen waren meestal (mede) het gevolg van onoplettendheid of van beoordelingsfouten. Vier daarvan vonden plaats tijdens manoeuvreren, en bij 3 ongevallen werd een ankerligger aangevaren. Situering van de ankergebieden, zodanig dat voor het doorgaande verkeer met de grote zeeschepen voldoende manoeuvreerruimte beschikbaar blijft, in combinatie met verkeersbegeleiding vanuit een verkeerspost, had wellicht een deel van deze ongevallen kunnen voorkomen. Overigens vonden 5 van de 6 ongevallen bij Vlissingen plaats vóór 1970.

Van de andere 8 zware ongevallen uit tabel 17 gebeurden er 3 tijdens ontmoetingen in het Oostgat. De laatste 5 zware ongevallen gebeurden alle op relatief smalle trajekten (4 ontmoetingen en 1 ooploepmanoeuvre), (mede) als gevolg van beoordelingsfouten (3x) en onjuist gebruik van navigatiehulpmiddelen (2x) Vier van deze ongevallen vonden plaats bij slecht zicht. Bij één van deze ongevallen was de vaargeulbreedte kleiner dan op grond van de ontwerpregels (zie hoofdstuk 4) (bij goed zicht!) nodig wordt geacht. Bij de 4 andere ongevallen was de vaargeulbreedte 1,3 tot 1,7 maal zo breed.

7.5 Analyse van ongevallen nabij Borssele in de periode vanaf 1979 tot begin 1982

De drempel van Borssele was, in de periode vanaf 1976 t/m 1978, één van de belangrijkste ongevalskoncentratiepunten op de Westerschelde (zie §7.2 en 7.3). Ook nadien zijn hier verschillende ongevallen opgetreden.

Een 8-tal van deze ongevallen zijn nader geanalyseerd aan de hand van de ongevalsrapporten van de loodsdienst, de bodemligging en het stroombeeld. Het betreft 1 vrij spektakulair ongeval uit 1979 en vrijwel alle ongevallen uit de periode van 1-1-1981 tot 31-3-1982. De belangrijkste gegevens van de ongevallen zijn in tabel 18 samengevat. Het stroombeeld nabij de drempel is, speciaal voor dit onderzoek, op 26 en 27 april 1982 gemeten (zie figuur 6). De bodemconfiguratie is geschetst in figuur 27. Daarin is ook de plaats van de ongevallen aangegeven.

Van de acht geanalyseerde ongevallen hadden er vijf het aan de grond lopen van het betreffende schip tot gevolg. In 2 gevallen werd een boei aangevaren, terwijl in één geval een aanvaring plaatsvond. In alle gevallen stonden de schepen onder loodsaanwijzing. In één geval is het aan de grond lopen van een schip mogelijk het gevolg geweest van ingrijpen van de kapitein.

Van ieder van de 8 geanalyseerde ongevallen is - voor zover relevant - nagegaan wat de vaargeulbreedte is die, volgens de in hoofdstuk 4 gepresenteerde ontwerpregels, bij de beschreven verkeerssituatie nodig was. Een probleem daarbij is dat de ontwerpregels

gelden voor omstandigheden, waarbij het zicht voldoende is. Bekend is dat bij slecht zicht een grotere vaargeulbreedte nodig is. Kwantitatief is daarover niet voldoende bekend om een exakte toeslag voor slecht zicht te geven. Bij de interpretatie van deze ongevallen is voor dit effect een marge van eenmaal tot enige malen de scheepsbreedte aangehouden. Wanneer nauwkeuriger positie-informatie, b.v. vanaf een walstation, beschikbaar zou zijn geweest zou deze marge belangrijk kleiner kunnen zijn dan bij de huidige omstandigheden op de Westerschelde nodig is.

Het zal duidelijk zijn dat de vereiste vaargeulbreedte volgens de ontwerpregels geen "harde maat" is, zeker niet bij slecht zicht omstandigheden. Daarnaast kon ook de kleinste vaargeulbreedte, die bij de onderzochte verkeerssituaties op de drempel van Borssele beschikbaar was, niet meer exakt worden bepaald. De confrontatie van de vereiste met de beschikbare vaargeulbreedte heeft daarom een globaal karakter.

Slechts bij één van de ongevallen (nr. 1) was de vaargeulbreedte kleiner dan wat volgens de ontwerpregels (bij goed zicht!) nodig is. Wordt rekening gehouden met een extra toeslag op de ontwerpregels voor slecht zicht en/of wind, dan was bij twee van de ongevallen uit tabel 18 (nr. 1 en 7) de voor de betreffende verkeerssituatie beschikbare geulbreedte kleiner dan volgens de ontwerpregels nodig was. Bij één ongeval (nr. 2) was de breedte ongeveer gelijk en bij twee ongevallen (nr. 6 en 8) slechts weinig groter. Deze 5 ongevallen zouden wellicht niet zijn opgetreden wanneer de vaargeul ter plaatse breder zou zijn geweest. Bij de 3 andere ongevallen was de vaarweg in principe ruimschoots voldoende breed voor een veilige verkeersafwikkeling. Zowel deze ongevallen als de meeste andere ongevallen hadden wellicht mede voorkomen kunnen worden door een goede verkeersbegeleiding.

7.6 Samenvatting en konklusies

In de analyse van de ongevallen op de Westerschelde in de periode 1966 - 1978 [3] is geconstateerd dat grote (zee)schepen relatief vaker betrokken zijn bij ongevallen dan kleinere. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat dit veroorzaakt wordt doordat de vaarweg

voor deze grote schepen relatief krap is. Ook het feit dat, van west naar oost gaande, het aantal ongevallen op de Westerschelde toeneemt - terwijl de vaarwegbreedte in die richting afneemt - wijst hierop. Aan de hand van een nadere analyse van ongevallen op de Westerschelde, waarbij grote zeeschepen (> 20.000 BRT) betrokken waren, is nagegaan in hoeverre deze veronderstelling juist is. Daarbij werd het volgende gekonstateerd:

- terwijl het totale aantal ongevallen op de Westerschelde - bij ongeveer gelijkblijvend verkeersaanbod - in de periode 1970 - 1978 voortdurend afnam, bleef het aantal ongevallen met zeeschepen > 20.000 BRT in die periode ongeveer gelijk (eveneens bij een ongeveer gelijkblijvend verkeersaanbod van die categorie schepen);
- het aantal bij die ongevallen betrokken zeeschepen > 20.000 BRT neemt sterk toe bij toenemende diepgang (als regel samenhangend met toenemende breedte en diepte van de schepen);
- ongeveer 30% van alle ongevallen met grote schepen in de periode 1966 - 1978 trad op een zevental korte, relatief smalle, trajekten op (gezamenlijke lengte 16 km, of ca. 15% van de gehele vaarweg). Deze trajekten zijn niet alleen smal, maar daarnaast liggen ze meestal in bochten en/of gaat het om sterke versmallingen, terwijl er vaak ook sterke dwarsstromen optreden. Nog eens 15% van de ongevallen met zeeschepen onstond op de rede van Vlissingen, waar de vaargeulbreedte indertijd nogal eens werd beperkt door ten anker liggende schepen;
- van de 11 zware ongevallen met zeeschepen > 20.000 BRT, die in de periode 1970 - 1978 optraden, gebeurden er 5 op relatief smalle trajekten. Alle (5) zware ongevallen met grote zeeschepen (> 20.000 BRT) in de periode 1966 - 1969 gebeurden op de rede van Vlissingen.

Op grond van het voorgaande kan worden gekonkludeerd dat er een duidelijk verband bestaat tussen de afmetingen van de vaargeul en het aantal, al dan niet zware, ongevallen op de Westerschelde. Dat de afmetingen van de vaargeul mede in relatie tot de bochtstraal, dwars-

stroom enz. gezien moet worden spreekt daarbij voor zich (en wordt, overigens, ook bevestigd door de uitgevoerde analyses).

Van een aantal ongevallen is nagegaan in hoeverre de vaargeulbreedte voldeed aan de ontwerpregels volgens hoofdstuk 4. Het betrof 5 zware ongevallen op "krappe" vaarwegvakken (zie §7.4) en 5 recente ongevallen bij Borssele, waarbij grote zeeschepen betrokken waren (zie §7.5). Op 2 uitzonderingen na was de vaargeulbreedte groter dan volgens de ontwerpregels in hoofdstuk 4 was vereist. Daaruit mag niet worden afgeleid dat die regels niet voldoende veilig zijn. Immers ze gelden slechts bij goed zicht (en hooguit matige windsterkte). En bij 7 van de 10 hiervoor genoemde ongevallen was beperkt zicht (mede) aanleiding tot het ontstaan van het ongeval (in 1 geval harde wind). Wel kan worden gekonkludeerd dat een vaarwegbreedte volgens de ontwerpregels onvoldoende is wanneer het zicht slecht is, althans bij de thans op de Westerschelde beschikbare positie-informatie van de schepen.

8. SIMULATIES VAN DE VAART MET MAATGEVENDE SCHEPEN LANGS BORSSELE EN BATH

8.1 Inleiding

Voor de beide trajekten op de Westerschelde die, bij afwezigheid van overig verkeer, door de maatgevende schepen het moeilijkst te passeren zijn, zijn een aantal vaarten met een 175.000 tdw massagoedschip en een trio-containerschip gesimuleerd. Het betreft de volgende situaties:

- passage richting Antwerpen van de drempel van Borssele tijdens vloedstroom;
- passage (richting Antwerpen) van het traject van de Zimmermangeul via de bocht van Bath tot en met de Schaar van de Noord, zowel met als zonder dwarsstroom.

De uitgevoerde simulaties hadden voornamelijk ten doel om na te gaan of variaties in waterdiepte, vaarwegbreedte en stroomsnelheid tot een duidelijk ander vaargedrag leiden dan bij de (zeer geschematiseerde) omstandigheden volgens hoofdstuk 6. Volstaan kon daarom worden met een beperkt aantal vaarten.

8.2 Toegepaste schematisaties

De simulaties zijn uitgevoerd met de wiskundige modellen, zoals beschreven in bijlage 1. Anders dan bij de in hoofdstuk 6 beschreven simulaties varieerden de waterdiepte en de stroomsnelheid over de trajekten (zie figuur 28). Het effect van de waterdiepte (t.p.v. het scheepszwaartepunt) op het manoeuvreergedrag is gesimuleerd door de manoeuvreercoëfficiënten, die voor enkele waterdiepten gemeten zijn (zie bijlage 1), voor tussenliggende waterdiepten te interpoleren. Voor waterdiepten groter dan of gelijk aan de grootste en kleiner dan of gelijk aan de kleinste waarde, waarvoor manoeuvreercoëfficiënten gemeten zijn, zijn die waarden aangehouden. Omdat de variatie in waterdiepte over de scheepslengte gering is, mag op fysische gronden worden verwacht dat de gehanteerde interpolatiemethode tot een realistische weergave van de manoeuvreereigenschappen leidt. Alleen daar waar de waterdiepte veel groter is dan de grootste diepte, waarbij nog manoeuvreercoëfficiënten zijn gemeten (met name bij het trio-containerschip in de bocht van Bath) zullen de gesimuleerde ma-

noeuvereigenschappen nogal afwijken van de werkelijkheid. Dat zal kunnen leiden tot een wat (te) geringe draaikapaciteit in de bocht.

De gesimuleerde stroomsnelheden volgens fig. 28 gelden nabij het wateroppervlak. Gemiddeld over de diepgang van het schip zal de stroomstroomsnelheid wat lager zijn. Het resultaat van de simulaties is daarom wat minder gunstig dan in werkelijkheid verwacht mag worden. Geladen maatgevende massagoedschepen in opvaart passeren de Zimmermangeul en de bocht van Bath op een moment, waarop de stroomsnelheid zeer beperkt is. Trio-containerschepen kunnen dit traject wel passeren onder stroomkondities zoals geschetst in figuur 28. Terwille van de vergelijkbaarheid van het vaargedrag van deze beide scheepstypen is ook met het massagoedschip een vaart bij sterke vloedstroom gesimuleerd.

De schepen werden bestuurd door een proefpersoon met praktisch-nautische ervaring. Ter oriëntatie had hij de beschikking over een radarbeeld, waarop een referentiebaan, de begrenzingen van de vaarweg, de boeien en enige landkenmerken waren gepresenteerd (zie o.a. fig. 29). De informatie m.b.t. de vaarwegbegrenzingen was hier duidelijk beter dan in de praktijk. Daarnaast werden de vaarsnelheid, de roerhoek, het toerental en de draaisnelheid (in graden/min.) in getalvorm gegeven. De stroomsterkte was niet op het beeldscherm gepresenteerd, maar de stroomkonditie was wel bekend gemaakt. De proefpersoon had tot taak zo goed mogelijk de referentiebaan (ongeveer overeenkomend met het midden van de vaargeul) te volgen.

8.3 Beschrijving van de uitgevoerde simulaties

De uitgevoerde simulaties zijn uitgewerkt in de vorm van vaarbaanplots. Daarnaast zijn de gebruikte roerhoeken en toerentallen op tijdbasis geregistreerd.

In figuur 29 zijn de resultaten gepresenteerd van een vaart met het 175.000 tdw massagoedschip langs Borssele, tijdens sterke vloedstroom. De hinder die het schip van de dwarsstroom ondervindt is hier beperkt. De dwarsstroom wordt tijdens deze vaart goed gekompenseerd door op het juiste moment op te sturen, zonder dat daarbij extreme roerhoeken zijn toegepast. De resultaten van eenzelfde vaart met een trio-containerschip zijn gegeven in figuur 30. Het containerschip wordt veel meer weggezet door de stroom. De reden hiervoor is gelegen in de

minder goede manoeuvre-eigenschappen van het trio-containerschip. De proefpersoon gebruikt hier bij het besturen van het containerschip gemiddeld ongeveer dezelfde roerhoeken als bij de tanker. Verwacht mag worden dat, wanneer grotere roerhoeken worden gebruikt, het containerschip op de referentiebaan gehouden kan worden. Voorwaarde hierbij is wel, dat de navigator vrijwel precies weet waar de dwarsstroom begint en eindigt en grote ervaring heeft met de vaart met schepen, die eenzelfde manoeuvreergedrag vertonen als trio-containerschepen.

Figuur 31 geeft de resultaten van een vaart met het massagoedschip door de bocht van Bath bij stilstaand water. Het inzetten van de bocht naar rechts gebeurt met vrij grote roerhoeken. Als gevolg hiervan draait het schip (te) snel, waardoor naderhand roer moet worden teruggenomen. Vervolgens wordt opnieuw fors stuurboord roer gegeven, waarna opnieuw roer terug wordt genomen. Dit is mogelijk deels in de hand gewerkt door de presentatie van de referentielijn als een verzameling koordes. Er werd weinig gebruik gemaakt van tijdelijke verhogingen van het schroeftoerental om het draaien van het schip te bevorderen.

De resultaten van een vaart onder dezelfde omstandigheden met het trio-containerschip zijn gepresenteerd in figuur 32. Tijdens deze vaart wordt vrijwel continu sterk stuurboord roer gegeven om de vereiste draaisnelheid te houden. Ter hoogte van de Schaar van de Noord wordt ook nog een toerenstoot gegeven. Ten gevolge van de roer-schroef configuratie (een enkel roer tussen beide schroeven) reageert het schip daarop slechts matig.

In figuur 33 en 34 is de vaart met maatgevende schepen, die tijdens vloedstroom de Bocht van Bath passeren, gegeven. Reeds eerder is opgemerkt dat de tijpoort van geladen massagoedschepen zodanig is, dat deze situatie voor zulke schepen in de praktijk niet (vaak) zal voorkomen. Het is wel duidelijk dat dit schip als gevolg van de dwarsstroom fors moet opsturen. Na passage van het dwarsstroomveld komt het schip (door de invloed van de stroomgradiënt) iets aan bakboord van de referentielijn terecht. Door de dwarsstroom ter hoogte van de Schaar van de Noord wordt het van de referentielijn weggezet. De stroomgradiënt ter hoogte van de Zimmermangeul wordt overwonnen door gebruik te maken van

grote roerhoeken, in combinatie met een tijdelijk verhoogd schroeftoerental. De vaart met het trio-containerschip vertoont in versterkte mate hetzelfde beeld: de afwijkingen van de referentiebaan zijn groter, ondanks het toepassen van grote roerhoeken en toerenstoten.

8.4 Konklusies

Zoals eerder opgemerkt hadden de uitgevoerde simulaties voornamelijk tot doel na te gaan of variaties in vaarweggeometrie en stroomsnelheid tot een duidelijk ander vaargedrag leiden dan onder de veel sterker geschematiseerde omstandigheden zoals onderzocht in hoofdstuk 6. Voor de hiervoor beschreven situaties werd volstaan met één "meting" door de proefpersoon, voorafgegaan door enkele "gewenningsvaarten". Op grond van deze beperkte simulaties kan worden gekonkludeerd dat het vaargedrag niet in sterke mate afwijkt van wat op grond van de ontwerpregels verwacht kan worden.

Hoewel voor het trekken van "harde" konklusies m.b.t. vaarwegafmetingen en "toelaatbare verkeerssituaties" een veel uitgebreider simulatie-onderzoek met vele vaarten, meerdere proefpersonen en een realistischer presentatie van de vaarwegkenmerken vereist is, kan op grond van het uitgevoerde onderzoek toch een aantal voorzichtige konklusies m.b.t. de vaart van de maatgevende schepen op deze trajekten getrokken worden:

- het trio-containerschip is duidelijk slechter manoeuvreerbaar dan het massagoedschip, in die zin dat grotere roerhoeken nodig zijn om het schip te laten draaien en dat een tijdelijke verhoging van het schroeftoerental weinig effect sorteert. Hierbij moet worden aangekend dat de grootste kielspeling, waarbij manoeuvreerkoëfficiënten bekend waren, 40% bedroeg. Vooral in de bocht van Bath was hier en daar meer water onder de kiel beschikbaar.
- de gesimuleerde dwarsstroom bij de Zimmermangeul wordt als zeer hinderlijk voor een veilige vaart ervaren. In tijden waarin het stroombeeld en de stroomsnelheden, zoals toegepast bij de berekeningen, ter plaatse optreden moeten ontmoetingen tussen maatgevende schepen daar zeker vermeden worden.
- Uitgaande van de lodingsgegevens uit 1981 is de vaargeul t.h.v. de Schaar van de Noord voor de maatgevende schepen aan de (te) krappe

kant. Ontmoetingen van maatgevende schepen zijn daar bij die breedte zeker niet veilig mogelijk.

- Het maatgevende massagoedschip ondervond geen extreme hinder van de dwarsstroom ter hoogte van de drempel van Borssele. Het trio-containerschip ondervond daar duidelijk meer hinder.

9. SAMENVATTING ONTWERPREGELS VOOR DE WESTERSCHELDE

De breedte van de benodigde vaarstrook van ieder schip is afhankelijk van het type schip en de aktuele waterdiepte. In paragraaf 4.2.2. zijn daarvoor de volgende regels afgeleid:

	$h/T < 1,3$	$1,3 < h/T < 1,5$	$h/T > 1,5$
massagoedschip	$B_v = 2,5 B$	$B_v = 1,8 B$	$B_v = 1,8 B$
containerschip	$B_v = 3B$	$B_v = 2,5 B$	$B_v = 1,8 B$
niet-getijgebonden vrachtschip (L= 190 m; B= 24 m)	$B_v = 3B$	$B_v = 2,5 B$	$B_v = 1,8 B$

Op grond van de in hoofdstuk 5 beschreven metingen op de Westerschelde is geconstateerd dat de vaarstrookbreedte voor derde generatie containerschepen op ruim water ($h/T > 1,5$) moet worden verhoogd tot $2,5B$.

Voor de breedte van de bermstrook (paragraaf 4.2.3) zal een waarde van $1B$ aangehouden worden.

De breedte van de veiligheidsstrook (par. 4.2.4) bij ontmoeten wordt gelijk gesteld aan $1,5 \bar{B}$, terwijl bij oplopen een waarde van $3 \bar{B}$ nodig is. Hierin is \bar{B} gelijk aan het gemiddelde van de breedten van beide in de verkeerssituatie betrokken schepen.

Wat betreft de benodigde extra breedte van de vaarstroken in bochten is in paragraaf 4.2.5 een overzicht van verschillende rekenmethoden gegeven. De volgende waarden voor de overbreedte worden hier aangehouden:

- a. in de huidige bocht bij Bath wordt gerekend met een overbreedte van $0,8 B$ voor derde generatie containerschepen en $0,6 B$ voor de overige schepen;
- b. in de overige bochten met een grotere bochtstraal, zoals Hansweert, Walsoorden, Valkenisse en Saeftinge, wordt gerekend met een overbreedte van $0,6 B$ voor derde generatie containerschepen en $0,5 B$ voor de overige schepen.

De overbreedte van de vaarstroken t.g.v. de dwarstromen zijn niet op een eenvoudige wijze te bepalen, daar de bodemfiguratie zich onder invloed van de waterbeweging wijzigt. Dit veroorzaakt wisselingen in het stroombeeld. Op basis van de literatuur (hfdst. 4), berekeningen (hfdst. 6) en de snelheden van de maatgevende schepen zijn de volgende

ontwerpregels afgeleid:

1. op plaatsen waar tijdens de passage een hoge dwarsstroomsnelheid (1 - 1,5 m/s) optreedt moet voor massagoedschepen met een extra breedtebeslag van 1,5 maal de scheepsbreedte rekening worden gehouden voor containerschepen met 2B.
2. op plaatsen waar tijdens de passage dwarsstroomsnelheden van 0,5 - 1 m/s optreden dient rekening gehouden te worden met een extra breedtebeslag van 1 maal de breedte van het ter plaatse maatgevende schip;
3. bovenstrooms van de Overloop van Valkenisse moet i.v.m. de lage snelheid van de opvarende schepen (vastmaken sleepboten) rekening gehouden worden met een groter breedtebeslag. Dit ligt in de orde grootte van tweemaal de onder 1 en 2 genoemde waarden.

In geval van sterke dwarswind (7 à 8 Bft) moet voor lege massagoedschepen rekening worden gehouden met een extra breedtebeslag van 1B, voor grote containerschepen met 1,5B. Bij lagere windsnelheden (5 à 6 Bft) is voor deze schepen een extra breedte van 0,5B à 1B nodig.

De bovenstaande ontwerpregels voor de Westerschelde zijn, voor een aantal maatgevende schepen, samengevat in tabel 19. Ze vormen de basis voor de berekening van de toelaatbare verkeerssituaties voor de doorgaande vaart op de Westerschelde. Voor manoeuvres zoals het in- en uitvaren van havens aan de Westerschelde zijn de gegeven ontwerp-regels dus niet geldig. Met effecten zoals het anticiperen op de verkeerssituatie en sterke vaarsnelheidsveranderingen is daarin geen rekening gehouden. Verder is er van uitgegaan dat voldoende zicht beschikbaar is en dat de schepen voorzien zijn van een loods en de thans algemeen gebruikelijke navigatie-hulpmiddelen.

10. MOGELIJKE KNELPUNTEN IN DE VERKEERSAFWIKKELING

10.1 Toelaatbare verkeerssituaties in vaargeulen met een breedte van 300 m en 500 m

Op basis van de ontwerpregels, zoals deze in hoofdstuk 9 samengevat zijn, is nagegaan welke verkeerssituaties op de diverse trajekten van de Westerschelde nog toelaatbaar zijn. Eerst is nagegaan welke ontmoetingen toelaatbaar zijn in een recht vaarwegvak (zonder dwarsstroom). Vervolgens is nagegaan welke ontmoetingen nog toelaatbaar zijn in bochten in de vaargeul en onder invloed van dwarsstromen. Deze informatie is in figuur 35 weergegeven. De toelaatbaarheid van oploopmanoeuvres in vaargeulen met een breedte van 300 m en 500 m wordt voor dezelfde condities voor wat betreft bochten en dwarsstromen in figuur 36 weergegeven.

Uit deze figuren blijkt dat bij een vaargeulbreedte van 300 m resp. 500 m niet alle ontmoetingen of oploopmanoeuvres met maatgevende schepen veilig plaats kunnen vinden.

Op trajekten, waar een vaargeul van 300 m breedte onderhouden zal worden, zijn in het algemeen vrij weinig verkeerssituaties toelaatbaar, waarbij meer dan één getijgebonden schip betrokken is. Er zijn vrijwel geen oploopmanoeuvres mogelijk, waar getijgebonden schepen bij betrokken zijn. Bij een vaargeulbreedte van 300 m zal de passage van massagoedschepen dus vrij grote problemen voor de afwikkeling van het overige scheepvaartverkeer tot gevolg kunnen hebben. Met name bij Borssele, Bath, Hansweert en Walsoorden (Baalhoek) zijn de mogelijkheden om andere schepen te ontmoeten beperkt.

Bij een te onderhouden vaargeulbreedte van 500 m zijn ook in bochten en bij dwarsstroom veel ontmoetingsmanoeuvres tussen maatgevende getijgebonden schepen mogelijk. Uiteraard zijn niet alle in principe mogelijke oploopmanoeuvres overal toelaatbaar. Driestrooksverkeer is niet onder alle omstandigheden mogelijk. De vaargeulbreedte van 500 m is echter in veruit de meeste gevallen voldoende om tweestrooksverkeer, ook van maatgevende getijgebonden schepen, op een goede wijze af te kunnen wikkelen.

10.2 Mogelijke knelpunten bij de vaart met specifieke schepen

In de vorige paragraaf is aangegeven welke verkeerssituaties mogelijk zijn bij een vaargeulbreedte van 300 m resp. 500 m. Daarbij werd nog geen rekening gehouden met de vaarschema's (fig. 2) van de getijgebonden schepen, waardoor een aantal verkeerssituaties slechts op een deel van de vaarweg naar Antwerpen kunnen voorkomen. Desondanks was toch al duidelijk dat verschillende, gezien de vaarschema's mogelijke, ontmoetings- en oploopmanoeuvres niet overal mogelijk zijn. In de volgende paragrafen wordt voor de belangrijkste maatgevende schepen nagegaan waar dergelijke situaties optreden. Tevens is bezien waar, buiten de te onderhouden vaargeulbreedtes van 300 m resp. 500 m, volgens de in 1980 aanwezige bodemconfiguratie wel voldoende ruimte beschikbaar was om deze verkeerssituaties veilig te kunnen afwickelen.

10.3 Geladen opvaart van het massagoedschip (L = 300 m, B = 50 m)

De maatgevende massagoedschepen hebben een lengte van 300 m en een breedte van 50 m. Afhankelijk van de aktuele diepgang (T) zullen deze schepen in 1 getij ($T < 14,64$ m of 48') of in 2 getijden ($T = 14,64 - 15,25$ m, of 48' - 50') opvaren naar Antwerpen. Tijdens de opvaart van een massagoedschip met een diepgang van 14,64 m (48') met een kielspeling van 15% is dan nabij Borssele (300 m breed) geen ruimte meer beschikbaar om schepen te ontmoeten (bij een dwarsstroomsnelheid van 1 tot 1,5 m/s). Het grootste schip dat een opvarend maatgevende massagoedschip in principe kan tegenkomen is een ongeladen of geballast afvarend massagoedschip ($T < 10,67$ m of 35'). Afgezien van de drempel bij Borssele is de ontmoeting met zo'n schip zeewaarts van Hansweert overal mogelijk. Ten oosten van Hansweert zijn dergelijke ontmoetingen bij een vaargeulbreedte van 300 m nergens veilig mogelijk. Dat zou er toe kunnen leiden dat de afvaart van deze ongeladen massagoedschepen meestal slechts gedurende een deel van het getij mogelijk is en wel alleen als er geen opvaart van getij- en geulgebonden scheepvaart is.

Ontmoetingen tussen een opvarend geladen massagoedschip en geladen afvarende derde-generatie containerschepen of geladen Panamax-schepen zijn in 500 m brede trajekten zonder meer mogelijk. In het oostelijk deel van de Bocht van Hansweert, waar volgens het vaarschema (figuur 2) ontmoetingen met geladen Panamax-schepen of derde-generatie containerschepen kunnen voorkomen, is een breedte van 300 m niet overal voldoende. In 1980 was hier echter een grotere breedte beschikbaar (fig. 4), die voldoende ruimte biedt om deze ontmoetingen veilig uit te voeren.

Op 500 m brede trajekten kunnen ook alle andere schepen, die een geladen massagoedschip kan tegenkomen, veilig worden ontmoet. Anderzijds kunnen t.p.v. de drempel van Borssele in het geheel geen andere schepen worden ontmoet.

Ontmoetingen met binnenschepen en kustvaarders zijn ten oosten van Hansweert vrijwel overal mogelijk, zeker wanneer rekening wordt gehouden met de in 1980 beschikbare bodemligging en de relatief geringe diepgang van deze schepen. Dat geldt echter niet voor bijvoorbeeld 4-baks duwstellen en grotere niet getijgebonden zeeschepen.

Zeeschepen tot ca. 4000 DWT kunnen bij een vaargeulbreedte van 300 m alleen op de rechte trajekten tussen de bochten nog veilig worden ontmoet, voor zover daar tenminste geen sterke dwarsstroom staat. Wanneer rekening wordt gehouden met de in 1980 aanwezige "extra" vaargeulbreedte buiten de te onderhouden geul zijn op een aantal punten ontmoetingen met wat grotere schepen nog mogelijk. Ontmoetingen tussen geladen massagoedschepen en niet-getijgebonden derde-generatie containerschepen of ongeladen Panamax-schepen zijn echter op het traject Hansweert-Antwerpen volgens de ontwerpregels nergens veilig mogelijk.

Oploopmanoeuvres, waarbij meer dan één maatgevend massagoedschip betrokken is, zijn voor de normale opvaart niet nodig. Na het loodswisselen in Vlissingen kunnen deze massagoedschepen in de volgorde, waarin geschut zal worden, opvaren. In de toekomst kan het in juiste volgorde laten opvaren van de maatgevende getijgebonden massagoedschepen organisatorisch wat moeilijker worden, zeker wanneer naast de sluis te Zandvliet ook de Berendrechtssluis en, wellicht, de Baalhoekssluis in werking komen. Hoewel theoretisch op grote delen

van de 500 m brede trajekten dergelijke oploopmanoeuvres mogelijk zouden zijn worden dergelijke manoeuvres, gezien de grote benodigde lengte toch afgeraden. Echte problemen behoeft dit bij een goede afstemming van de vaarschema's niet op te leveren.

Afgezien van de drempel van Borssele is ten westen van Hansweert vrijwel overal voldoende ruimte beschikbaar voor het oplopen van een geladen maatgevend massagoedschip door een (al dan niet geladen) derde-generatie containerschip.

Uiteraard verdient het de voorkeur de opvaart van de betrokken schepen zodanig te regelen, dat dergelijke manoeuvres niet nodig zijn. Hetzelfde geldt voor oploopmanoeuvres waarbij kleinere schepen betrokken zijn.

Op de 300 m brede trajekten zijn nergens oploopmanoeuvres mogelijk waarbij het maatgevende massagoedschip betrokken is. Uiterlijk ter hoogte van Hansweert zouden de naar Antwerpen opvarende zeeschepen dus in de goede volgorde voor schutten in de sluizen bij Antwerpen moeten varen.

10.4 Opvaart van het "oorspronkelijke" maatgevende massagoedschip (290 x 42,5 m²)

Op dit moment bestaan er (nog) vrijwel geen massagoedschepen met de "maatgevende" horizontale afmetingen van 300 x 50 m² (zie ook nota S 80.20.01 [1]). Wel komen vrij veel schepen met wat kleinere afmetingen voor. Om een indruk van het effect in de spreiding van scheepsafmetingen per "klasse" maatgevende schepen te krijgen is daarom tevens de opvaart van het "oorspronkelijke" maatgevende schip gezien. Uitgaande van de in hoofdstuk 9 gegeven rekenregels, kan op eenvoudige wijze worden nagegaan in hoeverre bij de opvaart van deze iets kleinere schepen (290 x 42,5 m²) nog problematische situaties bestaan op met name de 300 m brede trajekten. Ten opzichte van de opvaart met het maatgevende massagoedschip (L = 300 m, B = 50 m) veranderen de in paragraaf 10.3 getrokken konklusies als volgt:

1. derde-generatie containerschepen en Panamaxschepen kunnen het geladen massagoedschip ten oosten van Hansweert niet ontmoeten; zelfs

- niet op rechte trajekten. Slechts bij Walsoorden zijn er enige mogelijkheden als er gebruik gemaakt kan worden van de in 1980 beschikbare vaargeul;
2. niet-getijgebonden vrachtschepen (L = 190 m, B = 24 m) kunnen op de rechte trajekten in de te onderhouden vaargeul ten oosten van Hansweert ontmoet worden. Ontmoeten is niet mogelijk in bochten (R = 1500 - 3000 m) en bij sterke dwarsstromen. Nabij de bocht van Walsoorden (het Zuidergat) zijn die ontmoetingen wel mogelijk mits gebruik gemaakt kan worden van de in 1980 beschikbare vaargeul.
 3. de eindkonklusies m.b.t. de (on)mogelijkheden van de oplooptmanoeuvres veranderen niet wezenlijk.

10.5 Afvaart van een maatgevend massagoedschip

Tijdens de afvaart van een maatgevende massagoedschip (L = 300 m, B = 50 m, aktuele diepgang maximaal 10,67 m of 35') zijn in principe ontmoetingen op het te onderhouden 500 m brede trajekt goed mogelijk. Op de 300 m brede trajekten zijn er gezien het benodigde breedtebeslag naar verwachting geen mogelijkheden om andere maatgevende massagoedschepen, geladen containerschepen en Panamax-schepen te ontmoeten. Binnen de in 1980 beschikbare vaargeul was het in theorie alleen nabij de Overloop van Valkenisse mogelijk om dergelijke ontmoetingen uit te voeren. Ontmoetingen met niet getijgebonden vrachtschepen (L = 190 m, B = 24 m) zullen binnen de te onderhouden 300 m brede geul op diverse plaatsen (bijv. Walsoorden en mits de dwarsstroomhinder gering is, nabij de Zimmermangeul) mogelijk zijn.

10.6 Vaart van een containerschip (L = 288 m, B = 33 m) en van een Panamax-schip (L = 260 m, B = 32 m)

Bij de praktijkregels voor de vaart op de Westerschelde zijn de verschillende strookbreedtes steeds gerelateerd aan de breedte van het betreffende schip. Alleen bij de berekening van het extra breedtebeslag van schepen in bochten en in dwarsstroom (par. 4.2.5) speelt de lengte van het schip een rol, die overigens ook daar relatief van minder belang is dan de breedte van het schip.

Gezien de geringe verschillen in breedte tussen het maatgevende containerschip en het Panamax-schip ($B_{\text{container}} = 33 \text{ m}$ en $B_{\text{Panamax}} = 32 \text{ m}$) zullen de benodigde strookbreedten van deze scheepstypen slechts weinig van elkaar afwijken. Het breedtebeslag van het Panamax-schip is wat kleiner dan van het containerschip. In het navolgende zal alleen nog gesproken worden over het maatgevende containerschip, dat ook representatief wordt geacht voor de Panamax-schepen.

Voor zover deze in de voorgaande paragrafen nog niet aan de orde is geweest, is nagegaan welke voorkomende verkeerssituaties met een containerschip met een h/T -verhouding van minder dan 1,3 op grond van de ontwerpregels al dan niet aanvaardbaar geacht worden. Daaruit volgt:

1. op de 500 m brede trajekten kunnen zowel oploop- als ontmoetingsmanoeuvres met containerschepen en kleinere schepen veilig afgewikkeld worden.
2. Derde generatie geladen ($h/T < 1,3$) containerschepen en geladen Panamax-schepen ($h/T < 1,3$) kunnen op het gehele 300 m brede traject niet worden ontmoet. Wel zijn daar enige trajekten aanwezig waar, bij de in 1980 aanwezige bodemconfiguratie, deze ontmoetingen wel mogelijk zijn.
3. Lege Panamax-schepen ($h/T > 1,5$) kunnen over het grootste deel van het traject tussen Hansweert en Zandvliet wel veilig worden ontmoet. Dit geldt zeker wanneer gebruik wordt gemaakt van de in 1980 buiten de te onderhouden vaargeul aanwezige gebieden met voldoende diepte.
4. Niet getijgebonden vrachtschepen ($L = 190 \text{ m}$, $B = 24 \text{ m}$) kunnen binnen de 300 m brede vaargeulen op de meeste plaatsen worden ontmoet. Dit geldt echter niet op plaatsen als Borssele en t.p.v. de Zimmermangeul, indien tijdens de passage grote dwarsstromen aanwezig zijn.
5. Op de 300 m brede trajekten zou het geladen containerschip door niet getijgebonden, goed bestuurbare vrachtschepen ($L = 190 \text{ m}$, $B = 24 \text{ m}$ met $h/T > 1,5$) alleen op enkele trajekten (bijv. Walsoorden, Zimmermangeul zonder dwarsstroomhinder) opgelopen kunnen worden.

10.7 Samenvatting

Op basis van de in dit hoofdstuk gepresenteerde informatie blijkt dat in de te onderhouden vaargeul met een breedte van 500 m naar verwachting geen problemen met de afwikkeling van het scheepvaartverkeer te verwachten zijn. Hierbij geldt wel de voorwaarde dat oploopmanoeuvres tussen de geulgebonden schepen zoveel mogelijk vermeden dienen te worden.

In de 300 m brede vaargeul zijn zeker bij de maatgevende getijgebonden schepen problemen met de vlotte afwikkeling van het scheepvaartverkeer te verwachten. Ontmoetingen zijn onder diverse omstandigheden niet meer aanvaardbaar. Voor massagoedschepen (L = 300 m, B = 50 m) met een kielspeling van 15% is zelfs (in geval van grote dwarsstromen) éénstrooksverkeer nauwelijks acceptabel.

De volgende plaatsen op de Westerschelde moeten als belangrijke knelpunten in de vlotte afwikkeling van het geulgebonden verkeer met maatgevende schepen gezien worden:

- de bocht bij Bath, gekombineerd met de Zimmermangeul;
- de drempel van Borssele;
- mogelijk de bochten van Hansweert en Walsoorden.

Verder kunnen zich daar problemen voor doen, waar een grote verkeersintensiteit is of waar veel gemanoeuvreed wordt (haveningangen, sluiscomplexen enz.). Als voorbeelden hiervan kunnen genoemd worden Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Zandvliet. Alvorens de minimaal benodigde geulafmetingen en (eventuele) bijbehorende verkeersafspraken op het traject Hansweert-Zandvliet kunnen worden vastgesteld is een gedegen simulatie-onderzoek van het in de toekomst te verwachten scheepvaartverkeer nodig.

11. EFJEKT VAN TOEKOMSTIGE INFRASTRUKTURELE WERKEN OP DE AFWIKKELING VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER

11.1 Inleiding

In de nabije en verdere toekomst zullen er wellicht diverse civiel-technische werken uitgevoerd worden, die op dit moment nog in het planstadium verkeren. Ten gevolge van deze werken zal de bodemkonfiguratie of het aanbodspatroom van de scheepvaart kunnen veranderen.

In dit hoofdstuk zal de mogelijke invloed van de volgende werken op de afwikkeling van het scheepvaartverkeer behandeld worden:

1. de verbetering van het Kanaal door Zuid Beveland
2. de vaste oeververbinding over de Westerschelde
3. het Baalhoekkanaal
4. de bochtafsnijding bij Bath
5. het spuikanaal bij Bath
6. de Berendrechtsluis.

De plaats van deze werken is globaal in figuur 37 weergegeven.

De invloed van de eventuele realisatie van een stormvloedkering in de Schelde nabij Antwerpen op de ontwikkeling van het scheepvaartverkeer zal in dit kader niet behandeld worden.

11.2 De verbetering van het Kanaal door Zuid Beveland

Een van de doelstellingen van het verbeteren van het Kanaal door Zuid Beveland is het kanaal geschikt te maken voor schepen met grotere afmetingen, waaronder vierbaksduwstellen. Deze duwstellen zullen naar verwachting de Westerschelde tussen Hansweert en Terneuzen en in kleinere aantallen mogelijk tot Vlissingen bevaren.

Over het aantal vierbaksduwstellen en grotere binnenschepen dat in de toekomst het verbeterde kanaal zal passeren bestaat geen zekerheid. In prognoses van de direktie Zeeland en de dienst Verkeerskunde wordt er thans van uitgegaan dat er, na realisatie van de verbetering, na 1995 gemiddeld genomen per dag niet meer dan 2 à 3 lege en geladen vierbaksduwstellen de sluisen in Hansweert zullen passeren. Onder zeer extreme omstandigheden zal rekening gehouden moeten worden met een aanbod van ten hoogste 5 à 10 duwstellen per dag.

Bij het onderzoek naar de verkeersafwikkeling zal met deze duwstellen rekening gehouden moeten worden. Dit geldt in principe ook voor de overige vaart op het kanaal, waarvoor ook met schaalvergroting rekening gehouden zal moeten worden.

Het breedtebeslag van de 22,80 m brede duwstellen komt in eerste benadering globaal genomen overeen met dat van de maatgevende niet getijgebonden vrachtschepen met afmetingen van 190 x 24 m² (zie ook hoofdstuk 3). De duwkonvoeien zouden dus in de klasse van de niet getijgebonden vrachtschepen ondergebracht kunnen worden. De bevaarbare breedte van de vaargeul is voor de weinig diepstekende (maximaal vierbaks) duwstellen evenwel groter dan voor de niet getijgebonden vrachtschepen en verder zijn de manoeuvreereigenschappen minstens zo goed. De duwstellen zullen zich, evenals de overige scheepvaart, om veiligheidsredenen steeds binnen de door de tonnenlijn gemarkeerde vaargeul bevinden.

Bij het in- en uitvaren in de nieuwe voorhaven van de schutsluis van Hansweert zal (zie figuur 38), evenals dat nu het geval is met de bestaande voorhaven, rekening gehouden moeten worden met de doorgaande vaart op de Westerschelde. De regelende en coördinerende taak van de verkeerspost Hansweert zal in dit kader zeker nodig blijven. Dit geldt ook voor de afwikkeling van het duwvaartverkeer, dat zich zal moeten aanpassen aan de doorgaande zeevaart op de Westerschelde.

Overigens wordt niet verwacht, dat het in- en uitvaren van de nieuwe voorhaven problemen op zal leveren [22].

11.3 De vaste oeververbinding over de Westerschelde

De "Westerschelde Oeververbinding" zal de hoofdvaarroute ter hoogte van Hansweert met een tunnel kruisen*. Op een kunstmatig eiland gaat de tunnel over in de brug (figuur 39). Er bestaat nog een tweetal alternatieven voor de brug over het nevenvaarwater: een hangbrug en een pijlerbrug. Bij dit laatste type brug zullen er vrij grote stroomsnelheden tussen de pijlers optreden, waardoor er wellicht meer schepen de hoofdvaarroute zullen nemen. Gezien de relatief geringe verkeersintensiteit op dit traject zal dit nauwelijks problemen opleveren.

Het stroombeeld in de hoofdvaarroute zal nauwelijks door de aanleg van de tunnel beïnvloed worden. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de

* De gegevens m.b.t. de oeververbinding zijn ontleend aan brief nr. 1273, d.d. 25-5-1982, van de RWS, Adviesdienst Vlissingen aan de RWS, dienst Verkeerskunde.

oever van de Schaar van Ossenisse in voldoende mate worden vastgelegd. Ook de breedte en diepte van de vaargeul zullen niet door de tunnel beperkt worden. De tunnelbuis zal namelijk zodanig gelegd worden dat er voor de vaart van schepen met een diepgang van 14,64 m (48') of 15,25 m (50') geen belemmeringen optreden.

Samenvattend kan daarom gesteld worden dat deze oeververbinding geen wezenlijke invloed op de vergroting van de bevaarbaarheid van de vaargeul naar Antwerpen zal hebben.

11.4 Het Baalhoekkanaal

De ingebruikneming van het Baalhoekkanaal (zie fig. 40) zal het verkeer op de Westerschelde kunnen beïnvloeden. Gezien de voorgestelde afmetingen van de sluis (lengte 500 m, breedte 68 m) kunnen per schutting 4 schepen van ca. 30.000 t_{dw} geschut worden. Ook de voor het verdiepingsproject maatgevende massagoedschepen (300 x 50 m²) kunnen deze sluis passeren.

Gezien de onzekerheden in de ontwikkeling van het havengebied op de westelijke Schelde-oever en de termijn waarop het project gereed zal zijn, wordt de invloed van het extra verkeersaanbod niet in de later te behandelen verkeerssimulatie meegenomen.

Getijgebonden, maatgevende schepen met de Baalhoeksluizen als bestemming zullen, gezien de voorgestelde dieptes t.p.v. de drempel van Borssele, de overlopen van Hansweert en Valkenisse en het Zuidergat nagenoeg dezelfde vaarschema's aanhouden als de getijgebonden schepen naar Antwerpen. Voor de Baalhoeksluizen zullen de maatgevende schepen reeds in de omgeving van Hansweert gaan afstoppen. Hierdoor zal het benodigde breedtebeslag toenemen (zie par. 4.2.5). Om oplooptrajecten op het traject Hansweert-Baalhoek te vermijden, is het aan te bevelen om de schepen vanaf de loodspost in het Scheur of ten laatste vanaf de Rede van Vlissingen in de juiste volgorde te laten vertrekken.

Aanleg van het Baalhoekkanaal zal er toe leiden, dat ook andere dan de maatgevende schepen met dat kanaal als bestemming tussen Hansweert en Baalhoek vaart zullen minderen. Wellicht is om die reden verbreding van een deel van het vaarwegtraject noodzakelijk. Zodra definitief tot aanleg van het Baalhoekkanaal besloten wordt, zal een en

ander nader onderzocht en zonodig uitgevoerd moeten worden. Verwacht mag worden dat dan ook meer informatie over de praktijk met de vaart van maatgevende schepen op de Westerschelde beschikbaar is. Hierdoor zullen dan optimale randvoorwaarden voor de analyse van de ter plaatse optredende verkeerssituaties ter beschikking staan.

11.5 De bochtafsnijding bij Bath

Voor de bochtafsnijding bij Bath werd indertijd uitgegaan van een dwarsprofiel met een bodembreedte van 372 m en een bodemligging van 14,40 m beneden het NAP-vlak. De gewenste bochtstraal bedroeg 3000 m in de as van de vaarbaan. In een tweetal studies. ([23] en [24]) is uitgebreid onderzocht of deze bocht geschikt was voor de vaart met derde generatie containerschepen en 80.000 DWT massagoedschepen. Een samenvatting van deze studies wordt gegeven in de nota "Scheepvaartonderzoek bochtafsnijding Bath" [25], waaruit de volgende konklusies en aanbevelingen geciteerd zijn:

"Konklusies

"Naar aanleiding van het verrichte scheepvaartonderzoek wordt het volgende gekonkludeerd:

- "- De dimensionering van de bochtafsnijding Bath is voldoende voor een
" veilige en vlotte verkeersafwikkeling in de komende decennia, mits
" de schepen niet essentieel groter zijn dan de voor de NSP-studie
" aangenomen maatgevende schepen.
- "- Voor een ontmoeting van de grootste beschouwde schepen is de vaar-
" weg krap, doch bij toepassen van goed zeemanschap (aangepaste vaar-
" snelheden, goede kommunikatie tussen de loodsen, enz.) wel voldoende
" veilig.
- "- Voor een veilige doorvaart bij havenomstandigheden dient de keel-
" clearance bij de maatgevende tanker tenminste 10% van de diepgang
" en bij de trio-container tenminste 20% van de diepgang te bedragen.
" Indien met hogere snelheden dan "havensnelheid" wordt gevaren, dient
" meer water onder de kiel aanwezig te zijn.

"Aanbevelingen

"Op basis van het scheepvaartonderzoek worden de volgende aanbevelingen met betrekking tot het gebruik van de bochtafsnijding Bath gedaan:

- "- Bij de training van de loodsen dient aan de behandeling van grote tankers en derde generatie containerschepen en aan het varen op instrumenten grote aandacht besteed te worden.
- "- Er dienen voorschriften met betrekking tot de aanwezigheid van een bochtaanwijzer of kompas op dergelijke grote schepen opgesteld te worden.
- "- De ruimte onder de kiel, alsmede de scheepsafmetingen, dienen op een reglementaire of middels een op het reglement gebaseerd voorschrift van de bevoegde autoriteit aan een minimum, resp. maximum gebonden te zijn."

Naar aanleiding van deze nota werden er van Belgische zijde nog een aantal vragen gesteld. Enkele punten uit de reactie [26] zijn in het onderstaande samengevat.

De bochtafsnijding bij Bath zal voor grote massagoedschepen (125.000 dwt) bevaarbaar zijn, mits voldoende kielspeling in acht genomen wordt en de vaarsnelheid aan de relatief krappe situatie aangepast wordt.

Over ontmoetingen van grote massagoedschepen (125.000 dwt) en derde generatie containerschepen in de bochtafsnijding wordt opgemerkt, dat dergelijke verkeerssituaties voorshands voorkomen dienen te worden. Indien er t.z.t. voldoende ervaring met dergelijke schepen op de betrokken vaarweg opgedaan is, zou onderzocht kunnen worden of en zo ja onder welke condities dergelijke ontmoetingen veilig mogelijk zijn.

Daar de huidige maatgevende massagoedschepen ($300 \times 50 \text{ m}^2$) aanmerkelijk groter zijn dan een 125.000 dwt massagoedschip (ca. $275 \times 42,5 \text{ m}^2$) zouden op grond van [26] ontmoetingen van deze maatgevende schepen in de bochtafsnijding met grote schepen of derde generatie containerschepen voorkomen dienen te worden. Ook volgens de ontwerpregels (hoofdstuk 9) is een dergelijke ontmoeting in de bochtafsnijding niet veilig mogelijk. Volgens deze regels en de simulaties in hoofdstuk 6 lijkt de passage van de bochtafsnijding door een maatgevend massagoedschip bij

de voorgestelde kielspeling van tenminste 15% onder normale condities zonder veel problemen mogelijk te zijn.

Tenslotte kan nog opgemerkt worden, dat de vaarweg ten gevolge van de bochtafsnijding met ca. 3 km verkort wordt (zie fig. 41). Dit heeft tot gevolg dat de getijpoorten [1] enigszins verruind kunnen worden.

11.6 Het Spuikanaal bij Bath

Door het Spuikanaal (zie figuur 42) zal vanuit het Zoommeer op de Westerschelde geloosd worden. Het gaat hierbij om debieten van maximaal $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (momentaan bij laag water). Dit komt globaal genomen overeen met $150 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld over het getij.

Slechts in de direkte nabijheid van de spuisluis zullen de stroomsnelheden aanzienlijk veranderen. De watersnelheden zijn daar (nabij de Appelzak) in de huidige situatie niet groot: tot $0,20 \text{ m/s}$ in de eb- en tot $0,50 \text{ m/s}$ in de vloedfase van het getij.

De stroomsnelheden in de nabijheid van de aansluiting van de Appelzak aan het hoofdvaarwater nabij het Nauw van Bath zullen toenemen als gevolg van het (kunstmatig) vergroten van het ebvolume: van max. ca. $0,90 \text{ m/s}$ tot ca. $1,10 - 1,20 \text{ m/s}$ (zie figuur 42). De hierdoor optredende extra hinder voor de scheepvaart zal naar verwachting gering zijn, daar de watersnelheden over dat traject geen grote hoek met de as van de vaargeul maken. De grote zeeschepen hebben verder op dit punt in het algemeen al de beschikking over sleepboothulp (zie ook [27]).

11.7 De Berendrechtsluis

Inmiddels is men met de bouw van de Berendrechtsluis begonnen. De afmetingen van deze sluis zullen $500 \times 68 \text{ m}^2$ bedragen (zie figuur 43).

De realisatie van deze sluis zal het aanbodspatroom van met name de grotere zeeschepen kunnen beïnvloeden. Op dit moment is alleen de Zandvlietsluis met afmetingen van $500 \times 57 \text{ m}^2$ beschikbaar voor de grotere zeeschepen. In de huidige situatie kan daardoor per getij slechts één maatgevend getijgebonden schip de haven van Antwerpen bereiken. Als de Berendrechtsluis gereed is, zal dit aantal tot twee toe kunnen nemen.

Deze capaciteitsvergroting is van belang voor de verkeersafwikkeling op het oostelijk deel van de Westerschelde. Bij de aanbodspatronen van het scheepvaartverkeer, op grond waarvan de maatgevende verkeerssituatie zal worden vastgesteld, zal met dit gegeven rekening gehouden worden.

11.8 Samenvatting

De invloed van de realisatie van diverse (in studie zijnde) infrastructurale werken op zowel het aanbod als de afwikkeling van het scheepvaartverkeer op de Westerschelde kan plaatselijk aanzienlijk zijn. Voor een aantal van deze projecten, waarvan het tijdstip van de (eventuele) realisatie niet bekend is, is een schatting van deze invloed gemaakt.

De verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland zal een toename van het verkeer met vierbaksduwstellen veroorzaken en wel in hoofdzaak op het traject ten westen van Hansweert. Voor zover nodig, zal hiermee in de volgende hoofdstukken rekening gehouden worden. Hetzelfde geldt voor de invloed van het Baalhoekkanaal en de Berendrechtssluis op het verkeersaanbod. Het effect van zowel de vaste oeververbinding over de Westerschelde nabij Kruiningen als van het Spuikanaal bij Bath op de vaart met de maatgevende schepen door de verdiepte vaargeul zal naar verwachting marginaal zijn.

De ingebruikname van het Baalhoekkanaal zal de verkeersafwikkeling tussen Hansweert en de Baalhoeksluizen relatief sterk kunnen beïnvloeden. Het afstoppen en manoeuvreren van de maatgevende schepen met deze sluizen als bestemming zal de doorgaande vaart wellicht bemoeilijken. Hiervoor zullen t.z.t. adequate maatregelen getroffen moeten worden.

De bochtafsnijding bij Bath heeft de meeste invloed op de verkeersafwikkeling. De verkorting van de vaarweg met 3 km zal enige extra ruimte in de vaarschema's geven. De passage van de maatgevende massagoedschepen is door de ontworpen bochtafsnijding goed mogelijk. Ontmoetingen van de grootste schepen onderling dienen in de bochtafsnijding voorkomen te worden. Verder is voor de vaart met derde generatie containerschepen een kielspeling van tenminste 20% nodig, waardoor de beschikbare getijpoort in geringe mate beperkt wordt.

12. SCENARIO'S VOOR HET TOEKOMSTIGE SCHEEPVAARTVERKEER

12.1 Goederenprognose

In [28] presenteert Nonneman de resultaten van een prognose voor de goederenstromen van en naar de Belgische havens. Hierbij is hij uitgegaan van de ontwikkeling van het goederenvervoer tot het voor deze studie aangehouden referentiejaar 1977. Voor het opstellen van de prognose voor de omvang van de goederenstromen in de jaren 1990 en 2000 is door hem gebruik gemaakt van diverse groei-cijfers, die afhankelijk van de verwachtingen, per goederensoort verschillend zijn.

Deze prognoses zijn voor de totale goederenstromen naar alle Belgische havens samen, per goederengroep, in tabel 20 samengevat. In deze tabel is ook informatie opgenomen over het basisjaar van de prognose van Nonneman (1977) en de meest recente gegevens (1981) van de belangrijkste havens Antwerpen en Gent. Beschikbare gegevens van goederenstromen van en naar Terneuzen, die van belang zijn voor het verkeer nabij Borssele en op het traject Antwerpen-Hansweert, zijn ook in tabel 20 opgenomen.

Om nu tot een scenario voor het toekomstige scheepvaartverkeer op de Westerschelde ten oosten van Vlissingen te komen is het noodzakelijk om de verdeling van de goederenstromen over de verschillende Belgische havens te kennen. De informatie hierover, die in [29] gepresenteerd is, is in tabel 21 samengevat. Deze gegevens vormen tevens de basis voor scenario's van de goederenstromen in 1990 en 2000 vanuit en naar de verschillende Belgische havens. Daartoe is aangenomen dat de verdeling van de aan- en afvoer per goederengroep tussen de verschillende havens in de toekomst ongewijzigd blijft. Voor de Nederlandse haven Terneuzen is aangenomen, dat het groeipercentage van de goederen aan- en afvoer gelijk is aan het gemiddelde groeipercentage van de havens van Antwerpen en Gent. Deze aanname bleek noodzakelijk, daar in de geraadpleegde literatuur geen prognose van het vervoer werd gevonden.

De resultaten van deze berekeningen zijn in tabel 22 samengevat. Ter vergelijking zijn daarin ook de meest recente gegevens (1981) over de goederenstromen vanuit en naar deze havens opgenomen.

Nonneman geeft in (28) twee prognose-varianten: een "referentie prognose" en een "meest waarschijnlijke prognose". De meest waarschijnlijke prognose komt voor de periode na 1977 overeen met een groei van het vervoer van en naar de Belgische havens van gemiddeld ca. 4% per jaar. De "referentie"prognose wordt bereikt bij een groei van 6-7% per jaar voor de periode tussen 1977 en 1990/2000. De "waarschijnlijke" prognose komt overeen met de gemiddelde groei van de goederen aan- en afvoer, van en naar Antwerpen en Gent te samen, in de periode van 1976 tot 1981. Hoewel een groei volgens de referentie-prognose niet bij voorbaat uitgesloten kan worden, wordt voor de voorliggende studie de "waarschijnlijke" prognose volgens (28) aangehouden. De op grond daarvan berekende goederenstromen moeten uiteraard wel met de nodige voorzichtigheid gehanteerd worden. Nonneman stelt hierover in (28) dat dergelijke lange termijn prognoses slechts een indicatieve waarde kunnen hebben. Met de invloed van eventuele en mogelijk onvoorziene trendbreuken, zoals bijvoorbeeld in het energie-gebruik (kolen, vloeibaar aardgas, e.d.) en in de wereld-ekonomie, is uiteraard geen rekening te houden.

De in de geraadpleegde literatuur gepresenteerde informatie over het huidige vervoer van gevaarlijke stoffen is zeer beperkt. Verder zijn de gegevens over de omvang van de in de toekomst te verwachten goederenstromen nog beperkter. Dit is er dan ook de reden van dat in dit hoofdstuk niet verder op deze materie ingegaan zal worden.

Opmerking

De verschillende auteurs van overzichten en prognoses van hoeveelheden lading per goederengroep maken verschillende indelingen. Hierdoor is het een gekompliceerde zaak om met de beschikbare en soms beperkte gegevens een éénduidig beeld te krijgen van de toekomstverwachtingen.

Als voorbeeld hiervan kan het volgende aangehaald worden. In (28) en (29) wordt door Nonneman een prognose voor het gehele Belgische vervoer per zeeschip gegeven op basis van een goederenpakket in het basisjaar 1977 dat uit een zestal categorieën bestaat. Het betreft voedingsstoffen, grondstoffen, brandstoffen inkl. kolen, chemische produkten, metaalprodukten en overige produkten. Een splitsing van de lading over de belangrijkste havens (Antwerpen, Gent, Zeebrugge) wordt echter niet gegeven. In een bijdrage van Winkelmans in (29) wordt een verdeling van het vervoer in 1976 gegeven voor de volgende categorieën: landbouwprodukten, mineralen en ertsen (inkl. kolen), chemische produkten, vloeibaar massagoed, ijzer, staal en non-ferro metalen, materialen en stukgoederen. Dergelijke verschillen treden ook op bij de opgave van de omvang van het vervoer van/naar de verschillende havens door de verschillende havendiensten.

12.2 Formuleren van scenario's voor het toekomstige verkeer van/naar de verschillende zeehavens

De scenario's voor het toekomstige verkeer zijn met name nodig om randvoorwaarden te bepalen voor de later te bespreken simulatie van de afwikkeling van het scheepvaartverkeer op knelpunten op de Westerschelde. Hiervoor is in verband met het benodigde ruimtebeslag een indeling van de schepen naar draagvermogen nodig. Analoog aan [23] zullen bij het opstellen van de scenario's de volgende draagvermogenklassen onderscheiden worden: minder dan 1.000 dwt, 1.000 - 6.000 dwt, 6.000 - 12.000 dwt, 12.000 - 25.000 dwt, 25.000 - 50.000 dwt, 50.000 - 125.000 dwt en meer dan 125.000 dwt. Gezien de aanzienlijke verschillen in manoeuvreereigenschappen tussen schepen van sterk verschillende vorm is het noodzakelijk om ook een onderverdeling in een aantal scheepstypen te maken. Onderscheiden worden massagoed-schepen, containerschepen en vrachtschepen.* Bij de scenario's voor het goederenvervoer is een min of meer met deze onderverdeling overeenkomende samenvatting van de goederenstromen gemaakt. Hierbij is aangenomen dat goederensoorten zoals ijzererts, ruwe mine-

* zie tabel 24.

ralen, ertsen, kolen, diverse landbouwprodukten, vloeibaar massagoed, waaronder ruwe olie enz. met massagoedschepen worden vervoerd. Vrachtschepen vervoeren de overige goederensoorten (bijv. ijzer- en staalprodukten, non-ferro metalen, hout en papier, cellulose, transportmaterialen, auto's en stukgoed enz.), uitgezonderd containers, die met containerschepen vervoerd worden. Om tot een scenario voor het toekomstige scheepvaartverkeer te kunnen komen is het noodzakelijk om een inzicht te hebben in het scheepvaartverkeer op de Westerschelde in een referentiejaar. De verschillende havendiensten beschikken over maand- en jaarcijfers van het vervoer en de (zee)scheepvaart. Daarbij is echter geen onderverdeling naar scheepstype gemaakt. Dit is wel het geval bij een uitgebreide scheepvaarttelling, die door de dienst Verkeerskunde gedurende 1 week in oktober 1981 op de Westerschelde is uitgevoerd. Om de representativiteit van die weektelling vast te stellen is gebruik gemaakt van de jaarcijfers. Waar dat nodig is zijn de telcijfers bijgesteld.

De omvang van het scheepvaartverkeer in de prognosejaren 1990 en 2000 is met een tweetal rekenmethoden geschat.

Bij de eerste methode (scenario "evenredige groei") wordt er van uitgegaan dat de omvang van het scheepvaartverkeer recht evenredig is met het ladingaanbod per goederensoort. Tevens is aangenomen, dat de verdeling van de goederen over de draagvermogenklassen gelijk blijft aan die in het referentiejaar. Per draagvermogenklasse en per goederensoort geldt dan:

$$\text{vloot 1990 (of 2000)} = \frac{\text{goederenaanbod 1990 (of 2000)}}{\text{goederenaanbod referentiejaar}} \times \text{vloot referentiejaar}$$

Het effect van een schaalvergroting in de zeevaart als gevolg van de lopende en ook in de toekomst te verwachten ontwikkelingen in de scheepsbouw, alsmede als gevolg van de verbeterde toegang tot de haven van Antwerpen, zal op deze manier niet korrekt weergegeven worden. Op deze wijze zal een bovengrens voor het totale aantal aankomende en vertrekkende schepen gevonden worden.

Bij de tweede methode (scenario "extra lading in maatgevende schepen") wordt er van uitgegaan, dat toename van het ladingaanbod

in de periode tussen het referentiejaar en de jaren 1990 en 2000 geheel vervoerd zal worden met maatgevende schepen van de in paragraaf 3.1 genoemde afmetingen. Het ladingpakket dat in de toekomst hetzelfde blijft als in het referentiejaar zal worden vervoerd met een vloot met een gelijk blijvende omvang voor wat betreft type en draagvermogenklasse.

Per goederensoort geldt dan:

$$\text{vloot prognosejaar} = \text{vloot referentiejaar} + \frac{\text{goederenstroom prognosejaar} - \text{goederenstroom referentiejaar}}{\text{vervoerde lading per maatgevend schip}}$$

In tegenstelling tot de eerste methode wordt bij deze methode de invloed van de schaalvergroting in de zeevaart tot op zekere hoogte meegenomen. Op deze wijze wordt een bovengrens voor het aantal maatgevende schepen gevonden. De invloed van de schaalvergroting in de kleinere draagvermogenklassen zal echter op deze wijze niet exakt benaderd kunnen worden.

12.3 Uitwerking van de scenario's voor het verkeer naar de verschillende havens

In tabel 23 is voor de verschillende havens (Antwerpen, Gent en Terneuzen) een overzicht gegeven van de goederenstromen in het referentiejaar en in de jaren 1990 en 2000. Daarnaast is een overzicht gemaakt (naar draagvermogen) van de ladingvervoerende zeevaartvloot die in het referentiejaar 1981 de belangrijkste havens ten oosten van Vlissingen aandeed. Per draagvermogenklasse is daarbij ook een onderverdeling in drie scheepstypen gemaakt op basis van een weektelling van de dienst Verkeerskunde [33].

Bij vergelijking van het totaal aantal schepen per draagvermogenklasse in de weektelling met de jaarcijfers voor Antwerpen¹⁾, Gent [32], en Terneuzen [30]²⁾ bleek de weektelling niet geheel representatief voor het jaar 1981 te zijn. De oorzaak zou gevonden kunnen worden in de stormperiode tijdens de meetweek. Om tot een zo goed mogelijke verdeling van het scheepsaanbod te komen, is van de weekcijfers alleen gebruik gemaakt van de verdeling per draagvermogenklasse tussen de verschillende

- 1) Gebaseerd op door de Antwerpse Zeediensten verstrekt basismateriaal over de in 1981 in Antwerpen aangekomen zeevaart.
- 2) Aangevuld met gegevens van de RWS, dienstkring Kanaal van Terneuzen, m.b.t. aantallen geschatte schepen.

scheepstypen. De afmetingen van deze schepen per type en laadvermogen-klasse zijn in tabel 24 samengevat voor de huidige en de toekomstige situatie.

Opgemerkt dient te worden, dat er in 1981 ca. 50 schepen de Rede van Terneuzen tot bestemming hadden. Over het maximale laadvermogen van deze schepen kan geen uitspraak gedaan worden. Verder hadden er ca. 700 schepen de Braakmanhaven en de Scheldesteiger tot bestemming of als herkomst (bron: [3]). Op het totale verkeer van zeeschepen op de Westerschelde ten westen van Terneuzen (ca. 20.000 passages per jaar per richting) heeft dit een geringe invloed.

Naast de zeevaart maakt ook de binnenvaart veel gebruik van de Westerschelde. Er moet mee gerekend worden dat er per jaar ca. 4000 schepen de haven van Vlissingen tot bestemming hebben, ca. 57.000 schepen per jaar het traject Hansweert-Terneuzen of v.v. bevaren en er ca. 16.000 schepen het traject Hansweert-Antwerpen of v.v. bevaren (bron [3]). Een gering deel hiervan bestaat uit vierbaksduwstellen. Voor het traject Hansweert-Terneuzen is een aanbod van 500 tot 1000 duwstellen per jaar in de toekomst niet geheel uitgesloten. Op het overige deel van de Westerschelde is dit aantal naar verwachting veel lager. Gezien het aantal zeeschepen met ongeveer even grote of grotere horizontale afmetingen kan de invloed van duwstellen op de verkeersafwikkeling op deze trajecten verwaarloosd worden.

Met de uit tabel 23 af te leiden absolute en relatieve groei-cijfers van de te vervoeren lading is de omvang van de zeevaartvloot in de jaren 1990 en 2000 te bepalen. Dit is voor de methoden, die in paragraaf 12.2 beschreven zijn, in de tabellen 25, 26 en 27 uitgewerkt voor Antwerpen en Gent/Terneuzen.

Voor de toename van het aantal massagoedschepen van/naar Antwerpen is de groei van de aanvoer van massagoed maatgevend (uit tabel 23 volgt een waarde van 2,4 voor de periode van 1981 tot 2000). Volgens eenzelfde redenering zal het aantal massagoedschepen van en naar Gent/Terneuzen met een faktor 2,0 (aanvoer) toenemen. Voor containerschepen van en naar Antwerpen is een groeicijfer van 2,3 (afvoer) en van en naar Gent/Terneuzen een faktor 2,0 (aanvoer) af te leiden. De groei-

faktor voor het aantal vrachtschepen van en naar Antwerpen bedraagt 1,4 (afvoer) en voor de schepen met bestemming of herkomst Gent/Terneuzen geldt een waarde van 1,2 (aanvoer).

Voor de berekeningsmethode volgens het scenario "extra lading in de maatgevende schepen" was een aantal aannamen omtrent het laadvermogen van deze schepen noodzakelijk. Deze zijn in de navolgende tabel samengevat.

Type schip	Vaarrichting	Afmetingen	Max. lading in ton
Massagoedschip	zee → Antwerpen	300 x 50 x 14,64 m ³	ca. 150.000
	Antwerpen → zee	260 x 32 x 12,50 m ³	ca. 80.000
	zee ↔ Gent/Tern.	245 x 33 x 12,25 m ³	ca. 70.000
Containerschip	Antwerpen ↔ zee	288 x 33 x 12,50 m ³	ca. 45.000 ¹⁾
	Gent ↔ zee	245 x 32 x 12,25 m ³	ca. 30.000 ¹⁾
Vrachtschip	Antwerpen ↔ zee	260 x 32 x 12,50 m ³	ca. 50.000
	Tern./Gent ↔ zee	245 x 33 x 12,25 m ³	ca. 50.000

1) Gezien het lijnvaartkarakter van dit type schepen en de beladingsgraad van de containers zal nooit het volledige laadvermogen benut kunnen worden. Aangenomen wordt dat per maatgevend schip een lading van 10.000 ton (Antwerpen) resp. 7.500 ton (Gent) aan-en/of afgevoerd kan worden.

Het aantal benodigde maatgevende schepen om de extra lading te vervoeren is in tabel 25 uitgewerkt.

12.4 Aandeel van de geladen maatgevende en getijgebonden schepen in het totale aanbod

Het aantal maatgevende en getijgebonden schepen is, naast bodemconfiguratie en vaarsnelheid, een van de belangrijkste parameters bij de beschrijving van de afwikkeling van het scheepvaartverkeer op een vaarweg. Het betreft niet alleen de geladen schepen maar ook de lege of in ballast varende schepen. Deze laatste zullen mede door een geringe diepgang of een grotere getijpoort hebben dan de geladen schepen of zelfs in het geheel niet afhankelijk van het getij zijn. Door de in het algemeen grote breedte van deze (vooral massagoed)schepen zal het

breedtebeslag aanzienlijk zijn. In dit kader is het zinvol om naast het aantal schepen ook het aandeel van de geladen (geprognosticeerde) vloot te kennen.

Het aandeel van de geladen schepen in de vloot is tijdens de telperiode [33] vastgesteld. Daarbij is slechts een onderscheid gemaakt tussen geladen en lege schepen. In tabel 28 (Antwerpen) en 29 (Gent/Terneuzen) zijn de resultaten van deze telling per laadvermogenklasse per type schip in procenten van de totale vaart weergegeven. Het in de telweek gevonden aandeel van de geladen vaart is ook voor het jaar 2000 aangehouden. Het aldus bepaalde verkeersaanbod is opgenomen in tabel 28 en 29.

12.5 Vergelijking met andere toekomstverwachtingen

In het onderstaande zullen de in paragraaf 12.3 afgeleide scenario's voor het verkeer van en naar Antwerpen in 2000 vergeleken worden met:

- a. de in [23] gegeven prognose voor het zeescheepvaartverkeer in de bocht van Bath;
- b. de verkeersscenario's van de Algemene Direktie van het Antwerpse Havenbedrijf en de Antwerpse Scheepvaartvereniging uit 1982 en 1981.
- c. de in [34] gegeven prognose voor diepstekende scheepvaart in de Wielingen en het Scheur.

Tabel 30 geeft per scheepstype en per laadvermogenklasse een overzicht van de onder a en b genoemde scenario's en prognoses. Tabel 31 geeft een uitwerking van de vergelijking tussen het scenario "extra lading in de maatgevende schepen" en het in [34] gepresenteerde scenario voor het jaar 1990 en het daarop qua aantallen schepen aansluitende scenario b van de Algemene Direktie van het Antwerpse Havenbedrijf. Hieruit blijkt dat de totale aantallen opvarende schepen voor de prognoses voor het jaar 2000 in grote lijnen met elkaar overeenstemmen. Het aantal afvarende maatgevende (container)schepen is bij de prognose [34] aanzienlijk lager dan het in dit rapport bepaalde verkeersaanbod. Dit moet geweten worden aan de gevoeligheid van de berekeningsresultaten voor de aanname van de hoeveelheid lading (containers) die per schip aan of afgevoerd kunnen worden

Zoals te verwachten was, wijken de verschillende scenario's/prognoses

aanzienlijk van elkaar af (zie tabel 30). Voor een deel zijn de verschillen in denkbeelden over de te verwachten groei van de goederenstromen de oorzaak van verschillen tussen de verkeersstromen. Daarnaast worden de verschillen veroorzaakt door de rekenmethoden, waarmee de extra te vervoeren lading omgerekend wordt naar aantallen schepen per draagvermogenklasse. In ieder geval kan de schaalvergroting in de kleinere zeevaart alleen op basis van een globale schatting vastgesteld worden.

De prognose van de Redersvereniging uit 1982 en het in paragraaf 12.3 afgeleide scenario op basis van het uitgangspunt "extra lading in de maatgevende schepen" wijken, zeker voor wat betreft de grotere zeevaart relatief weinig van elkaar af. Het scenario "extra lading in de maatgevende schepen" op basis van de gekorrigeerde gegevens van de scheepvaarttelling op de Westerschelde wordt hier in dit rapport verder aangehouden, voornamelijk omdat dit meer detailinformatie over de verschillende scheepstypen en laadvermogens biedt.

12.6 Samenvatting

Op basis van een in 1981 vastgesteld verkeersaanbod en van de goederenstromen per goederengroep naar de verschillende havens aan de Westerschelde zijn scenario's voor het verkeersaanbod in 1990 en 2000 voor de havens van Antwerpen, Gent en Terneuzen afgeleid. Daarbij is gebruik gemaakt van een weektelling, waarin zeer gedetailleerd het verkeersaanbod vastgelegd is. De omvang van het verkeersaanbod in 1990 en 2000 is op een tweetal manieren afgeleid. De eerste manier, een vergroting van de vloot evenredig met de goederenstromen, zal een duidelijke overschatting van de omvang van de kleine zeevaart tot gevolg hebben. Bij de tweede manier, een verdeling van de extra lading over de maatgevende schepen per goederengroep, zal dit in mindere mate het geval zijn. Bij een vergelijking van verschillende, in tabel 28 genoemde, verkeersscenario's blijken die uit 1982, welke door het Antwerpse Havenbedrijf in samenwerking met de Antwerpse Scheepvaartvereniging is opgesteld, en die, zoals in paragraaf 12.3 afgeleid is op basis van "extra lading in de maatgevende schepen", relatief het minst van elkaar af te wijken. Gezien de grotere rijkdom aan details van het laatstgenoemde scenario wordt deze in dit rapport verder aangehouden.

13. MAATGEVENDE VERKEERSSITUATIES

De maatgevende verkeerssituatie voor een vaarwegontwerp wordt hier gedefinieerd als de verkeerssituatie, die binnen de ontworpen vaarwegbegrenzingsen nog juist veilig en vlot kan worden afgewikkeld. De "maat" van het vaarwegtrajekt wordt dus juist voldoende groot gekozen voor het afwikkelen van die maatgevende verkeerssituaties. Dat heeft tot gevolg dat verkeerssituaties, die meer ruimte vergen, op het ontworpen vaarwegtrajekt voorkomen moeten worden.

Welke verkeerssituatie maatgevend wordt gesteld voor een vaarwegtrajekt wordt in grote lijnen bepaald door de volgende overwegingen:

- a. De "bovenmaatse" verkeerssituaties moeten effectief voorkomen kunnen worden. In de praktijk betekent dat b.v. dat schepen, die niet per VHF bereikbaar zijn, niet bij een verkeersregeling betrokken moeten worden.
- b. Het aantal schepen, dat bij "bovenmaatse" verkeerssituaties betrokken is, moet beperkt zijn. Dit is nodig om de verkeersafspraken overzichtelijk te houden.
- c. Tijgebonden schepen moeten als gevolg van verkeersafspraken niet zodanig worden vertraagd, dat zij niet of slechts geforceerd binnen hun tijpoort kunnen blijven varen.
- d. De wachttijden van bij verkeersafspraken betrokken schepen moeten om economische redenen beperkt zijn. In de praktijk leidt dat ertoe dat het aantal "bovenmaatse" verkeerssituaties op korte trajekten groter mag zijn dan op lange trajekten.

Uit de prognose van het toekomstige scheepvaartverkeer op de Westerschelde blijkt dat ook in de verre toekomst meer dan de helft van de zeeschepen, op de Westerschelde bestaat uit schepen < 6000 tdw. Daarnaast moet tussen Vlissingen en Antwerpen rekening worden gehouden met de binnenvaart, die op het trajekt Terneuzen-Hansweert de zeevaart in aantal passages zelfs ver overtreft.

Op grond van de hiervoor onder a en b gegeven overwegingen en de frekwentie van voorkomen wordt de ontmoeting van een zeeschip van 6.000 tdw met een geladen massagoedschip (LxB = 300x50 m²) (MV1) maatgevend

gesteld voor de kleinste vaarwegbreedte, die op enig traject van de Westerschelde tussen de boeien beschikbaar moet zijn. In principe zijn op de gehele vaarweg ontmoetingen mogelijk tussen maatgevende massagoedschepen van 300x50 m2 onderling (opvarend met een diepgang van 48 of 50 voet, afvarend met een diepgang van maximaal 35 voet)(MV2). Het afvarende massagoedschip is daarbij niet getijgebonden. Deze situatie komt slechts sporadisch voor. Het wordt daarom acceptabel geacht wanneer deze verkeerssituatie niet op alle trajecten veilig afgewikkeld kan worden.

In de toekomst wordt op de Westerschelde een sterke toename van de vaart met derde-generatie containerschepen verwacht. Ook het aantal massagoedschepen en vrachtschepen van 50.000 - 125.000 tdw zal sterk toenemen. Er moet dan ook op worden gerekend dat opvarende geladen massagoedschepen verspreid over de vaarweg meerdere niet-tijgebonden schepen uit die categorie zullen tegenkomen. Op grond daarvan moeten ontmoetingen van opvarende maatgevende massagoedschepen met afvarende niet-tijgebonden derde-generatie containerschepen (MV3) en met afvarende (niet-tijgebonden) vracht- en massagoedschepen van 50.000-125.000 tdw (MV4) op regelmatige afstanden langs de vaarweg mogelijk zijn.

Tussen het Scheur en de Bocht van Walsoorden moet op grond van de vaarschema's (zie figuur 2) rekening worden gehouden met ontmoetingen van geladen opvarende, maatgevende massagoedschepen en tijgebonden afvarende derde-generatie containerschepen (MV3a) en Panamax-schepen (MV4a). Dergelijke ontmoetingen moeten op vrijwel dat gehele traject mogelijk zijn. Voor zover dat op deeltrajecten toch niet het geval is moeten die trajecten zo kort zijn, dat de daardoor ontstane vertragingen voor de tijgebonden schepen zo beperkt kunnen worden dat ze binnen hun getijvenster kunnen blijven varen.

Voor zover de maatgevende containerschepen al tijgebonden zijn, hebben ze een ruim getijvenster die dat van de opvarende maatgevende massagoedschepen volledig overlapt. Gezien de snelheidsverschillen die tussen deze schepen mogelijk zijn moet het op een groot deel van de vaarweg mogelijk zijn dat derde-generatie containerschepen de maatgevende massagoedschepen oplopen. Een dergelijke olopmanoeuvre zal

zich, om sterke vertragingen van het tijgebonden maatgevend massagoedschip te voorkomen, over een grote lengte van de vaarweg uitstrekken. Daarom wordt het nodig geacht dat tijdens de manoeuvre voldoende ruimte overblijft voor ontmoetingen met relatief kleine schepen tot ca. 6.000 tdw (MV5).

Oploopmanoeuvres waarbij 2 maatgevende massagoedschepen betrokken zijn zullen door een goede planning van de opvaart zoveel mogelijk voorkomen kunnen worden. Desondanks kan zo'n oploopmanoeuvre in bijzondere gevallen toch nodig blijken te zijn. Deze manoeuvres zullen zich over nog grotere afstanden kunnen uitstrekken dan MV5. Ook in dat geval is het daarom nodig voldoende ruimte vrij te houden voor relatief kleine, tegemoetkomende schepen (tot 6.000 tdw) (MV6).

Het breedtebeslag van de hiervoor opgesomde maatgevende verkeerssituaties verschilt sterk. Rekening houdend met de karakteristieken van de vaarweg is nagegaan op welke vaarwegtrajekten de maatgevende verkeerssituaties zonder al te ingrijpende werkzaamheden gerealiseerd kunnen worden. Dat leverde als resultaat dat op de drempel van Borssele, in de bochten bovenstrooms van Hansweert en op het traject tussen Bath en Zandvloet alleen MV1 zonder ingrijpende werkzaamheden gerealiseerd kan worden.

Om na te gaan wat dat betekent is door de DVK een tweetal verkeerssimulaties uitgevoerd waarbij het verkeersgedrag slechts summier werd beschreven. Gedurende lange tijd werd daarbij het aantal ontmoetingen op de drempel van Borssele en op het traject Hansweert-Zandvliet vastgelegd voor alle relevante scheepskategorieën (zie tabel 33 en 5 [35]). Daaruit blijkt dat ook in de verre toekomst hooguit enige malen per dag ontmoetingen op de drempel van Borssele uitgesteld moeten worden wanneer MV1 daar maatgevend is. Dat lijkt mede gezien de korte lengte van dit traject, acceptabel. Uit tabel 5 in [35] blijkt echter dat ontmoetingen tussen schepen >125.000 tdw en schepen >6.000 tdw op het traject tussen de Zimmermangeul en Zandvliet in de (verre) toekomst vele malen per dag kunnen optreden. Gezien de grote trajectlengte en de daardoor te verwachten vertragingen wordt het onaanvaardbaar geacht dat zulke ontmoetingen daar nergens mogelijk zijn. Anderzijds komen ontmoetingen van schepen >125.000 tdw met

schepen > 50.000 tdw of derde-generatie containerschepen > 25.000 tdw naar verwachting ook in de verre toekomst slechts weinig voor. Afgezien van een kleine "passeerplaats" stroomaf van de Zandvlietsluis, waar zelfs ontmoetingen van de grootste schepen onderling zonodig met behulp van sleepboten mogelijk dienen te zijn, wordt op het rechte traject boven Bath een ontmoeting van een geladen massagoedschip 125.000 tdw met een containerschip > 25.000 tdw of een vracht- of massagoedschip < 50.000 tdw maatgevend gesteld (MV1a).

In figuur 48 zijn de maatgevende verkeerssituaties die voor de verschillende trajekten gelden samengevat.

14 VAARGEULBREEDTE EN VERKEERSAFWIKKELING

14.1 Zandvliet-Hansweert

Alvorens een definitieve keuze te maken van de per deeltraject maatgevende verkeerssituaties op het traject Zandvliet-Hansweert is meer overzicht in de te verwachten verkeersafwikkeling op dit traject nodig. Mede op grond van een verkeerssimulatie-studie zal in verslag 80.20.6 [35] worden nagegaan, wat de te onderhouden vaargeulafmetingen op dit traject zijn en welke verkeersbegeleidende maatregelen daarbij nodig zijn. Voor het traject zeewaarts van de Bocht van Hansweert wordt dat in dit hoofdstuk gedaan.

14.2 Hansweert-Terneuzen

Als maatgevende verkeerssituatie op dit traject wordt beschouwd een oploopmanoeuvre van een maatgevend massagoedschip door een maatgevend containerschip, waarbij tegelijk een klein zeeschip of binnenschip¹⁾ wordt ontmoet (MV5). Daarvoor is volgens de ontwerpregels tussen de boeien een breedte van 500 m ²⁾ nodig. De grootste diepte is vereist voor de opvarende maatgevende massagoedschepen, dus aan stuurboordzijde (Z.O.-oever van de geul). Daar moet op dit traject tijdens oploopsituaties eventueel nog enige ruimte (stel ca. 50 m) worden vrijgehouden voor de kleinere binnenvaart, die hier bijzonder frekwent vaart. Voor het oplopen van 4-baksduwstellen is hier een breedte van 100 meter vereist. Het lijkt echter niet nodig om voor dit traject uit te gaan van vierstrooksverkeer, dit gezien de bijzonder lage frequentie waarmee oploopmanoeuvres van maatgevende schepen verwacht kunnen worden. Wel moet rekening worden gehouden met ontmoetingen met containerschepen (MV3a). De te onderhouden vaargeul bestaat dan uit een ZO-geulgedeelte met een breedte van 370 m en een diepte van minimaal $A = 15,8/16,0$ m beneden NAP³⁾ en een wat ondiepere 130 m brede "berm"

- 1) Zie voor de grootste afmetingen van de schepen in de verschillende laadvermogenklassen tabel 32.
- 2) Hiervoor is een toeslag voor bewegingen van de boeien in een richting loodrecht op de vaargeul in rekening gebracht. Deze toeslag zal ook in het volgende worden toegepast, tenzij anders vermeld. Ze bedraagt voor de bochten bij Hansweert, bij Terneuzen en die in de Hont en boven de drempel van Borssele 30 m en voor de tussenliggende trajecten 20 m [37].
- 3) Benodigde drempeldiepte in Overloop van Hansweert 15,8 m beneden NAP en bij Terneuzen 16,0 m beneden NAP.

aan de NW-zijde, waar de te onderhouden diepte geleidelijk afneemt tot minimaal (A-7) m beneden NAP ter hoogte van de boeien (zie fig. 44). Eventueel kan ook aan de ZO-zijde nog een 50 à 100 m brede "binnenvaartberm" onderhouden worden.

De vaarwegbreedte van 500 m tussen de boeien is ruimschoots voldoende voor ontmoetings- en olopmanoeuvres waarbij maatgevende schepen en vierbaksduwstellen betrokken zijn. Ook wanneer daarbij tevens vrij grote zeeschepen worden ontmoet is daarvoor voldoende ruimte. Een sterke toename van de vaart met 4-baksduwstellen (zie hoofdstuk 12) zal dan ook bij deze vaargeulbreedte naar verwachting geen problemen m.b.t. de verkeersafwikkeling opleveren.

In de bochten nabij Ossenissee en Terneuzen is driestroomsverkeer (MV5) alleen mogelijk indien een extra breedte van 50 m wordt onderhouden. De trajekten tussen deze bochten zijn van voldoende lengte om een olopmanoeuvre tussen bovengenoemde schepen uit te voeren.

Op dit vaarwegtrajekt komen op diverse plaatsen dwarsstromen voor. Volgens de beschikbare informatie bedragen de maximaal optredende dwarsstroomsnelheden op dit trajekt nergens meer dan 0,5 m/s. Met een extra breedtebeslag i.v.m. dwarsstroom is daarom op dit trajekt geen rekening gehouden. Wel verdient het aanbeveling de ontwikkeling van de stromingen goed te blijven volgen om, zo nodig, nadere afspraken m.b.t. de verkeersafwikkeling en/of een aanpassing van de te onderhouden vaargeulbreedte te maken.

Hoewel uiteraard olopmanoeuvres van sommige maatgevende schepen onderling op dit trajekt mogelijk zijn, wordt desondanks aangeraden deze zo veel mogelijk te voorkomen. Dit in verband met het eerder genoemde, zeer frekwente binnenvaartverkeer, het lichten van zeeschepen met bestemming Terneuzen - Gent, enz.

Olopmanoeuvres van maatgevende schepen moeten op dit trajekt zijn afgewikkeld voordat de schepen de Bocht van Hansweert invaren resp. niet worden aangevangen voordat die bocht gepasseerd is. Voor ontmoetingen van maatgevende massagoedschepen onderling is in die bocht een breedte van 470 m tussen de boeien nodig. Zie voor de Bocht van Hansweert verder nota S 80.20.06 [35].

In de toekomst zullen regelmatig 2 maatgevende massagoedschepen binnen hetzelfde tijvenster opvaren. Wanneer het eerste massagoedschip door enigerlei oorzaak aan de grond loopt en vervolgens o.i.v. stroom dwars op de vaarrichting komt te liggen, kan het tweede massagoedschip het eerste niet meer passeren. Daarvoor is tenminste een geulbreedte van 500 m op ca. 16 m beneden NAP nodig. Gezien de aanwezigheid van voldoende noodankerplaatsen op dit traject (zie rapport S 80.20.04) wordt deze breedte als wenselijk maar niet als strikt noodzakelijk gezien.

14.3 Terneuzen - Borssele

Op het traject tussen de Rede van Terneuzen en de Drempel van Borssele is de vaargeul over grote lengte van nature breed. Voor zover oplooptmanoeuvres waarbij twee maatgevende opvarende massagoedschepen betrokken zijn (MV6) op de Westerschelde onvermijdelijk zijn, kunnen ze op dit traject worden afgewikkeld. Daartoe is over een lengte van 6 km een geul met een breedte van 520 m met een bodemligging van tenminste 16,0-16,5m¹) beneden NAP nodig. Aan de N.O.-zijde van die geul is tot de boeien nog een "bermstrook" van 60 m nodig voor binnenschepen en kleine zeeschepen, waarin de bodem onder (9 à 9.5) m beneden NAP moet blijven. Ter plaatse van de bocht bij de uitloop van de springergeul moet de te onderhouden breedte 60 m groter zijn (zie figuur 45).

In de 580 m brede geul is het mogelijk voorzichtig een gestrand maatgevend massagoedschip te passeren, zelfs als het dwars in de geul ligt. Alleen een in het midden van de vaargeul gezonken schip zou niet goed kunnen worden gepasseerd.

Hoewel dit traject in principe geschikt is voor oplooptmanoeuvres van twee maatgevende massagoedschepen geldt ook hier weer dat het de voorkeur verdient dergelijke manoeuvres door een goede reisplanning te voorkomen. In mindere mate geldt dat voor situaties waarbij een maatgevend massagoedschip door een groot containerschip wordt opgelopen.

1) benodigde drempeldiepte bij Terneuzen en Borssele.

Ook voor dit traject geldt dat de maximale dwarsstroomsnelheden, volgens de beschikbare informatie, thans nergens hoger dan 0,5 m/s zijn. Zie m.b.t. dit punt ook wat hierover in § 14.2 is gesteld.

In de omgeving van Terneuzen moet rekening worden gehouden met druk kruisend verkeer van binnenschepen en, minder vaak, van zeeschepen van/naar Terneuzen en de Braakmanhaven. Het is duidelijk dat de bestaande verkeersbegeleiding hier ook voor de grotere schepen een noodzakelijke voorwaarde voor een veilige vaart is. In voorkomende gevallen zal vaart moeten worden verminderd i.v.m. hinder voor binnenschepen en eventueel voor ten anker liggende schepen. Dat geldt overigens voor de gehele vaarweg. Oploopmanoeuvres en ontmoetingen van maatgevende schepen moeten hier niet worden afgewikkeld. In verband met de noodzakelijke manoeuvres enz. wordt geadviseerd hier tenminste dezelfde vaargeulafmetingen als op de rest van het traject Terneuzen-Borssele te onderhouden.

14.4 De Drempel van Borssele

De drempel van Borssele heeft zich voor de grootste schepen ontwikkeld tot het belangrijkste ongevalskoncentratiepunt op de Westerschelde naast de Rede van Vlissingen (zie hoofdstuk 7). De minimaal beschikbare vaargeulbreedte voor de grootste schepen bedroeg daar in 1980 280 à 300 m, de beschikbare vaargeulbreedte lag tussen 6,4B¹) en 7,1B (zie hoofdstuk 5). Er treedt een sterke dwarsstroom op, juist op het moment dat de maatgevende massagoedschepen passeren. Voor een ontmoeting van een maatgevend massagoedschip met een zeeschip < 6.000 tdw, is bij zo'n dwarsstroom een breedte van 420 m tussen de boeien nodig, bestaande uit een diepe "geul" op NAP-16,5 m met een breedte van 330 m, met aansluitend aan de oostzijde een strook met een breedte van 90 m op een diepte van minimaal NAP- 9,5 m aan de oostzijde (zie figuur 45). Gezien het huidige ongevalsnivo bij een geulbreedte van 6,4 à 7,0B (zie hoofdstuk 5) wordt de eerderevoorgestelde geulbreedte van 300 m voor de toekomstige vaarweg niet acceptabel geacht.

Bij de voorgestelde geulafmetingen worden een aantal verkeerssituaties op dit traject niet mogelijk geacht. Deze zijn hieronder op een rij gezet.

Oploopmanoeuvres:

- van een schip > 125.000 tdw en een ander schip;
- van een schip > 50.000 tdw en een schip > 6.000 tdw.

Ontmoetingen:

- van een schip > 125.000 tdw en een schip > 6.000 tdw;
- van een schip > 50.000 tdw en een schip > 12.000 tdw;
- van een schip > 25.000 tdw en een schip > 25.000 tdw.

Daarbij is er rekening mee gehouden dat de hoogste dwarsstroom-snelheden alleen bij hoog water optreden (zie figuur 6). Bij lagere waterstanden is voor de grotere schepen de beschikbare vaargeulbreedte weliswaar kleiner, maar de dwarsstroomhinder is dan veel minder sterk zodat diverse verkeerssituaties dan nog steeds goed mogelijk zijn.

Met behulp van een eenvoudige verkeerssimulatie is nagegaan hoe vaak de hiervoor genoemde ontmoetingssituaties in de toekomst op dit traject zouden voorkomen, indien geen verkeersregeling zou worden toegepast. Het resultaat is weergegeven in tabel 33. Daaruit blijkt dat ook in de toekomst slechts weinig schepen die elkaar ontmoeten vertragingen zullen oplopen t.g.v. een verkeersregeling. Het aantal malen dat oploopmanoeuvres niet mogelijk zijn is nog aanzienlijk lager.

14.5 De Rede van Vlissingen

In verband met het loodswisselen moeten de zeeschepen op dit traject sterk vertragen. Na introductie van de vaart met grotere schepen zal daar in principe met een wat groter ruimtebeslag rekening moeten worden gehouden i.v.m. een grotere stopweglengte en het "lij maken" van de grootste schepen. Wanneer hiermee geen rekening zou worden gehouden zou het aantal ongevallen met grote zeeschepen, dat in het verleden hoog was (zie §7.3) en daarna sterk is afgenomen, weer wat kunnen toenemen. Dit effect kan geneutraliseerd worden door op de grootste schepen de rivierloodsen op de loodspost op zee aan boord te nemen resp. van boord te halen. Wel moet er dan op worden toegezien dat de passage van het reдеgebied met gereduceerde snelheid gebeurt. Dit om eventuele hinder voor ankerliggers te voorkomen.

Het blijft nodig dat steeds voldoende "ruimte" voor de vaart met de grootste schepen wordt vrijgemaakt. Het thans geldende "precautionary area" biedt daarvoor onder normale omstandigheden ruimschoots voldoende mogelijkheden, waarbij de geuldiepte 17,2 m beneden NAP is. (zie figuur 46).

14.6 Wielingen en Scheurpas

Voor oploopmanoeuvres van maatgevende massagoedschepen onderling (MV6) is een bodembreedte van 520 m¹⁾ nodig. Althans, als de dwarsstroomsnelheden beperkt zijn ($< 0,5$ m/s). Ter weerszijden daarvan zijn dan nog "bermen" met een breedte van 70 m voor kleine zeeschepen (< 6.000 tdw), vissersschepen enz. nodig. Deze afmetingen zouden per "passeerplaats" over 6 km aanwezig moeten zijn. Zonder baggeren is een dergelijk(e) deeltrajekt aanwezig vanaf de Rede tot de Wielingen 6 boei en aan het begin van de geul, ten W van de Mid-Akkaert boei (zie figuur 47). Daarnaast is het in principe mogelijk om elkaar voorzichtig op te lopen in het voorzorgsgebied op de Rede van Vlissingen.

Voor de rest van het trajekt wordt een oploopmanoeuvre van een maatgevend massagoedschip door een derde-generatie containerschip, waarbij tevens een klein zeeschip (< 6.000 tdw) wordt ontmoet, maatgevend gesteld, nl. 570 m breedte tussen de boeien (MV5). In gebieden, waar de dwarsstroom beperkt is, kan dan volstaan worden met een bodembreedte van 450 m met aan weerszijden een "berm" van ca. 60 m breedte, die 7 m minder diep mag zijn. Waar aanzienlijke dwarsstroom van 0,5 tot 1 m/s loodrecht op de vaargeul aanwezig is wordt een bodembreedte van 530 m nodig geacht, met "bermen" van ca. 80 m breedte. Dat is volgens de stroomatlas 1981 [4] alleen het geval bij de opvaart van de maatgevende massagoedschepen op het trajekt ten westen van de boei Scheur Zand.

De geuldiepte dient t.p.v. Vlissingen op 17,2 m, Wielingen 2 boei op 17,3 m, Scheur 3 boei op 18,1 m en Akkaert Bank op 18,4 m beneden NAP te worden gebracht.

In bovenstaande overzicht is voor het trajekt Vlissingen-Akkaert Bank breedtetoeslag van 30 m i.v.m. de positie-nauwkeurigheid van de boeien. Dit i.v.m. de wisselende stroomrichting, de wat sterkere golfbeweging en de minder nauwkeurige plaatsbepaling. De bodembreedte van de geul is zodanig, dat het mogelijk is een gestrand maatgevend massagoedschip nog veilig te passeren, zelfs indien het dwars op de geulas ligt. Uiteraard is tijdens zo'n manoeuvre de grootst mogelijke voorzichtigheid vereist.

1) 30 m t.g.v. boeiverplaatsingen inbegrepen.

15. MOGELIJKE EFFEKTEN VAN DE UIT TE VOEREN WERKEN EN HET TOELATEN VAN GROTE SCHEPEN OP DE VEILIGHEID VAN HET SCHEEPVAARTVERKEER.

Door het TNO-instituut voor Maatschappelijke Technologie is een studie uitgevoerd naar de gevolgen van de verdieping van de Westerschelde voor de veiligheid van de bevolking [36]. Een van de uitgangspunten van dat onderzoek was dat het uiteindelijke vaargeulontwerp en de daarbij toe te passen nautische beheersmaatregelen zodanig zullen worden gekozen dat het aantal aanvaringen na de verdieping zal afnemen bij een gelijk blijvend vervoersbeeld. In het navolgende wordt nagegaan welke maatregelen nodig zijn om dit doel te bereiken bij een vaargeulontwerp volgens de "ontwerpregels".

Als gevolg van de verdieping zal het aantal grote, diepstekende schepen op de Westerschelde in de toekomst naar verwachting wat kleiner zijn dan wanneer de vaargeul niet wordt verruimd (grotere schepen kunnen immers meer lading vervoeren). Uit de ongevalanalyse (§ 7.2) blijkt dat in het verleden de "ongevalsgevoeligheid" zeer sterk toenam bij toenemende diepgang. Het laatste effect zal sterker zijn dan het eerste. Beide ontwikkelingen samen zullen er daarom toe leiden dat, wanneer geen compenserende maatregelen worden getroffen op enkele vaarwegtrajekten, de verkeersveiligheid (slechts weinig) zal verminderen t.o.v. de situatie zonder verdieping. Daar staat tegenover dat een groter aantal schepen in de toekomst niet meer of in veel mindere mate tijgebonden zal zijn. De daardoor ontstane "ruimte" in de vaarschema's zal een (vermoedelijk gering) positief effect op de verkeersveiligheid hebben. Al met al zullen zonder compenserende maatregelen b.v. verhoging van de verhouding vaarwegbreedte/scheepsbreedte, verkeersbegeleidende maatregelen, enz.) geen grote veranderingen in de verkeersveiligheid optreden. Overigens zal ook de invoering op 1 januari 1982 van het scheepvaartreglement Westerschelde naar verwachting tot een verhoging van de verkeersveiligheid leiden.

Op het lange en relatief smalle traject Hansweert-Zandvliet was in de periode 1966 t/m 1978 in vergelijking met de "bredere" trajekten sprake van een duidelijk verhoogde kans op ongevallen met grote zeeschepen (zie § 7.3 en 7.4). Toch was in die periode de vaarweg vrijwel

overall belangrijk breder dan volgens de "ontwerpregels" (bij goed zicht) voor de destijds grootste schepen nodig was. Ten behoeve van de verbetering van de vaarweg naar Antwerpen zal de vaargeul ter plaatse van een aantal "drempels" worden verbreed. Dit betreft echter slechts een betrekkelijk kort deel van het traject Hansweert - Antwerpen. Bij een verdere toename van de scheepsafmetingen zal de kans op strandingen op dit traject daardoor kunnen toenemen. Ook wanneer deze strandingen niet tot aanzienlijke scheepsschade leiden zal het dan, door de daardoor te verwachten vertragingen, nogal eens kunnen voorkomen dat deze schepen de verdere "drempels" op hun weg naar Antwerpen, of terug naar zee, niet meer kunnen passeren. Op enkele plaatsen langs de route zijn daarom noodankergebieden van voldoende diepte nodig (zie rapport S 80.20.4 [6]).

Behalve het aantal strandingen van grote zeeschepen nam in het verleden het aantal aanvaringen daarvan met andere schepen toe, naar mate de vaarweg krupper werd (zie §7.4). Met name aanvaringen met ontmoetende schepen leidden vaak tot aanzienlijke scheepsschade. Zeker een verdere toename van dit type ongevallen lijkt daarom onaanvaardbaar. In eerste instantie zouden voor de te onderhouden geulbreedte tenminste de, eventueel wat aangepaste, ontwerpregels gehanteerd moeten worden. Dit gezien de verhoogde ongevalsrisico's in 1966...1978 in vaargeultrajekten die relatief smal, maar toch nog breder waren dan volgens de ontwerpregels (zonder toeslag voor slecht zicht) van hoofdstuk 9 nodig zijn. Opvallend vaak was slecht zicht één van de oorzaken, die tot een ernstig ongeval leidden (zie §7.2 en 7.4). Een vaargeulbreedte volgens de "ontwerpregels" lijkt daarom niet voldoende om een toename van het aantal ongevallen met grote zeeschepen te voorkomen. Bij een goede navigatie-assistentie zal het aantal ongevallen bij slecht zicht op vaarwegen met die breedte tot een meer aanvaardbaar nivo kunnen worden teruggebracht. Daarnaast kunnen door een goede verkeersbegeleiding "gevaarlijke" verkeerssituaties op kritieke punten worden voorkomen. De effecten van een dergelijke verkeersbegeleiding op de verkeersafwikkeling op dit lange traject kunnen alleen met een verkeerssimulatie-model goed worden onderzocht. Aansluitend aan zo'n onderzoek zal de vaarwegbreedte in verslag S 80.20.06 [35] verder worden uitgewerkt.

Het aantal strandingen van en boeiaamvaringen door grote zeeschepen nabij de Zandvlietsluizen was in de periode van 1966 t/m 1978 hoog. Bij een verdere toename van de scheepsafmetingen lijkt het nodig dat de grootste zeeschepen altijd kunnen beschikken over sleepboten met een voldoende vermogen. Deze kunnen ook bij eventuele strandingen van dergelijke schepen hun nut bewijzen. Een aantal van dergelijke krachtige sleepboten wordt/is in de loop van 1983 in Antwerpen in gebruik genomen.

De Drempel bij Borssele is, in de laatste jaren, voor de grootste zeeschepen naast de Rede van Vlissingen het belangrijkste ongevals-koncentratiepunt geworden. Zeker bij slecht zicht en/of wind zijn diverse ontmoetingen hier niet veilig mogelijk. Ook de passage van de grootste zeeschepen leverde - bij sterke dwarsstroom en slecht zicht - in het verleden herhaaldelijk problemen op (zie §7.3 en 7.5). Verkeersbegeleiding vanuit een verkeerspost op de wal, op grond van een goede positiebepaling van de schepen en informatie m.b.t. de stroomsnelheden, zal naar verwachting, wanneer daarnaast ook de vaargeul wordt verbreed, de afname van de verkeersveiligheid door de komst van grotere schepen ruimschoots compenseren.

Door de invoering van het scheepvaartreglement Westerschelde op 1 januari 1982, is, met name door de specifieke bepalingen voor het Redegebied van Vlissingen, een veel veiliger verkeersafwikkeling aldaar mogelijk. De verkeersveiligheid kan daar verder verbeterd worden door op de grootste schepen de rivierloodsen al op de loodspost op zee aan boord te nemen resp. van boord te laten. Voor de trajekten die reeds thans relatief ruim zijn (het mondingsgebied ten W. van Vlissingen, het traject Borssele - Hansweert) wordt aanbevolen op- en afvaart met de grootste schepen vanaf de wal te volgen en, zo nodig, te adviseren m.b.t. de planning van oploop- en ontmoetingsmanoeuvres.

Kombinatie van een vaarwegontwerp, dat overal tenminste aan de ontwerpregels voldoet, met de daarbij vereiste verkeersregeling en de hiervoor (en in de rapporten S 80.20.1, 2, 4 en 6) opgesomde aanvullende investeringen en maatregelen zullen ertoe leiden dat de veiligheid van het scheepvaartverkeer zal toenemen als gevolg van het verdiepingsproject en de introductie van de vaart met grotere schepen.