

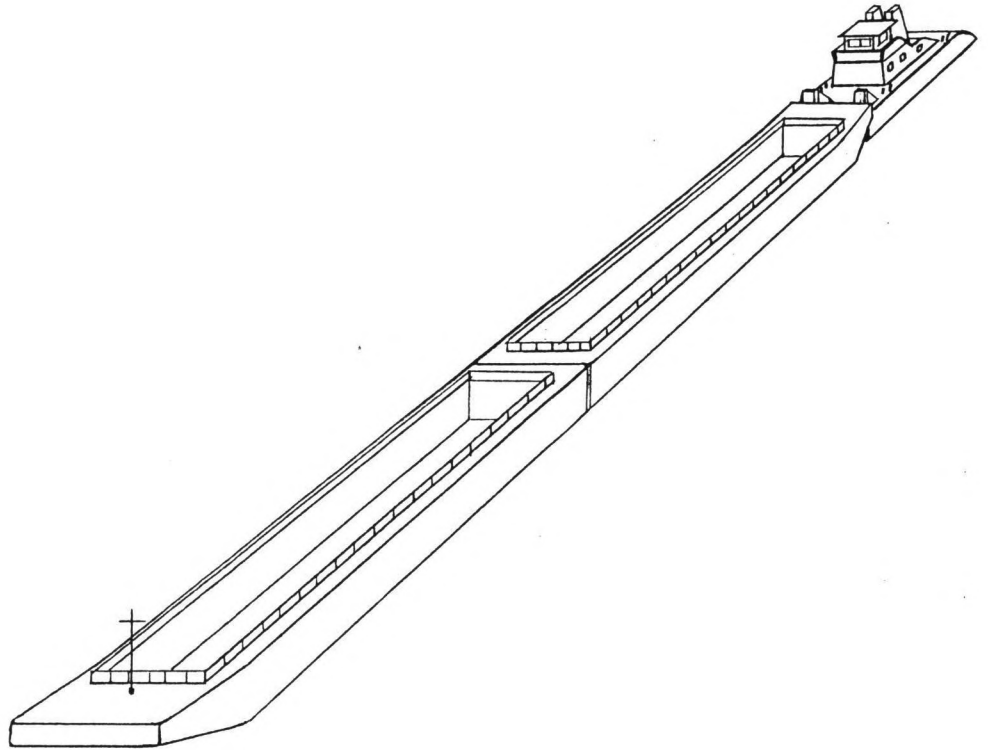
Tweebaksduwvaart op het Prinses Margrietkanaal

Hoofdonderzoek

K.81.a

April 1988

R.J. Dijkstra



Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

TU Delft

Technische Universiteit Delft

Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

TWEEBAKSDUWVAART OP HET PRINSES MARGRIETKANAAL

Hoofdonderzoek

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

april 1988

R.J.Dijkstra

Afstudeer Hoogleraar : Prof.ir. H. Velsink
Begeleider : ir. J. Bouwmeester

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

VOORWOORD

Dit onderzoek is verricht in het kader van het afstuderen aan de Technische Universiteit Delft, faculteit der Civiele Techniek, vakgroep Waterbouwkunde, te Delft.

Het onderwerp is gekozen in verband met de schaalvergroting van de konventionele binnenscheepvaart naar duwvaart en de toenemende belangstelling om met kleinere duweenheden ook de minder grote doorgaande rivieren en kanalen te gaan bevaren.

Hierbij wil ik graag dank zeggen aan een ieder die zijn medewerking heeft verleend bij het tot stand komen van dit onderzoek, in het bijzonder:

- D. Breedveld, Scholengemeenschap voor de Rijn- en Binnenvaart en de Kustvaart, Rotterdam
- C.F.N.R., rederij, Straatsburg
- ir. S.R. Dijkstra, Alkmaar
- J. Kuipers, kantoor C.F.N.R., Rotterdam
- Provincie Friesland, Leeuwarden
- Rijkswaterstaat, Leeuwarden
- X. Storm, kapitein duwboot Besançon, Straatsburg
- Technische Universiteit Delft, Delft

Delft, april 1988

R.J. Dijkstra

INHOUD

	blz.
Samenvatting	1
1. Inleiding	4
2. Het ontwerp van een klasse V kanaal	6
2.1 Normen voor de vaarwegdiepte	7
2.2 Normen voor de vaarwegbreedte	8
2.2.1 De breedte in het kielvlak van het geladen schip	9
2.2.2 De breedte in het kielvlak van het ongeladen schip	11
2.2.3 De bodembreedte van de vaarweg	15
2.3 Normen voor het vaarwegdwarsprofiel	16
2.4 Konklusies betreffende het vaarwegdwarsprofiel van een klasse V kanaal	17
3. Vergelijking van een klasse V-schip met een tweebaksduweenheid	19
4. Het ontwerp van een kanaal voor tweebaksduwvaart	21
4.1 Konklusies betreffende het vaarwegdwarsprofiel voor een vaarweg ten behoeve van tweebaksduwvaart	21
5. Het varen in bochten	23
5.1 Konklusies betreffende de bochten in het kanaal	25
6. Het sturen van binnenvaartschepen	27
7. Ontwerptechnische voorzieningen aan duweenheden	30
7.1 Flankingroeren	30
7.2 Passieve kopbesturing	31
7.3 Aktieve kopbesturing	32
7.3.1 Elka-jet	34
7.3.2 Schottel	35
7.4 Knikbesturing	36
7.5 Extra kopbak	37
8. Windrichting en windkracht	38
9. Evaluatie van de pleziervaart op het Prinses Margrietkanaal	40
10. Pleziervaart op het Prinses Margrietkanaal	42
11. Het ontwerp van een nieuw dwarsprofiel voor het Prinses Margrietkanaal, rekening houdende met zowel beroepsvaart als pleziervaart	46
11.1 Konklusies betreffende de "pleziervaart" dwarsprofielen	49

II

	blz.
12. Inzinking bij een varend schip	50
13. Kunstwerken van het Prinses Margrietkanaal	53
13.1 Bruggen	53
13.2 Sluizen	55
14. Het bruggenknooppunt bij Grouw	57
15. Tweebaksduwvaart in het buitenland	59
16. Konklusies	64
Literatuur	65
Gebruikte symbolen	69

SAMENVATTING

Het Prinses Margrietkanaal is in de huidige situatie een klasse IV kanaal. Men is momenteel bezig met het opwaarderen van dit kanaal tot klasse V kanaal. Dit gebeurt door tijdens periodiek onderhoud extra baggerwerk uit te voeren. Er zijn dan ook een achttal alternatieven ontworpen voor een klasse V kanaal die als basis voor het ontwerp van een duwvaart kanaal dienen.

Uit het onderzoek blijkt dat de onderhoudsdiepte voor een klasse V kanaal vergroot zal moeten worden van $3.50 \div K.P.$ naar $3.80 \div K.P.$ De kanaalbreedte zal ook iets vergroot dienen te worden tot ongeveer 60.0 m. Hierbij wordt er steeds uitgegaan van een gebroken trapeziumvormig profiel. Bij een bakprofiel kan de breedte geringer zijn. Echter door de bij dit profiel benodigde verticale damwanden treedt een hinderlijke golfslag op waarvan met name de pleziervaart veel hinder ondervindt.

Op plaatsen waar de verbreding naar 60.0 m. niet mogelijk is zal het kanaal extra verdiept moeten worden. Een alternatief is het toe passen van een bakprofiel op plaatsen waar verbreding niet mogelijk is.

Een vergelijking van een Europa schip (80.0x9.5x2.8 m.) met een tweebaksduweenheid (185.0x11.4x2.8 m.) toont aan dat het grote verschil in de lengte zit. Duweenheden voor de kleinere rivieren en kanalen bezitten meestal een iets kleinere lengte (175.0 m.) dan de hiervoor genoemde duweenheid. Echter ondanks het grote verschil in lengte blijken er tegen de verwachting in toch vrij grote overeenkomsten te bestaan tussen het Europa schip en het duwstel.

Zo blijken beide schepen tijdens versnellen en vertragen bijna identiek te reageren. Bovendien blijkt het tweebaksduwstel in de gestrekte formatie opmerkelijk koersvast te zijn. Het grote verschil tussen beide schepen ontstaat wanneer ze ongeladen zijn. Het duwstel is met de zeer geringe diepgang van de lege duwbakken namelijk zeer zijwindgevoelig. Dit effect wordt nog versterkt indien de bakken open zijn.

De manoeuvreerbaarheid van een duwstel is echter aanmerkelijk te vergroten door boegroeren of een boegschroef te monteren. Deze voorzieningen hebben echter als nadeel dat zij een forse investering vereisen.

Een duwvaart kanaal bezit andere afmetingen dan een klasse V kanaal. Er zijn dan ook een viertal alternatieven ontworpen voor een duwvaart kanaal. Een kanaal met een normaal profiel dat gedimensioneerd is op duwvaart vergt een aanmerkelijk grotere breedte (ongeveer 85.0 m.) in vergelijking tot het oorspronkelijke dwarsprofiel (ongeveer 54.0 m.). De diepte voor zo'n duwvaart kanaal dient bovendien vergroot te worden tot $4.20 m. \div K.P.$

Aangezien het kanaal in de nabije toekomst niet alleen zal worden bevaren door duweenheden, is het gerechtvaardigd om de ontmoeting tussen een klasse V schip en een tweebaksduweenheid als maatgevende situatie te beschouwen. In dat geval kan met een kanaalbreedte van ongeveer 75.0 m. worden volstaan. Deze maat is nog iets verder terug te dringen door een vaarverbod voor lege duweenheden bij windsnelheden boven 6 Beaufort in te stellen of door het verplicht stellen van boegschroeven of eventueel boegroeren. Beide voorzieningen zijn tijdens de vaart zeer effectief. Echter het boegroer heeft als nadeel dat dit pas effectief wordt zodra de duweenheid snelheid maakt.

Bochten dienen uit nautisch oogpunt een straal groter dan 10:l te bezitten. Indien de straal van de bocht kleiner is dan 10:l dan betekent dit dat er een bochtverbreding toegepast moet worden. Deze bochtverbreding kan het beste aan de binnenbocht uitgevoerd worden. Eventueel kan er aan de binnenbocht een damwand worden geplaatst zodat schepen dichters met hun boeg bij de binnenbocht kunnen varen waarbij het achterschip verder kan "uitwaaieren".

Bochten moeten een straal groter dan 6:l bezitten in verband met het vlot verloop van de scheepvaart. In het Prinses Margrietkanaal zijn een drietal bochten aanwezig met een straal kleiner dan 6:l. Deze bochten zullen zowel in het kader van de opwaardering tot klasse V vaarweg als voor de duwvaart aangepast dienen te worden. Bovendien dienen voor de duwvaart bochten met een straal kleiner dan 10:l van een bochtverbreding te worden voorzien.

Aangezien er ook veel pleziervaart van het kanaal gebruik maakt zal hiermee ook rekening gehouden dienen te worden. Voor een kanaal dat in twee richtingen bevaarbaar is voor beroepsvaart, voldoet een extra breedte van 4bp ten behoeve van de recreatievaart. Met deze aanvullende eis zijn ten slotte een tweetal alternatieven berekend namelijk een ruim profiel en een meer krap profiel. Het ontwerp van een kanaal dat geschikt is voor klasse V schepen, incidentele duwvaart en pleziervaart vereist zodoende een kanaalbreedte van ongeveer 75.0 m. op de rechte trajekten.

De bruggen in het Prinses Margrietkanaal dienen voor duwvaart een doorvaarthoogte van minimaal 7.30 m. onder het vaste gedeelte te bezitten. Alle bruggen over het kanaal zijn beweegbaar zodat in principe een onbeperkte doorvaarthoogte beschikbaar is. De doorvaartwijdte dient voor duwvaart liefst 19.0 m. te bedragen. Hieraan voldoen alle bruggen onder het vaste gedeelte uitgezonderd de bruggen bij Schuilenburg en Grouw.

De brug bij Schuilenburg is een draaibrug die in geopende stand een doorvaartwijdte van 16.0 m. bezit. Deze brug bevindt zich echter in een recht kanaal gedeelte met slechts geringe pleziervaart zodat deze brug zonder al te grote problemen moet zijn te passeren door duweenheden.

De bruggen bij Grouw vormen daarentegen het grote knelpunt van de route. De doorvaarthoogte bedraagt hier slechts 5.45 m.+ K.P. en de doorvaartwijdte 17.25 m. Dit betekent dat duweenheden hier gebruik moeten maken van het beweegbare deel van de brug. Hier bedraagt de doorvaartwijdte slechts 16.0 m. Bovendien is er 's zomers erg veel wachtende (en rondvarende) pleziervaart bij deze brug. Deze brug vormt dan ook het grote obstakel in zowel het klasse V kanaal als in een duwvaartkanaal. Een tunnel of aquaduct betekent voor dit probleem de fraaiste (maar dure) oplossing.

Als laatste is de duwvaart op kleine rivieren en kanalen in het buitenland bekeken. Vooral in Duitsland is er in het verleden vrij veel onderzoek verricht naar tweebaksduwvaart in gestrekte formatie. Zo heeft men op de Moezel al 25 jaar ervaring met duwvaart. Uit gesprekken met duwbootkapiteins op de Moezel bleek ook duidelijk dat lege duweenheden bij windkracht 6 Beaufort en hoger, zonder boegroer of boegschroef bijna niet zijn te hanteren. Door het toepassen van een boegschroef of waterstraalaandrijving in de voorste duwbak blijft de combinatie echter ook onder moeilijke omstandigheden goed hanteerbaar. Het afdekken van het ruim van de duwbak betekent eveneens een verbetering waardoor de wind minder vat krijgt op de duwbak.

1. INLEIDING

Het Prinses Margrietkanaal is momenteel nog steeds een klasse IV kanaal. Er zijn plannen aanwezig om dit kanaal uit te breiden tot een klasse V kanaal.

Als in de toekomst duwvaart van dit kanaal gebruik wil gaan maken dan dient er eerst onderzocht te worden of dit kanaal in zijn huidige hoedanigheid wel geschikt is voor duwvaart. Daartoe dienen de eisen van de duwvaart getoetst te worden op zowel het lengteprofiel als het dwarsprofiel. Tevens dienen de kunstwerken in het kanaal aan een nadere beschouwing onderworpen te worden.

De mate waarin duwvaart op het Prinses Margrietkanaal plaats zal vinden is tevens van belang bij dit onderzoek. Het maakt voor zowel het dwarsprofiel, het lengteprofiel en de kunstwerken nogal wat uit of de maatgevende situatie gevormd wordt door een ontmoeting van twee duweenheden of door de ontmoeting tussen een duweenheid en een konventioneel binnenvaartschip. In dit onderzoek zal de mogelijkheid van beperkte duwvaart op het Prinses Margrietkanaal worden bekeken. Hieronder wordt verstaan een duwboot die voorzien is van maximaal twee duwbakken.

Friesland is een waterrijke provincie waar de watersport al van oudsher aanwezig is. Deze watersport mag in het onderzoek zeker niet uit het oog verloren worden. Het invoeren van duwvaart mag dan ook niet betekenen dat de pleziervaart weggedrukt wordt. Dit betekent dat het dwarsprofiel voldoende ruim zal moeten zijn of dat er goede alternatieve vaarroutes aanwezig zijn op plaatsen waar anders grote knelpunten zouden kunnen ontstaan.

In dit onderzoek worden normen opgesteld voor een klasse V kanaal. Vervolgens wordt het Prinses Margrietkanaal getoetst aan deze eisen. Hetzelfde proces wordt uitgevoerd met betrekking tot een kanaal voor de duwvaart. Vervolgens wordt ook de pleziervaart bij het geheel betrokken om zo te komen tot definitieve normen voor een kanaal waarvan zowel klasse V schepen, duwstellen als pleziervaart, naast elkaar gebruik kunnen maken.

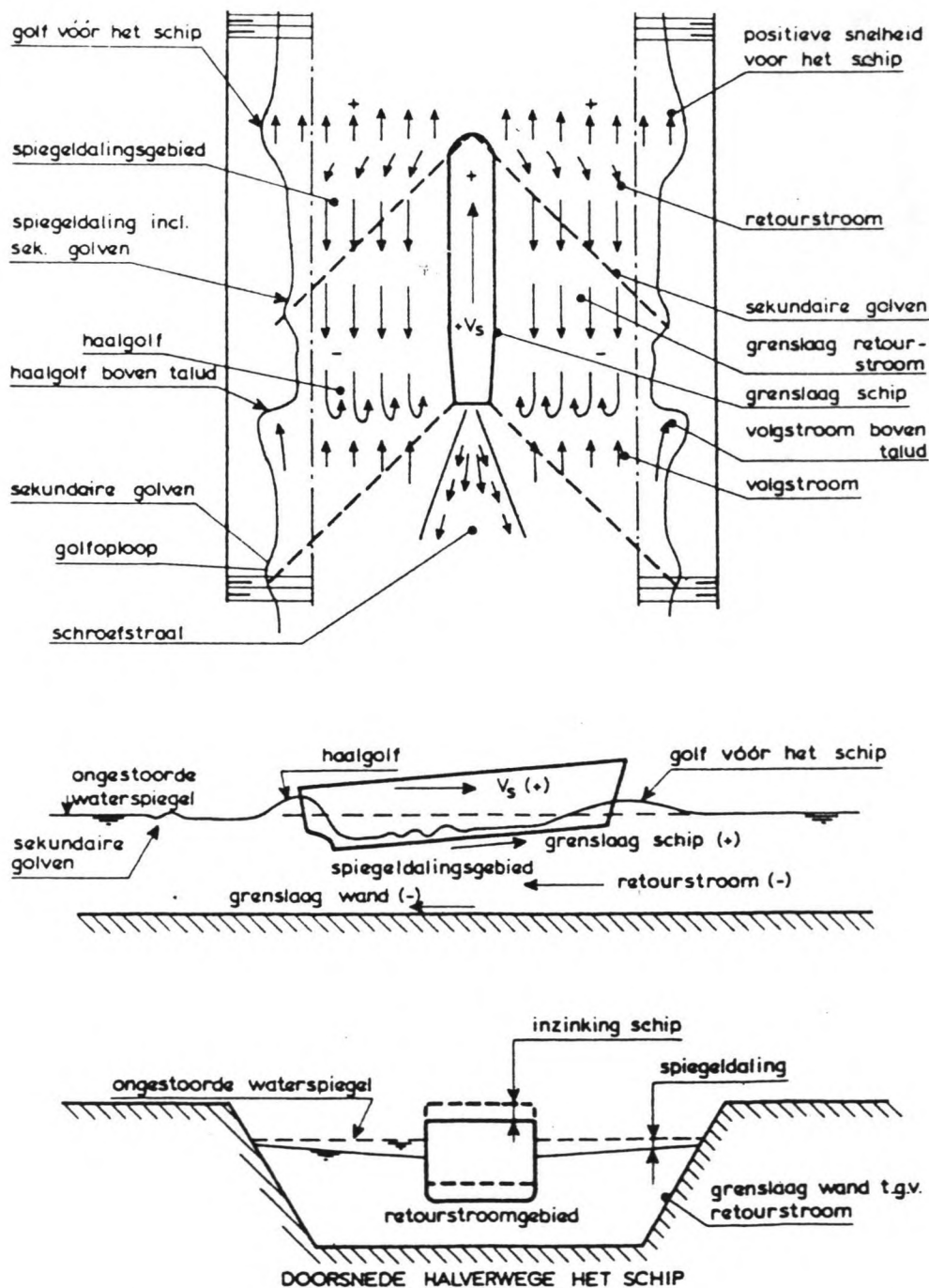
Het Prinses Margrietkanaal is een relatief smal binnen water. Het is bovendien voorzien van talrijke bochten. De kans op een scheepsontmoeting is door de drukke scheepvaart zeer groot. Dit betekent dat er hoge eisen gesteld worden aan de manoeuvreerbaarheid van de duwstellen. In het onderzoek wordt dan ook ingegaan op de mogelijkheid om de manoeuvreerbaarheid van, met name lege, duweenheden te verbeteren.

Aangezien er in het buitenland al geruime tijd van duwvaart gebruik wordt gemaakt, ook op de kleinere binnenwateren,

wordt ook hiernaar een onderzoek ingesteld. Door middel van een literatuur studie, naar met name de onderzoeken en proeven van Schäle in Duitsland, wordt bekeken hoe men in het buitenland rivieren en kanalen voor de kleinere duwvaart geschikt heeft gemaakt. Tenslotte zijn ook de eigen ervaringen, opgedaan tijdens een reis aan boord van de duwboot Besançon op de Moezel, verwerkt in dit onderzoek.

Tabel 1. Kenmerkende afmetingen van binnenvaartschepen

kl.	type	lengte (m)	breedte (m)	diep- gang (m)	hoogte ledig (m)	laadver- mogen (ton)
0	kleinere vaartuigen		variërend			< 300
I	Spits (Peniche)	38,50	5,00	2,20	3,55	300
II	Kempenaar	50,00	6,60	2,50	4,20	600
III	Dortmund-Eemskanaalschip	67,00	8,20	2,50	3,95	1000
IV	Rijn-Hernekanaalschip	80,00	9,50	2,50	4,40	1350
V	Groot Rijnschip	95,00	11,50	2,70	6,70	2000
VI	Duwvaart	185,00	22,80			



Figuur 1. Waterbeweging rondom een schip in een kanaal

2. HET ONTWERP VAN EEN KLASSE V KANAAL

Het Prinses Margrietkanaal is in de huidige situatie een klasse IV kanaal. Een vergroting van het kanaal naar klasse V is voor de toekomst onvermijdelijk omdat er steeds meer en grotere schepen [16] van het kanaal gebruik maken en het kanaal daardoor als klasse IV kanaal bijna zijn maximale capaciteit heeft bereikt.

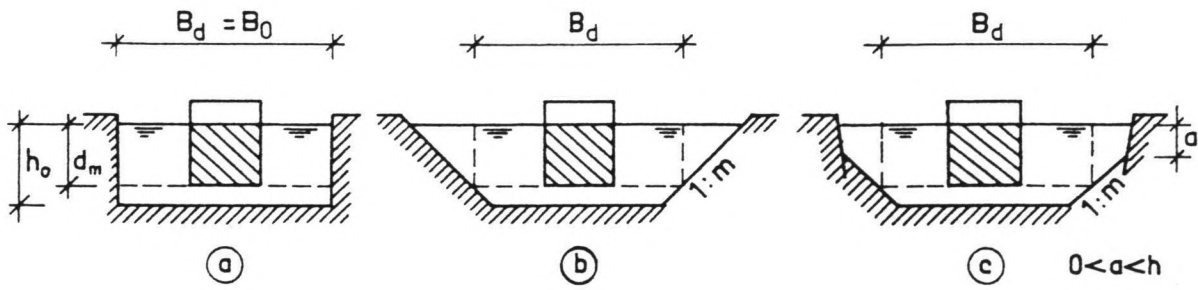
Als basis voor het ontwerp van een klasse V kanaal dient het groot Rijnschip. De kenmerkende afmetingen van dit type schip zijn weergegeven in tabel 1.

Er worden tegenwoordig voor de vaart op de Rijn zelfs schepen gebouwd met een lengte van 110 m. en een diepgang van 3.20 m. terwijl de breedte 11.50 m. bedraagt. Deze schepen kunnen door hun grotere diepgang niet het gehele jaar door volledig afgeladen van de Rijn gebruik maken (droge periode). Het is dan ook niet wenselijk om het klasse V kanaal op deze grotere diepgang te dimensioneren. Mochten schepen met deze diepgang van het klasse V kanaal gebruik willen maken dan betekent dit dat zij niet geheel afgeladen kunnen varen.

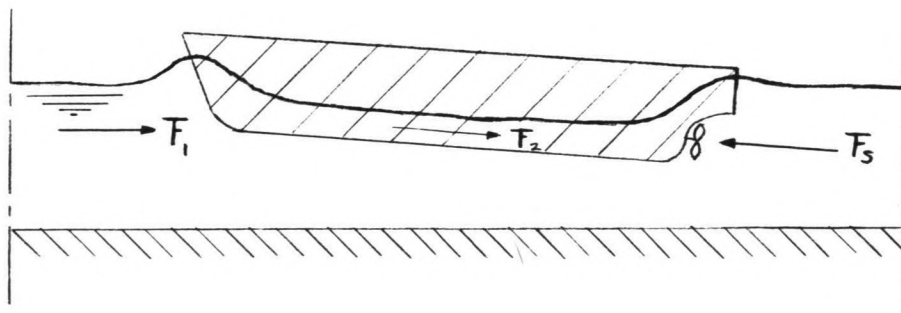
In de huidige situatie bezit het Prinses Margrietkanaal een onderhoudsdiepte van 3.50 m. ÷ Zomer Peil (Z.P.). De kanaalbreedte, gemeten op de waterspiegel, varieert van 52 m. in het kanaal tot 160 m. op de meren (bijlage 2). Op bijlage 3 zijn voor het huidige klasse IV kanaal het minimum en het maximum dwarsprofiel getekend.

Een schip dat door een kanaal vaart veroorzaakt daar een waterbeweging. Er worden golven opgewekt rondom het schip en er vindt een stroming van het water plaats dat door het schip verdrongen wordt (fig.1) De dimensionering van een kanaal dient dan ook aan zekere normen te voldoen [2]. Dit geldt speciaal voor zeer intensief bevaren kanalen aangezien daarbij het schip buiten de as van het kanaal moet varen om een ander schip in te halen of te ontmoeten.

Op het Prinses Margrietkanaal werd in 1986 een verkeersintensiteit gemeten van bijna 26.000 beroepsvaarders [17]. Voor de dimensionering als klasse V zal daarom worden uitgegaan van een "normaal" profiel [6]. Dit wil zeggen dat het hierbij gaat om een tweestrooks vaarweg waar twee klasse V schepen elkaar zonder vaartvermindering kunnen ontmoeten. Bovendien dient voorzichtig oplopen van een geladen klasse V schip door een ander klasse V schip mogelijk te zijn (voorzichtig wil zeggen met vaartvermindering).



Figuur 2. Vormen van dwarsprofielen



Figuur 3. Squat bij een varend schip

Als er bij een dwarsprofiel naar de vorm van de omtrek wordt gekeken dan kunnen er in grote lijnen een drietal alternatieven worden onderscheiden (fig.2):

- a. bakprofiel
- b. trapeziumvormig profiel
- c. gebroken profiel

In de werkelijkheid zullen er overgangsvormen van bovenstaande profielen voorkomen. Scherpe hoeken zullen daarbij een vloeiend verloop vertonen. Dit wordt veroorzaakt door de manier van uitgraven (baggeren) en door sedimentatie en uitschuring.

Voor de bepaling van de afmetingen van het dwarsprofiel zijn een drietal dimensieloze parameters van belang [2]:

- a. h_0/d_m ; diepteparameter
- b. B_d/b ; breedteparameter
- c. A_s/A_c ; oppervlakteparameter

- ad. a. De diepteparameter is sterk bepalend voor de bestuurbaarheid en de vaarsnelheid van een schip.
- ad. b. De breedteparameter is sterk bepalend voor de verkeersintensiteit (aantal vaarstroken, in verband met ontmoetingen en oploopmanoeuvres).
- ad. c. De oppervlakteparameter is sterk bepalend voor de weerstand en dus de mogelijke vaarsnelheid van een schip.

De diepteparameter en de daarmee samenhangende breedteparameter voor het kielvlak worden betrokken op een stilstiggend schip! Dit betekent dat voor de bepaling van het uiteindelijke dwarsprofiel rekening gehouden dient te worden met spiegeldaling en squat bij een varend schip.

2.1 Normen voor de vaarwegdiepte

Een varend schip veroorzaakt een waterstroming om het schip heen die van de boeg naar het achterschip loopt [2]. Deze stroming wordt de retourstroom genoemd en veroorzaakt een daling van de waterspiegel, de zogenaamde spiegeldaling. Door deze spiegeldaling wordt de ruimte tussen de kiel van het schip en de kanaalbodem kleiner. Deze ruimte wordt nog eens extra verkleind door het achterover hellen van het schip (het schip wordt vertrimd) hetgeen wordt veroorzaakt door het niet samenvallen van de schroefkracht en de optredende weerstandskrachten en door het ten gevolge van de retourstroom ontstane langsverhang.

De som van inzinking door spiegeldaling en vertrimming wordt squat genoemd (fig.3). Squat is dus het maximale verschil in diepgang tussen een varend en een stilstiggend schip. De grootte van de squat is bij kleinere vaarsnelheden afhankelijk van het kwadraat van de vaarsnelheid [6].

Tabel 2. Minimaal benodigde kanaaldiepte

literatuurstudie			vaarweginventarisatie		
klasse	h/dm	h-dm	klasse	waarden van h/dmax	
[-]	[-]	[m]		dominant	gemiddeld
I	1.2-1.3	0.5-0.8	I	1.2	1.22
II	1.2-1.3	0.5-0.8	II	1.2- 1.3	1.33
III	1.2-1.3	0.5-0.8	III	1.2- 1.3	1.27
IV	1.4	0.7-1.0	IV	1.35-1.4	1.39

h = vaarwegdiepte [m]
 dm = diepgang van het geladen schip [m]
 dmax = maximaal toegelaten diepgang [m]

Wanneer het schip harder gaat varen dan de helft van de grenssnelheid, dan neemt de squat veel sneller toe dan met het kwadraat van de vaarsnelheid.

De afmetingen van het vaarwegdwarsprofiel zijn eveneens bepalend voor de squat.

Om een schip nu goed door een kanaal te laten varen is een zekere minimum diepte nodig. Deze diepte wordt voornamelijk bepaald door de diepgang van het maatgevende schip. Zoals eerder is beschreven heeft een varend schip extra diepte nodig. Terwille van de goede bestuurbaarheid van het schip mag de ruimte onder de kiel (keel clearance) niet te klein zijn. Tevens is er een zekere minimum kielspeling nodig om te voorkomen dat de bodem gaat eroderen ten gevolge van de schroefstraal.

Uit de literatuur [6] en uit vele proefnemingen is gebleken dat er minimaal 30% à 40% overdiepte vereist is voor een goede bestuurbaarheid. Deze waarde is voornamelijk bepaald voor klasse IV kanalen (tabel 2).

In Duitsland wordt tegenwoordig voor nieuw te graven kanalen een overdiepte van 50% aangehouden, zeker als er sprake is van duwvaart. Het nadeel van ho/dm -waarden > 1.4 is dat het voor schepen gemakkelijker wordt om sneller te varen. Een grotere kielspeling blijkt in de praktijk eveneens te leiden tot druk op de vaarwegbeheerders om met grotere diepgang te mogen varen.

Konklusie betreffende de vaarwegdiepte :

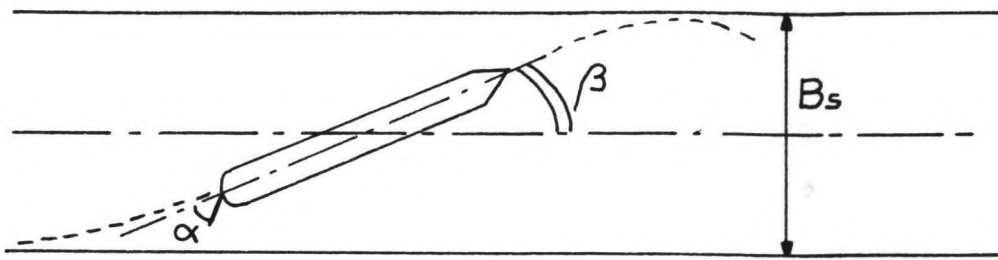
Voor kanalen van klasse V en groter, met een normaal profiel, dienen de volgende waarden te worden aangenomen:

klasse V : ho/dm ≥ 1.4
duwvaart : ho/dm ≥ 1.5

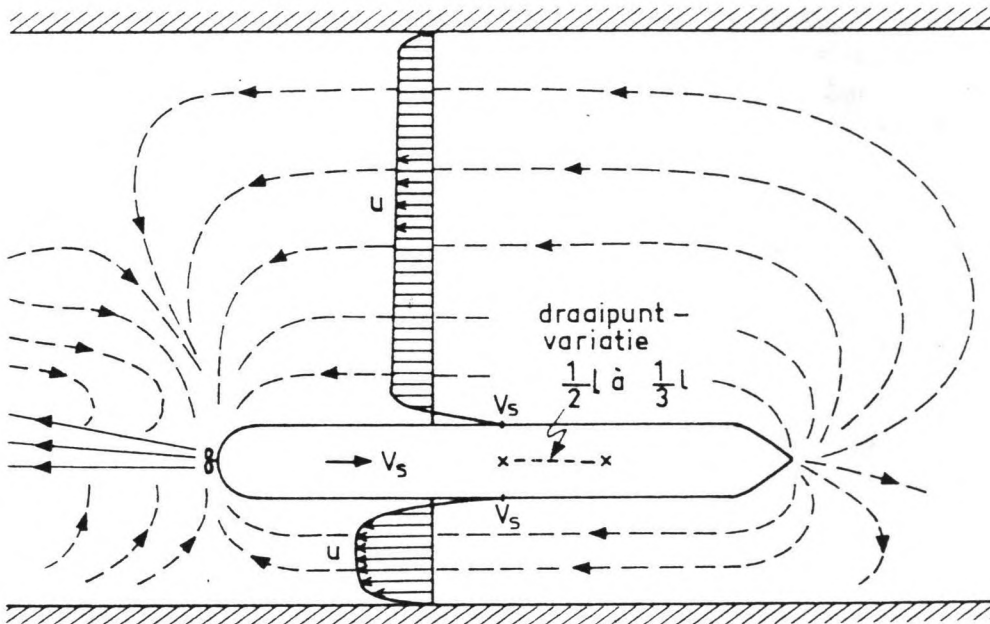
2.2 Normen voor de vaarwegbreedte

Bij het opstellen van normen voor de vaarwegbreedte dient het kanaal op een drietal nivo's te worden bekeken:

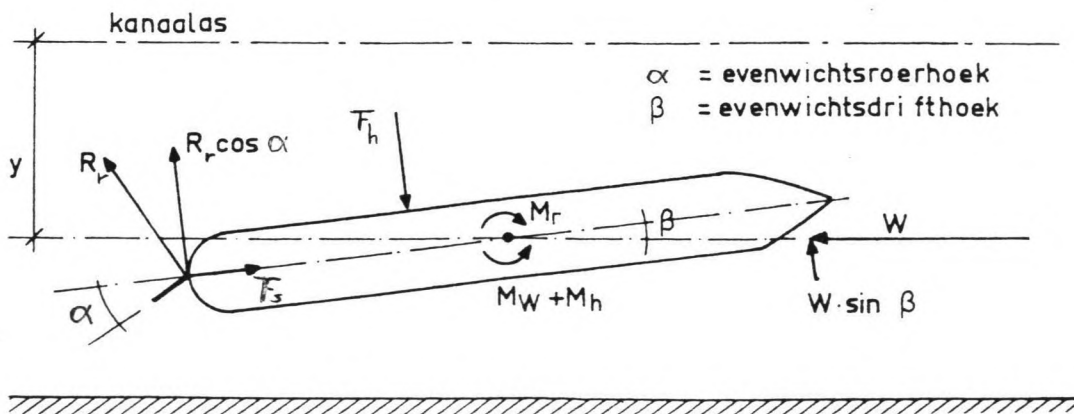
1. de breedte in het kielvlak van twee geladen maatgevende schepen
2. de breedte in het kielvlak van een geladen en een ongeladen maatgevend schip (tijdens zijwind)
3. de breedte op de bodem van de vaarweg



Figuur 4. Drifthoek bij een varend schip



Figuur 5. Stroombeeld rondom een buiten de as van het kanaal varend schip



Figuur 6. Krachtenspel op een varend schip

2.2.1 De breedte in het kielvlak van het geladen schip

Een schip dat door een kanaal vaart zal dat niet volgens een rechte lijn doen maar met een slingering rond een evenwichtsstand (een zogenaamde vetergang) (fig.4). Het schip heeft dan ook een vaarstrookbreedte nodig die groter is dan de breedte van het schip zelf. Het schip gaat slingeren ten gevolge van storende zijdelingse invloeden zoals wind, golven, zuiging en zijstrooming. Het schip zal hierdoor enigszins van koers geraken waarna de stuurman met het roer een korrektie uitvoert om het schip weer op koers te brengen. Omdat het schip traag reageert en omdat de roerganger een waarnemings- en reaktietijd nodig heeft, wordt de benodigde vaarstrookbreedte groter dan de scheepsbreedte. De drifthoek β en de roerhoek α zullen tijdens het varen dan ook continu veranderen.

Bij een schip dat in de as van het kanaal vaart doet zich een min of meer symmetrische situatie voor, de waterbeweging is aan beide zijden van het schip ongeveer gelijk. Bij scheepvaart buiten de as van het kanaal treedt er echter een a-symmetrisch stroombeeld op (fig.5). Dit wordt veroorzaakt doordat er tussen het schip en de dichtst bijzijnde oever een kleiner doorstromingsprofiel aanwezig is. Dezelfde hoeveelheid verdrongen water zal hier door een kleiner doorstromingsprofiel moeten stromen hetgeen een grotere snelheid van de retourstroom veroorzaakt en dus ook een grotere spiegeldaling. Hierdoor ontstaat er een kracht op het schip welke gericht is naar de dichtst bijzijnde oever. De roerganger reageert op deze kracht door het schip onder een hoek met de evenwichtsstand te laten varen (fig.6). Een schip dat buiten de as van het kanaal vaart heeft dus een grotere vaarstrookbreedte nodig dan een schip dat in de as van het kanaal vaart.

De vaarstrookbreedte wordt mede door de lengte van het schip bepaald. Omdat er een min of meer konstante verhouding tussen de lengte en de breedte van konventionele binnenvaart schepen bestaat ($l/b = 6$ à 8), kan de breedte toeslag, als onderdeel van de vaarstrookbreedte, worden uitgedrukt in de breedte van het schip.

Voor de vaarstrookbreedte worden veelal de volgende waarden gevonden (zeeschepen: kleiner roeroppervlak, kleinere l/b):

- binnenvaartschepen : 1.20 à 1.40 b
 - zeeschepen : 1.50 à 1.80 b
- (b = scheepsbreedte)

Voor duweenheden ligt de verhouding lengte/breedte anders dan bij binnenvaartschepen:

- tweebaksduweenheid (lange formatie) : $l/b = 16$
- vierbaksduweenheid : $l/b = 8$
- klasse IV binnenvaartschip : $l/b = 8$

Zoals hierboven valt te zien blijkt de lengte/breedte verhouding van een tweebaksduweenheid in de lange formatie groter te zijn dan bij een konventioneel binnenschip. Het gedrag van een tweebaksduweenheid in de lange formatie zal liggen tussen het binnenschip en het zeeschip op een kanaal [12]. Daarom wordt voor de vaarstrookbreedte van een duweenheid de volgende waarde aangehouden:

- duweenheid : 1.50 b

Veiligheidsstroken

Om te voorkomen dat twee elkaar passerende schepen elkaar raken wordt er tussen de beide vaarstroken een veiligheidsstrook aangehouden. Tussen de oever en de vaarstrook wordt eveneens een veiligheidsstrook aangehouden om in de wal lopen van een schip te voorkomen. Voor de veiligheidsstrook tussen twee schepen is de situatie maatgevend waarbij twee schepen elkaar oplopen. Hiervoor worden vaak de volgende waarden aangehouden:

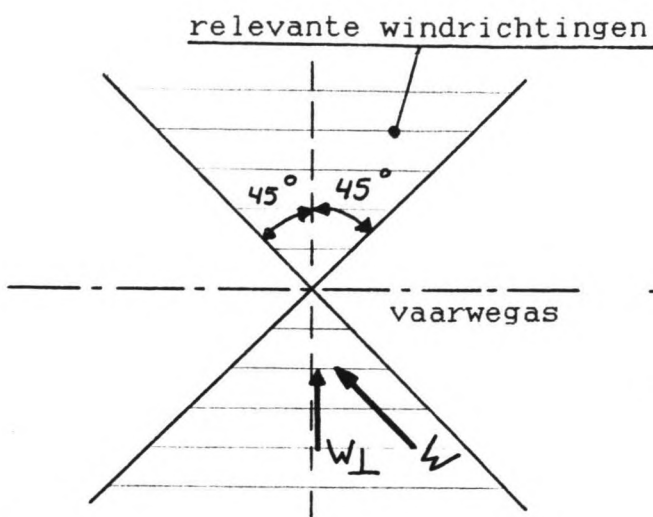
- binnenvaartschepen : 0.20 à 0.40 b
- zeescheepvaart : 0.50 à 1.00 b

Voor de veiligheidsstroken tussen een vaarstrook en de vaarwegbegrenzing wordt de ontmoeting van twee schepen als maatgevende situatie beschouwd. Deze veiligheidsstrook is groter dan de veiligheidsstrook tussen twee vaarstroken omdat de kans op in de oever lopen, losgezien van de oeverzuiging, groter is dan de kans op een aanvaring tussen twee schepen omdat in het eerste geval slechts één schipper kan reageren en in het tweede geval twee schippers met tegelijkertijd kunnen reageren. Voor de veiligheidsstrook tussen vaarstrook en vaarwegbegrenzing wordt dan ook meestal aangehouden:

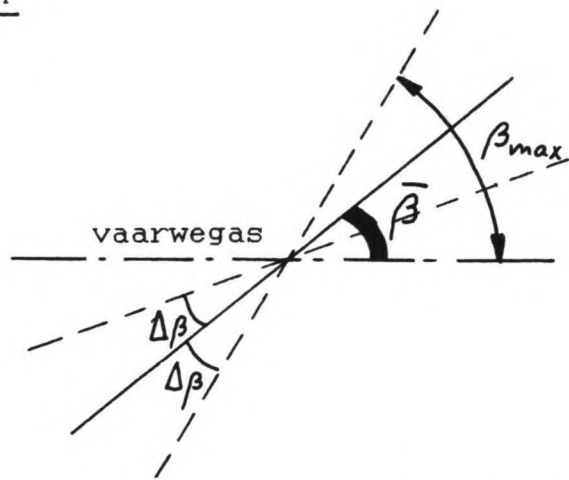
- binnenvaartschepen : 0.20 à 0.60 b
- zeescheepvaart : 0.75 à 1.25 b

Opmerking : Voor een tweestrooksvaarweg zullen de maatgevende veiligheidsstroken voor oplopen en ontmoeten nooit gelijktijdig optreden, zodat hier een soort extra veiligheidsmarge wordt ingebouwd.

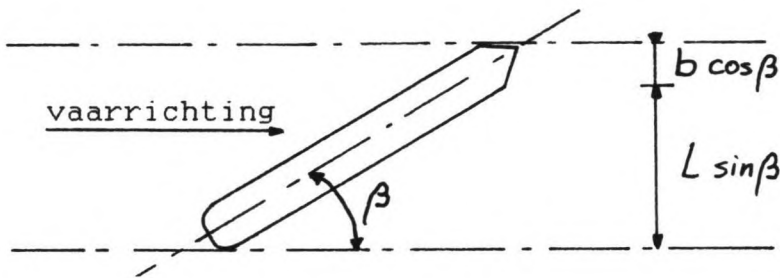
Het gedrag van een tweebaksduweenheid in gestrekte formatie zonder hulpmiddelen zoals boegroer of boegschroef, houdt ongeveer het midden tussen het gedrag van konventionele binnenvaartschepen en zeeschepen op kanalen. Daarom worden de veiligheidsstroken voor deze duweenheden gevonden door tussen deze beide gevallen te interpoleren. Voor de veiligheidsstrook bij tweebaksduwvaart in de gestrekte formatie zullen daarom de volgende waarden worden gehanteerd:



Figuur 7. Relevante richtingen voor zijwindhinder



Figuur 8. Evenwichtsdrifthoek



Figuur 9. Breedtebeslag bij een varend schip

Tabel 3. Netto breedte-toeslag door zijwind voor een tweestrooksvaarweg

profiel		kuststreek	landstreek
trapezium	normaal	0 à 0,40.b	0
	krap	0,25 à 0,75.b	0 à 0,15.b
gebroken	normaal	0 à 0,35.b	0
	krap	0,15 à 0,65.b	0 à 0,10.b
bak	normaal	0,60 à 1,00.b	0,25 à 0,45.b
	krap	0,75 à 1,20.b	0,30 à 0,60.b

Tabel 4. Zijwindtoeslagen volgens de C.V.B.

ligging vaarweg	normaal profiel	krap profiel
kuststreek	10.0	13.0
landstreek	5.0	6.5

zijwindtoeslag in % van de lengte van het maatgevende schip

- tussen twee vaarstroken : 0.35 à 0.70 b
- tussen vaarstrook en vaarwegbegrenzing: 0.50 à 1.00 b

2.2.2 De breedte in het kielvlak van het ongeladen schip

Ongeladen schepen kunnen in vlakke gebieden en in kuststreken aanzienlijke hinder ondervinden van harde wind. Vooral zijwind veroorzaakt grote hinder. Aangenomen is (arbitrair) dat er sprake is van zijwind als de scherpe hoek tussen windrichting en vaarweg-as tenminste 45° groot is [4]. De snelheid van de zijwind is de ontbonden windsnelheidskomponent in de richting loodrecht op de vaarweg-as (W_{\perp}). In figuur 7 is aangegeven welke windrichtingen relevant zijn gesteld voor de zijwindhinder.

Zijwind leidt er in de praktijk toe dat het schip met een extra drifthoek β gaat varen om evenwicht te maken met de krachten veroorzaakt door wind. De grootte van deze drifthoek is afhankelijk van scheepsvorm, vaarsnelheid en windsnelheid. Als de zijwind konstant is, dan is er sprake van een konstante drifthoek, de "evenwichtsdrifthoek". Echter de wind varieert continu. Door windvlagen is de maximum drifthoek belangrijk groter dan de evenwichtsdrifthoek. De drifthoek van een schip schommelt dan ook rond een gemiddelde drifthoek $\bar{\beta}$ ook wel evenwichtsdrifthoek genoemd (fig.8). Het grootste momentane breedtebeslag dat tijdens een oplooptoestand wordt gehanteerd is als volgt te berekenen (fig.9):

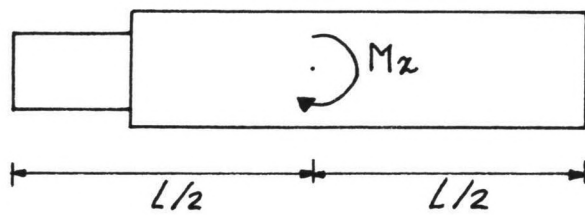
$$B_m = l \cdot \sin \bar{\beta} + b \cdot \cos \bar{\beta} \quad (1)$$

waarin:

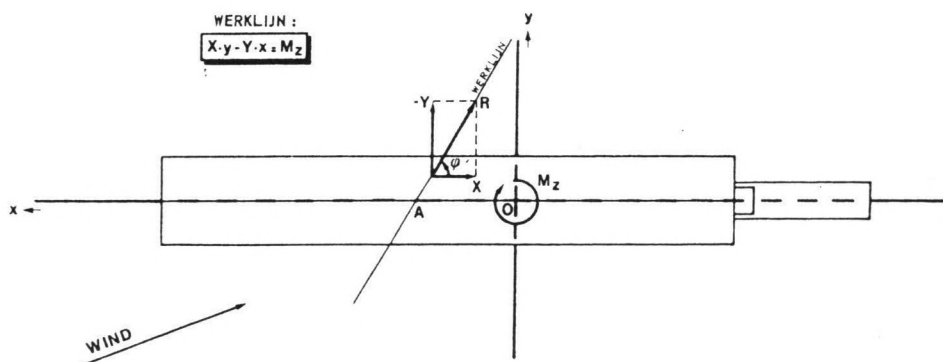
- B_m = momentane breedte beslag door een schip [m]
- l = lengte van het (beroeps)schip [m]
- $\bar{\beta}$ = gemiddelde drifthoek [$^\circ$]
- b = breedte van het (beroeps)schip [m]

Voor de breedtetoeslag ten gevolge van zijwind zijn geen exacte maten te geven. Bouwmeester [2] stelt dat de breedte toeslag bepaald kan worden met de gegevens uit tabel 3. De Commissie Vaarweg Beheerders (C.V.B.) hanteert [6] echter de toeslagen uit tabel 4. Deze toeslagen gelden voor vaarwegen in "open terrein". Bij beschut gelegen vaarwegen kan in principe met een kleinere toeslag worden volstaan. Bovenstaande toeslagen gelden voor konventionele binnenvaartschepen. Duweenheden hebben soms een veel grotere lengte/breedte verhouding (vooral tweebaksduweenheden in gestrekte formatie) dan konventionele binnenschepen.

Door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (N.L.R.) is in een windtunnel een modelonderzoek uitgevoerd naar de windbelasting op een duwvaartkombinatie [14]. Tijdens dit onderzoek bleek dat open duwbakken aan een aanzienlijk grotere windbelasting onderhevig zijn dan gesloten duwbakken. De proeven werden uitgevoerd op een



Figuur 10. Giermoment



Figuur 11. Windrichting en schijnbare windrichting op een duweenheid

model van een duweenheid bestaande uit een duwboot en vier ongeladen duwbakken. Uit het onderzoek kwamen de volgende konklusies naar voren:

- de maximale windlast in langsscheepse richting is bij open bakken ruim 60% groter dan bij gesloten bakken.
- de dwarsscheepse belasting ligt voor open bakken bij de meeste windrichtingen hoger dan voor gesloten bakken, de maxima liggen echter op ongeveer gelijk niveau.
- het maximale giermoment is bij voorlijke windrichtingen circa 75% groter bij open bakken. Bij windrichtingen achterlijker dan dwars is het verschil in de orde van 5% (het giermoment wordt gemeten om de Z-as, zie figuur 10).

Verder bleek er uit dit onderzoek dat de richting waarin de belasting wordt uitgeoefend aanzienlijk kan afwijken van de windrichting, en wel zodanig dat de resultante van de horizontale krachten (R_h) een kleinere hoek met de dwars-as van de combinatie maakt dan de wind (fig.11). Dit is het gevolg van het feit dat het zijdelingse oppervlak veel groter is dan het frontale oppervlak. Het verschil tussen open en gesloten bakken bij schuin inkomende wind wordt veroorzaakt doordat in de luchtstroming rond zo'n langgerekt objekt een kurketrekker-vormige wervel ontstaat. Aan de loefzijde wijkt de lucht naar boven uit; aan lijzijde (en gedeeltelijk al boven de combinatie) treedt een neerwaartse stromingskomponent op. Deze laatste heeft in de situatie met gesloten bakken weinig effect. Bij de open bakken komt de naar beneden afgebogen stroming echter in interactie met de bakwanden aan de lijzijde, hetgeen in een hogere belasting zowel in langs- als in dwarsrichting resulteert (circa 65% bij $\varphi = 25^\circ$; $\varphi =$ windrichting ten opzichte van de combinatie, $\varphi = 0^\circ$ ---> wind van voren, $\varphi = 90^\circ$ ---> wind dwars inkomend).

Voor tweebaksduwvaart in de gestrekte formatie zal het bovenstaande nog versterkt worden omdat de verhouding tussen het zijdelingse oppervlak en het frontale oppervlak nog groter is dan bij een vierbaksduweenheid. De resulterende belasting ten gevolge van de wind zal dan ook meer dwars invallen, hetgeen een grotere drifthoek zal veroorzaken.

Met de maatgevende zijwindsnelheid en de vaarsnelheid als gegeven kan met behulp van bijlage 4 de gemiddelde drifthoek ($\bar{\beta}$) worden bepaald. De voor de zijwind toe te passen breedte toeslag bedraagt dan:

$$B_w = 1 \cdot \sin \bar{\beta} + b \cdot \cos \bar{\beta} - 1.5 \cdot b \quad (2)$$

Dit is een eenvoudige en snelle methode. De zijwind toeslag kan echter ook "exact" uitgerekend worden, zoals hieronder zal worden aangetoond.

De zijwind oefent een grote dwarskracht uit op een ongeladen duwbak. Deze dwarskracht wordt door de roerganger

Tabel 5. Windsnelheden

windkracht [Beaufort]	windsnelheid op 10 m. hoogte [m/s]
0	0.0 - 0.2
1	0.3 - 1.5
2	1.6 - 3.3
3	3.4 - 5.4
4	5.5 - 7.9
5	8.0 - 10.7
6	10.8 - 13.8
7	13.9 - 17.1
8	17.2 - 20.7
9	20.8 - 24.4
10	24.5 - 28.4
11	28.5 - 32.6
12	> 32.6

opgevangen door het duwkonvooi met de boeg naar de wind te laten varen. Door de waterdruk tegen de scheepsromp wordt er nu een tegenkracht opgewekt die evenwicht dient te maken met de dwarskracht welke wordt veroorzaakt door de wind. Uit onderzoeken [31] is gebleken dat de windkracht op een duwbak als volgt kan worden bepaald:

$$K_l = 0.5 \cdot \rho_l \cdot C \cdot W_{\perp}^2 \cdot A_l \quad (3)$$

waarin:

K_l = windkracht op een duwbak [N]
 ρ_l = dichtheid lucht (1.33 kg/m³)
 C = weerstandskoefficient (≈ 1.4 voor een duwstel)
 W_{\perp} = windsnelheid \perp op de kanaalas [m/s] (tabel 5)
 A_l = zijdelingse oppervlak duweenheid boven water [m²]

$$\text{====>} \quad K_l = 0.91 \cdot W_{\perp}^2 \cdot A_l \quad (4)$$

De dwarskracht, die door het water veroorzaakt wordt kan als volgt worden bepaald:

$$K_w = 0.5 \cdot \rho_w \cdot C \cdot (V_s - V_w)^2 \cdot A_w \cdot \sin \bar{\beta} \quad (5)$$

waarin:

K_w = dwarskracht door het water op een duwbak [N]
 ρ_w = dichtheid water (1000 kg/m³)
 C = weerstandskoefficient (≈ 1.4 voor duweenheden)
 $V_s - V_w$ = snelheid van het schip ten opzichte van het water [m/s]
 A_w = zijdelingse oppervlak duweenheid onder water [m²]
 $\bar{\beta}$ = drifthoek ten opzichte van de kanaal as [°]

$$\text{====>} \quad K_w = 700 \cdot (V_s - V_w)^2 \cdot A_w \cdot \sin \bar{\beta} \quad (6)$$

Aangezien er bij een rechte koers evenwicht van krachten optreedt moet er dan gelden: $K_l = K_w$

====>

$$\sin \bar{\beta} = \frac{0.91 \cdot W_{\perp}^2 \cdot A_l}{700 \cdot (V_s - V_w)^2 \cdot A_w} \quad (7)$$

Zoals ook uit bovenstaande formule blijkt kan de zijwind hinder (althans de drifthoek) beperkt worden door sneller te gaan varen. Om deze reden wordt in situaties met zijwind door lege schepen vaak harder gevaren dan in situaties zonder zijwind.

In geval van harde zijwind zal de toegestane vaarsnelheid moeten worden overschreden (vooral bij duwstellen zonder

koproeren of boegschroeven omdat deze, indien leeg, extreem zijwind gevoelig zijn). Omdat dit slechts incidenteel voor zal komen hoeft deze overschrijding niet bezwaarlijk te zijn. Vindt de vaarwegbeheerder deze incidentele overschrijding wel bezwaarlijk, dan kan hij een vaarverbod instellen boven een bepaalde windkracht of tijdens de vaart boven een bepaalde windkracht extra vaartechnische voorzieningen verplicht stellen.

Formule 7 zal nu worden toegepast op een tweebaksduweenheid in de gestrekte formatie bestaande uit een duwboot voorzien van twee Europa-II bakken ($l \times b \times d = 185.0 \times 11.4 \times 3.5$ m.). De hoogte van een Europa-II bak bedraagt 3.50 m. Een ongeladen duwbak heeft een diepgang van ongeveer 0.50 m. Dit betekent dat:

$$\frac{A_1}{A_w} = \frac{3.00 \text{ l}}{0.50 \text{ l}} = 6$$

Neem als maatgevende windsnelheid 15 m/s (windkracht 7) aangezien het geregeld hard waait in het vlakke Friesland (denk hierbij ook aan wind van zee). Als maatgevende scheepssnelheid wordt de huidige maximumsnelheid op het Prinses Margrietkanaal aangehouden, deze bedraagt 10 km/uur = 3 m/s. Invullen van deze waarden in formule 7 geeft:

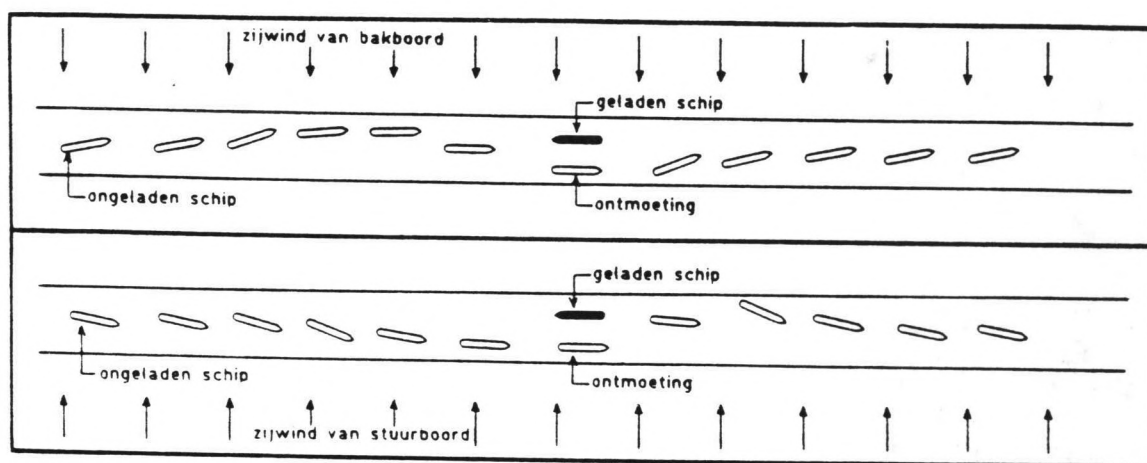
$$\sin \bar{\beta} = 0.195 \text{ ----} \rightarrow \bar{\beta} = 11.25^\circ$$

Dit levert een vaarbaanbreedte op van:

$$B_m = l \cdot \sin \bar{\beta} + b \cdot \cos \bar{\beta} = 47.26 \text{ m.} \quad (8)$$

Vergelijking van deze waarde met de breedte die normaliter voor een vaarstrook van een tweebaksduwstel wordt aangehouden: $B_m = 1.5 b = 17.10$ m. laat zien dat de toeslag ten gevolge van zijwind in dit geval ruim 30 m. bedraagt! Dit is ontoelaatbaar op het Prinses Margrietkanaal. Deze zijwindtoeslag is echter te verkleinen door de boegankers in het water te laten slepen of door de bakken te ballasten hetgeen echter wel veel tijd kost en daarom bijna nooit wordt gedaan. Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van extra hulpmiddelen zoals boegschroeven en boegroeren.

Een vergelijking, op bijlage 5, van de eerste methode, die werkt met de grafiek (bijlage 4), met de tweede methode, die werkt met formule 7 laat zien dat er bijna geen verschil aanwezig is tussen beide methodes. De eerste methode werkt daarbij veel sneller (simpel aflezen van een grafiek) zodat deze methode de voorkeur verdient. Uit bijlage 5 blijkt ook dat voor tweebaksduweenheden bij hogere windsnelheden de drifthoek vrij grote waarden aanneemt. Het gevolg is dan ook dat de zijwind toeslag snel toeneemt. Uit deze bijlage blijkt bovendien dat bij windkracht 8 loodrecht op de vaarrichting al een zijwind-



Figuur 12. Ontmoeting van schepen tijdens zijwind

toeslag van ruim zestig meter (!!!) benodigd is. Dit is op bijna geen enkel vaarwater toelaatbaar, uitzondering hierop vormt het IJsselmeer. Het is dan ook niet te verwachten dat de schipper van een lege duweenheid tijdens deze windsnelheden zal gaan varen. Aangezien stormen meestal geen dagen achtereen aanhouden zal hij (noodgedwongen) gaan liggen wachten totdat de wind weer afneemt. Uit bijlage 5 kan tevens gekonkludeerd worden dat tot windkracht 6 de zijwindtoeslag een acceptabele waarde bezit die de toeslagen voor konventionele binnevaartschepen (0.1-1) redelijk benaderd. De toeslag bij windkracht 6 hoeft op een voldoende breed kanaal nog geen problemen op te leveren. Bij windkracht 7 dient echter al een zeer forse toeslag gehanteerd te worden (38 m.), zodat het voor de vaarwegbeheerder misschien toch raadzaam is om bij zijwind van windkracht 7 en hoger, voor lege tweebaksduweenheden een vaarverbod in te stellen op het desbetreffende traject van het kanaal. Eventueel kan er ontheffing worden verleend aan duweenheden welke zijn voorzien van speciale voorzieningen zoals boegroeren, boegschroeven of indien gebruik gemaakt wordt van sleepbootassistentie.

De grote breedte toeslag die wordt veroorzaakt door de grote drifthoek (en de grote lengte van de duweenheid) lijkt de meeste problemen op te leveren tijdens het ontmoeten van andere schepen. Echter door de toepassing van een speciale taktiek blijken de schippers van de ongeladen schepen in staat om de drifthoek op het moment van ontmoeten aanzienlijk te beperken (fig.12). Vlak voor en tijdens de ontmoeting wordt het ongeladen schip "recht getrokken". Het ongeladen schip verlijert (wordt door de wind opzij geblazen). Na de ontmoeting moet extra worden opgestuurd om te voorkomen dat het ongeladen schip aan lager wal geraakt.

Tijdens oplooptmanoeuvres doet zich echter een iets andere situatie voor. Oplooptmanoeuvres duren ook veel langer dan ontmoetingen. Kortstondige verkleining van de drifthoek is dan niet mogelijk. Voor het normale profiel geldt echter dat hierbij een dusdanige breedte aanwezig is, dat in geval van sterke zijwind (incidenteel), het geladen schip meer naar stuurboord kan uitwijken dan tijdens normale weersomstandigheden gebruikelijk is. De ruimte voor het snel varende ongeladen oplopende schip wordt daardoor vergroot. Als het geladen schip ook nog eens vaart vermindert dan wordt daardoor de duur van de oplooptmanoeuvre bekort.

2.2.3 De bodembreedte van de vaarweg

Voor het normale gebroken of trapeziumvormige profiel is de benodigde minimale bodembreedte op tweemaal de breedte van het maatgevende schip gesteld. Als voor de helling van de

Tabel 6. Normen voor het vaarwegdwarsprofiel van een klasse V - en een duwvaartkanaal

			klasse V	tweebaks- duwvaart (lange formatie)
vaarwegdiepte	: ho/dm		>= 1.4	>= 1.5
vaarwegbreedte			1.2 a 1.4 b	1.5 b
veiligheidsstroken	tussen 2 schepen		0.2 a 0.4 b	0.35 a 0.7 b
	tussen schip en oever		0.2 a 0.6 b	0.5 a 1.0 b
zijwindtoeslag	kuststreek		0.10 l	formule 7
	landstreek		0.05 l	formule 7
vaarwegdwarsprofiel	: Ac/As		7	> 7
maatgevende schip	As	[m**2]	31.05 m**2	31.90 m**2
	lxbxd	[m]	95.0x11.5x2.7	185.0x11.4x2.8

onderwatertaluds een waarde van 1:3 à 1:4 wordt gekozen dan leidt de richtlijn voor de vaarwegbreedte in het kielvlak van het geladen schip "automatisch" tot een bodembreedte die voldoet aan de richtlijn voor de bodembreedte [4].

2.3 Normen voor het vaarwegdwarsprofiel

De normen voor het profiel van vrije ruimte kunnen samengesteld worden uit de normen voor de vaarwegdiepte en de vaarwegbreedte. Daarbij kan de ontwerper kiezen of hij een trapeziumvormig profiel, een gebroken profiel dan wel een bakprofiel zal kiezen. Naast de diepteparameter wordt hierbij gebruik gemaakt van een blokkagefactor k [4] die als volgt is gedefinieerd:

$$k = \frac{1}{As / Ac} = \frac{Ac}{As} \quad [-] \quad (9)$$

waarin:

- k = blokkagefactor [-]
- Ac = oppervlak van het ongestoorde natte kanaalprofiel [m^2]
- As = oppervlak van het ondergedompelde deel van het grootspant van een schip (= bxd) [m^2]

Deze blokkagefactor is hoofdzakelijk van belang voor de maximum vaarsnelheid in een kanaal. Voor trapeziumvormige kanaalprofielen worden de volgende blokkagefactoren als norm aangehouden [2]:

- normaal profiel : $k=7$
- krap profiel : $k=5$

Hierbij is de maximum vaarsnelheid in een trapeziumvormig kanaalprofiel gedefinieerd als 0.9 x de grenssnelheid volgens Schijf [2]. De gevonden maximumvaarsnelheid voor het trapeziumvormig dwarsprofiel wordt vervolgens normatief gesteld voor andere profielvormen. Met bovenstaande vuistregels in zijn achterhoofd dient de vaarwegontwerper zodanig een vaarwegdwarsprofiel te bepalen dat het profiel van vrije ruimte voldoet aan al de gestelde eisen.

De in het voorgaande bepaalde normen voor de vaarwegdiepte, de vaarwegbreedte en het vaarwegdwarsprofiel zijn samengevat in tabel 6. Met behulp van deze gegevens zijn in bijlage 6 tot en met 9 een aantal alternatieven ontworpen voor het vaarwegdwarsprofiel van een klasse V kanaal.

2.4 Konklusies betreffende het vaarwegdwarsprofiel voor een klasse V vaarweg

Het huidige minimum dwarsprofiel (bijlage 3) bezit een breedte van 54 m. Slechts op een punt (kmp 42.8) bezit het kanaal een nog kleinere breedte, namelijk 52 m. (bijlage 2) maar het kanaal is daar door zeer gering onderhoudsbaggerwerk probleemloos op de minimale maat van 54 m. te brengen zodat deze maat als minimum aangenomen zal worden.

In bijlage 6 tot en met 9 zijn een achttal verschillende oplossingen ontworpen voor een klasse V vaarwegdwarsprofiel. Er is gekozen voor oplossingen met een zo klein mogelijke waterspiegelbreedte omdat vergroting van de kanaalbreedte problemen geeft in verband met naast gelegen gebouwen, natuurgebieden, landerijen (onteigening!), en dergelijke.

De oplossing met de kleinste waterspiegelbreedte bezit een bakprofiel (bijlage 6). Dit profiel heeft verticale oevers en veroorzaakt daardoor een woelig wateroppervlak ten gevolge van terugkaatsende golfslag, die vooral door de pleziervaart als onplezierig wordt ervaren. Alhoewel tot nu toe nog niet over de peziervaart gesproken is wordt dit punt hierbij wel alvast meegenomen. Bovendien vormen de verticale damwanden van het bakprofiel een minder fraai esthetisch geheel met de groene oevers die veelvuldig in het friese landschap worden aangetroffen. Echter bij groot ruimte gebrek aan weerszijden van het kanaal (in verband met bebouwing of iets dergelijks) is deze oplossing goed realiseerbaar.

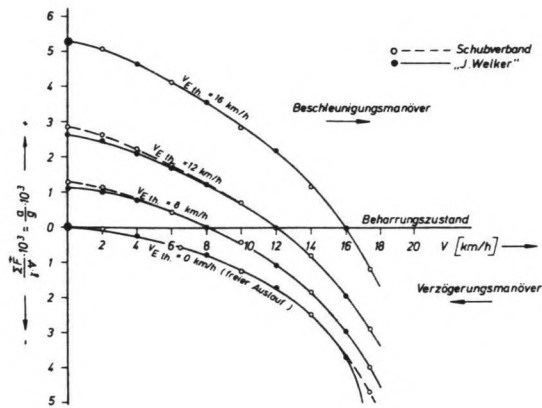
De oplossingen uit de bijlagen 7,8 en 9 hebben alle betrekking op trapeziumvormige profielen en gebroken profielen. De gebroken profielen hebben daarbij als voordeel dat bij een slechts weinig kleinere Ac/As verhouding er een redelijke reductie in de kanaalbreedte op de waterspiegel ontstaat en dus ook een kleiner beslag op de stroken grond naast de huidige oevers. Bij de oplossing van bijlage 7 wordt in eerste instantie niet voldaan aan de eisen van het vaarwegdwarsprofiel ($Ac/As > 7$) zodat deze oplossing afvalt. Verdieping van dit alternatief zorgt echter voor een goed realiseerbare oplossing.

Bij alle oplossingen blijkt het huidige profiel verdiept te moeten worden. In het ene geval bedraagt de verdieping echter meer dan in het andere geval. De "oude" onderhoudsdiepte van 3.50 m. beneden kanaal peil (K.P.) voldoet in geen van de gevallen meer. Binnenschippers zullen ook een voorkeur geven aan een dieper kanaal omdat dit hun de mogelijkheid biedt om sneller te varen (in vergelijking met een minder diep maar breder kanaal).

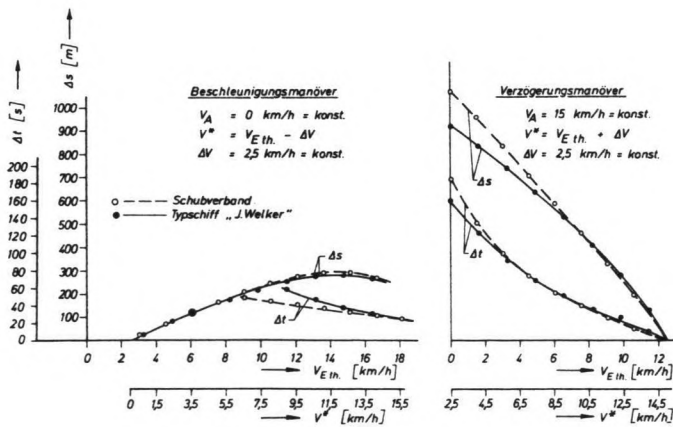
Bij aanpassing van het kanaal tot klasse V kanaal zullen er echter naast het "hoofd-dwarsprofiel" ook een aantal "nevendwarsprofielen" ontworpen worden. Het "hoofd-dwars-

profiel" zal dan op zoveel mogelijk plaatsen toegepast worden. Echter waar dat absoluut niet mogelijk is, of slechts tegen zeer grote offers, zal een van de "nevenprofielen" toegepast worden.

Bovengenoemde alternatieven zijn allen ontworpen met het oog op de binnenscheepvaart met konventionele binnenvaartschepen (klasse V). Voor de duwvaart en voor de pleziervaart zullen er andere, eventueel aanvullende eisen gelden zodat er uit de tot nu toe gepresenteerde profielen nog geen "hoofdprofiel" kan worden gekozen.



Figuur 13. Vergelijking van de gemeten versnellings- en vertragingkrachten voor een schip van het type "Johann Welker" en een tweebakduweenheid in gestrekte formatie



Figuur 14. Vergelijking van een schip van het type "Johann Welker" met een tweebakduweenheid in gestrekte formatie op het gebied van versnellings- en vertragingmanoeuvres voor verschillende theoretisch haalbare eindsnelheden

3. VERGELIJKING VAN EEN KLASSE V SCHIP MET EEN TWEEBAKSDUWEENHEID

Het grootste verschil tussen een klasse V-schip en een tweebaksduweenheid in gestrekte formatie, zit in de lengte. De duweenheid is bijna twee keer zo lang als het klasse V schip (bijlage 10). Dit betekent dat de zijwind gevoeligheid van deze lange duweenheid ook veel groter is dan bij het klasse V schip. Mede door de vrij geringe diepgang van de lege bakken is een duweenheid tijdens harde wind dan ook zeer windgevoelig. Hier staat tegenover dat een duweenheid een veel groter motorvermogen bezit in vergelijking met een klasse V schip. Bovendien is de duwboot uitgerust met meerdere schroeven (meestal twee of drie). Bij duweenheden met grote afmetingen zijn het motorvermogen en de manoeuvreerbaarheid dan ook veel belangrijker dan de afmetingen van de eenheid.

Duweenheden zullen bij voorkeur tegen de as van het kanaal gaan varen. Zij zullen pas uitwijken in de richting van hun "eigen" oever indien zij worden gepasseerd of opgelopen door een ander schip. De duweenheid zal, als deze buiten de as van het kanaal vaart, met zijn boeg gericht naar de oever varen, terwijl een konventioneel binnenvaartschip met zijn boeg gericht naar de kanaalas vaart. Dit wordt veroorzaakt door de vorm van de boeg. Deze is, in tegenstelling tot de spitse vorm bij normale schepen, bij duwbakken in horizontale zin stomp en alleen in verticale zin gebogen.

Er is door Grollius [8] onderzocht in hoeverre er overeenkomsten in vaargedrag aanwezig zijn tussen een tweebaksduweenheid in gestrekte formatie en een konventioneel binnenvaartschip. Er werden daartoe proefvaarten gemaakt met de volgende schepen:

- Europa schip klasse V : 80.0x 9.5x2.8 m. ; 980 pk
- tweebaksduweenheid : 185.0x11.2x2.8 m. ; 2x900 pk

Tijdens deze proefvaarten werd het versnellen en vertragen van beide schepen gemeten aangezien dit belangrijk is voor de manoeuvreerbaarheid. Het bleek dat de versnellings- of vertraging manoeuvre het kortste werd indien de schroef geleidelijk op het maximale toerental gebracht werd. De slip van de schroef wordt zodoende namelijk zoveel mogelijk beperkt. Bovendien bleek tijdens deze proefvaarten dat de kracht benodigd om een klasse V schip te versnellen of af te remmen even groot is als bij de tweebaksduweenheid (fig.13). Beide schepen blijken op dit gebied dus vergelijkbaar te zijn. Tevens leggen beide schepen gelijke afstanden af in dezelfde tijdsbestekken tijdens versnellen of vertragen (fig.14).

Het bovenstaande is zeer opmerkelijk omdat beide schepen op het eerste gezicht zowel qua form als qua aandrijving ver-

schillen. Echter beide schepen vertonen een identiek gedrag tijdens versnellen en vertragen waarbij de op de waterverplaatsing gerelateerde weerstanden en stuwkracht gelijk zijn.

Ter vergroting van hun manoeuvreerbaarheid bezitten veel binnenvaartschepen (vooral de grotere) een boegschroef. Bij de duwvaart is het uitgangspunt jarenlang geweest om de duwboot 24 uur per dag te laten varen, waarbij deze dus goed onderhouden dient te worden en bovendien van alles was voorzien om de manoeuvreerbaarheid maar te vergroten (onder andere door het toepassen van flankingroeren). De bakken daarentegen werden zonder veel onderhoud te plegen binnen een aantal jaren afgeschreven. Het paste dan ook binnen deze filosofie om zo weinig mogelijk bewegende delen op de duwbak aan te brengen. Bovendien werd er zo gestreefd naar universele uitwisselbaarheid van de duwbakken. Tegenwoordig begint men echter de bakken toch van middelen te voorzien die de vaartechnische eigenschappen van de duweenheid vergroten. Zo worden duwbakken soms toch voorzien van koproeren. Er zijn ook al duwbakken ontworpen waarvan het onderwaterschip bij de boeg een spitsere vorm vertoont, vergelijkbaar met een konventioneel binnenvaartschip, zodat de weerstand tijdens het varen wordt verminderd. Koproeren verkleinen de drifthoek van de duweenheid tijdens het varen aanzienlijk. De laatste ontwikkelingen laten het inbouwen van boegschroeven zien welke over 360° draaibaar zijn. Op deze manier kunnen de losgekoppelde duwbakken zelfs zelfstandig, dat wil zeggen zonder assistentie van een havensleepboot, naar hun ankerplaats varen of naar de duwboot om weer aan te koppelen. Deze laatste ontwikkeling doet zich met name voor op de Rijn. Of deze ontwikkeling, waarbij de vroegere eis van volledige uitwisselbaarheid geweld wordt aangedaan, zich door zal zetten is echter nog niet duidelijk.

4. HET ONTWERP VAN EEN KANAAL VOOR TWEEBAKSDUWVAART

Bij de bepaling van een dwarsprofiel ten behoeve van de duwvaart zal worden uitgegaan van een gebroken profiel. Met behulp van de normen uit tabel 6 zijn in bijlage 11, 12 en 13 een viertal alternatieven bepaald voor het ontwerp van een kanaal voor tweebaksduwvaart in gestrekte formatie. De alternatieven verschillen van elkaar op het gebied van de maatgevende situatie. Er is aldus een alternatief ontworpen voor een normaal profiel, een krap profiel en een tweetal profielen voor een gemengd profiel waarin de maatgevende situatie wordt gevormd door de ontmoeting van een klasse V schip met een tweebaksduweenheid.

4.1 Konklusies betreffende het vaarwegdwarsprofiel voor een vaarweg ten behoeve van tweebaksduwvaart

Indien de oplossing van bijlage 11 wordt vergeleken met de oorspronkelijke situatie (bijlage 3), dan valt gelijk het grote verschil in waterspiegelbreedte op. Het nieuwe profiel wordt bijna twee keer zo breed als het huidige dwarsprofiel. Dit grote verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door de grote zijwindtoeslag die bij duwvaart benodigd is. Het gevolg is dat, indien dit plan uitgevoerd zou worden, dit een enorm beslag zou leggen op de oevers van het kanaal. Bebouwing, wegen, landerijen en natuurgebieden zullen over een strook van ongeveer veertig meter dienen te verdwijnen. Dit brengt, afgezien van het landschappelijk aspect, enorme kosten met zich mee. Het is dan ook de vraag of dit gerechtvaardigd is.

De oplossing van bijlage 11 is opgesteld voor een kanaal dat gedimensioneerd is op tweebaksduwvaart met een normaal profiel. Aangezien het niet te verwachten is dat het Prinses Margrietkanaal hoofdzakelijk door lege duweenheden bevaren zal gaan worden bij een voortdurende hevige zijwind, is het meer reëel om het kanaal te dimensioneren als klasse V kanaal met daarop incidentele duwvaart (met andere woorden de ontmoeting van een klasse V schip met een tweebaksduweenheid wordt als maatgevend gesteld) of een krap profiel voor de duwvaart te ontwerpen waarop klasse V schepen wel "normaal" kunnen varen.

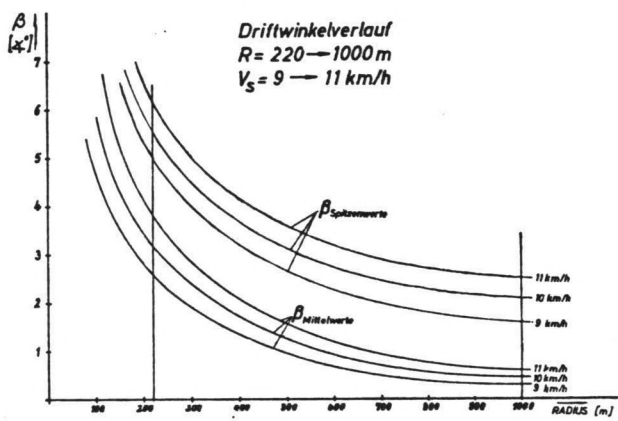
Een andere mogelijkheid is om uit te gaan van een klasse V kanaal en slechts duwvaart toe te laten die voorzien is van koproeren of boegschroeven. Dit betekent dat de rederijen moeten investeren in hun materieel. De overheid bespaart echter aanzienlijk op de verbetering van het kanaal en zal de rederijen die op Friesland gaan varen eventueel via subsidies bij de aanpassing van de duwbakken, de helpende hand toe kunnen steken.

Een alternatief wordt gevormd door de mogelijkheid dat de vaarwegbeheerder een verbod instelt voor duweenheden om boven een bepaalde windsterkte nog met lege bakken te gaan varen. Aangezien bij windkracht 7 dwars op het kanaal al een zijwindtoeslag van ruim 30 m. optreedt, zal dit verbod waarschijnlijk al bij een lagere windsterkte ingesteld worden. Dit betekent dan ook een vrij groot obstakel voor de duwvaart en zal daarom als rem op de ontwikkeling van duwvaart op het Prinses Margrietkanaal gaan werken. Deze laatste oplossing verdient dan ook niet de voorkeur.

De grote zijwindtoeslag bij duwvaart wordt veroorzaakt door de grote lengte van de duweenheden en door het feit dat de lege duwbakken zeer zijwind gevoelig zijn. Bovenstaande maatregel is dan ook iets aan te passen door boven een bepaalde windkracht een vaarverbod voor lege duwbakken in te stellen tenzij deze zijn voorzien van koproeren of boegschroeven. In dat geval zal de rederij een kosten afweging moeten maken om tot de voordeligste oplossing te komen. Het aanbrengen van extra voorzieningen kost geld maar het verplicht stilliggen ten gevolge van harde wind kost ook geld.

De schipper kan ook als alternatief zijn voorste duwbak ballasten (met water). Dit verbetert de koersstabiliteit aanzienlijk, zoals tijdens proeven is gebleken [15]. Hierbij zal er gedacht moeten worden aan het ballasten van de luchtkasten in de zij, die veel duwbakken hebben. Deze manier van ballasten voorkomt het ontstaan van translatiegolven in de bak tijdens het varen, waardoor de bestuurbaarheid sterk terug loopt. Het nadeel van ballasten met water is dat het een tijdrovende bezigheid blijkt te zijn die de schipper niet graag volbrengt.

Door bijzondere maatregelen in te stellen zoals koproeren, boegschroeven of ballasten, is de drifthoek bij lege duwbakken tijdens harde zijwind dus aanmerkelijk te vermindern, hetgeen de ontwerper van het kanaal de kans geeft om met minder zijwind toeslag te rekenen zodat er een goedkopere oplossing voor het uit te breiden kanaal kan worden gevonden.



Figuur 15. Gemiddelde en maximale drifthoek

5. HET VAREN IN BOCHTEN

Een schip dat een bocht doorloopt heeft een grotere vaarbaan breedte nodig dan een schip dat in een rechtstand vaart. Dit wordt veroorzaakt door de middelpuntvliedende kracht die het schip ondervindt tijdens het doorlopen van een bocht. Er wordt een krachten evenwicht ingesteld door het schip op te sturen naar de binnenbocht (het schip vaart dan met een extra drifthoek).

Een bijkomende oorzaak van de grotere benodigde vaarbaanbreedte is de slechte koersbepaling van het schip tijdens het doorlopen van een bocht. De positie van een schip wordt namelijk door de roerganger bepaald ten opzichte van de oever. Dit levert vooral bij de overgang van de rechtstand in de bocht problemen op.

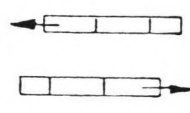
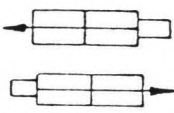
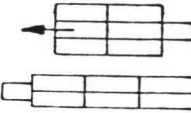
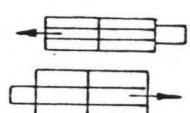
De drifthoek wordt in verband met de optredende middelpuntvliedende versnelling (V^2/R) groter naarmate de snelheid van het schip groter wordt en/of de straal van de bocht kleiner wordt.

Uit de praktijk en uit modelproeven is gebleken dat de bochtverbreding afhankelijk is van de lengte van het maatgevende schip en de bochtstraal. In figuur 15 is het verloop van de gemiddelde en maximale drifthoek uitgezet als functie van de snelheid en de straal van de bocht zoals deze door Schäle [19] tijdens proeven op het Main-Donaukanaal voor duweenheden van 160 m. lengte en 9.5 m. breedte zijn gevonden. Hieruit blijkt dat er bij bochtstralen groter dan 1000 m. praktisch geen drifthoek meer optreedt. Er wordt daarom ook wel een vuistregel gehanteerd waarbij als uitgangspunt geldt dat bij bochtstralen groter dan tien maal de scheepslengte geen bochtverbreding toegepast hoeft te worden omdat deze bochten dermate flauw zijn dat zij door de schipper niet als bocht worden ervaren. Uit nautisch oogpunt verdient het aanbeveling om, indien mogelijk, alleen **bochten met een straal groter dan 10·l** aan te leggen. Kleinere bochtstralen zijn wel mogelijk, maar dan moet rekening gehouden worden met de extra padbreedte.

De Commissie Vaarweg Beheerders (C.V.B.) stelt dan ook [6] [3] dat er in bochten met een straal kleiner dan 10·l voor ongeladen schepen een toeslag van $0.25 \cdot l^2/R$ en voor geladen schepen een toeslag van $0.50 \cdot l^2/R$ dient te worden opgeteld bij de vaarwegbreedte zoals die berekend is voor een rechtstand. Voor vaarwegen met tweestrooksverkeer (ontmoetingen) bedraagt de bochtverbreding dan dus l^2/R in het kielvlak van het ongeladen schip (dus ook bij een bakprofiel) en $0.5 \cdot l^2/R$ in het kielvlak van het geladen schip.

Bij bakprofielen in bochten met $10 \cdot l < R < 20 \cdot l$ wordt soms toch nog enige bochtverbreding toegepast met het oog op het ruimte beslag van lege schepen. De bochtverbreding in dit overgangsgedebied kan gesteld worden op $0.50 \cdot l^2/R$ voor

Tabel 7. Benodigde vaarwegbreedte van twee
elkaarontmoetende duwstellen, inclusief veiligheid

				
Straal	B totaal [m]	B totaal [m]	B totaal [m]	B totaal [m]
2500 m	60	102	125	147
2000 m	63	108	129	150
1800 m	65	110	131	153
1600 m	67	112	134	156
1400 m	70	116	138	160
1200 m	75	121	144	167
1000 m	82	128	151	174
900 m	86	132	156	178
800 m	91	139	162	186
700 m	97	146	170	195

tweestrooksverkeer en $0.25 \cdot l^2/R$ voor enkelstrooksverkeer.

Bouwmeester [2] stelt dat onderstaande formule voor de breedte toeslag ook goed blijkt te voldoen:

$$B_v = (0.035 \cdot V_{s'} + 0.125 \cdot (1 - R/1000)) \cdot l^2 / R \quad (10)$$

waarin:

- B_v = bochtverbreding [m]
- l = scheepslengte [m]
- $V_{s'}$ = vaarsnelheid van het schip ten opzichte van de oever [km/h]
- R = bochtstraal [m]

Opmerking: Indien deze formule wordt toegepast voor ongeladen afvaart op stromend water dan dient bij deze formule een toeslag van 15% te worden te worden opgeteld.

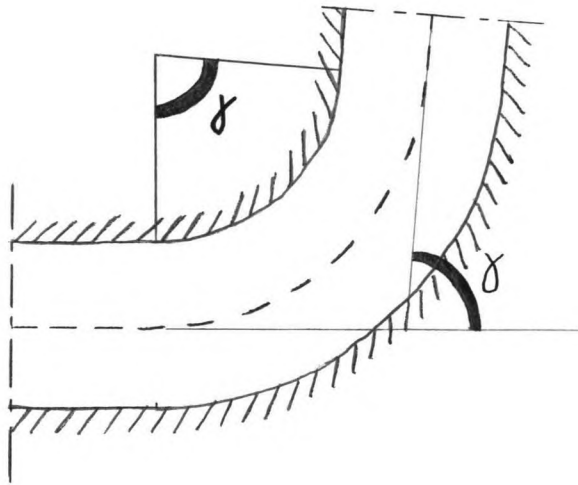
Indien ter plaatse van een bocht een vaarwegverbreding uitgevoerd gaat worden dan dient deze alleen aan de binnen-oever plaats te vinden. Overgangsbogen in de buitenbocht zijn hierbij niet nodig [25]. De overgangslengte (dit is de overgang van het profiel in de rechtstand naar het bochtverbredende profiel) dient onder een helling van 1:20 rakend aan de gekromde oeverlijn te verlopen.

Schäle heeft naar aanleiding van proeven met duwstellen in prototype, aanbevelingen gedaan voor de gewenste bevaarbare breedte in rivierbochten [22]. Hij heeft hiertoe een aantal grafieken opgesteld (bijlage 14). Deze grafieken aangevuld met beschouwingen over de benodigde veiligheidsafstand tussen twee schepen en tussen een schip en de oever, hebben geleid tot tabel 7 waaruit bij een bepaalde bochtstraal de benodigde vaarwegbreedte kan worden afgelezen. De ontmoeting tussen twee duwstellen wordt daarbij als maatgevende situatie gehanteerd.

Het is mogelijk om met een binnenvaartschip een zeer kleine bocht ($R = 1.0 \text{ à } 1.5 \cdot l$) door te varen. De snelheid dient dan echter wel zeer sterk gereduceerd te worden (denk hierbij aan de middelpuntvliedende kracht die evenredig is met V^2/R). Erg scherpe bochten dienen dan ook vermeden te worden omdat deze vertragingen op druk bevaren kanalen gemakkelijk tot stremmingen leiden. Vaartechnisch is het varen door een erg scherpe bocht lastig en niet zonder risico's. Ook het uitzicht, met name in de binnenbocht speelt daarbij een grote rol. De werkgroep vaarwegvakken van het C.V.B. doet voor bochtstralen in tweestrooksvaarwegen dan ook de volgende aanbevelingen [3]:

- normaal profiel $R/l \geq 6$
- krap profiel $R/l \geq 4$

Bij proeven met duwstellen in bochten bleek dat deze



Figuur 16. Tangenthoek

Tabel 8. Ontwerpeisen voor bochten

		klasse V : 2 baks	
		≥ 570 m	≥ 1110 m
bochtstraal	normaal	$R \geq 6 \cdot l$	≥ 380 m
	krap	$R \geq 4 \cdot l$	≥ 740 m
bochtverbreding bij $R/l < 10$			
$R/l < 10$ en $\gamma \geq 20^\circ$			
geladen kielvlak : $B_v = 0.5 \frac{l^2}{R}$		$\frac{4513}{R}$	$\frac{17113}{R}$
ongeladen kielvlak : $B_v = 1.0 \frac{l^2}{R}$		$\frac{9025}{R}$	$\frac{34225}{R}$
$R/l < 10$ en $\gamma < 20^\circ$ pas een reductie op de bochtverbreding toe van: $\gamma/20$		reduktie $\gamma/20$	reduktie $\gamma/20$
bochtverbreding bij $R/l \geq 10$			
trapeziumvormig profiel		-	-
gebroken profiel		-	-
bakprofiel		$101 < R < 201$	$\frac{4513}{R}$
		$R \geq 20 \cdot l$	$\frac{17113}{R}$
		-	-

alle eenheden in [m] uitgezonderd γ in [°]

schepen in staat zijn om bochten waarvoor geldt $R/l = 4$ goed te doorlopen, zonder dat de roerhoeken en de vaarsnelheidsvermindering onacceptabel grote waarden aannemen. Bij de aanleg van het Rijn-Main-Donau-kanaal en de reconstructie van het Mittellandkanaal (bijlage 15) zijn bochten met $R=900$ m. toegepast. Deze klasse IV kanalen worden geschikt geacht voor incidentele tweebaksduwvaart ($l=185$ m.), dit betekent dat er op deze vaarwegen de volgende R/l -verhoudingen worden gehanteerd:

- duwstellen $R/l = 5.0$
- klasse IV schepen $R/l = 10.6$

Deze waarden stemmen ook redelijk overeen met de C.V.B. aanbevelingen.

Het C.V.B. stelt dat [3] er bij een kleine tangenhoek bijna geen verschil in configuratie bestaat tussen de variant met kleine straal en bochtverbreding en de variant met $R = 10l$ (fig.16). Bij kleine tangenhoek (20°) is er in het algemeen geen reden om af te wijken van de C.E.M.T.-aanbeveling ($R > 10l$ zonder bochtverbreding). Bij bochtstralen met $R < 10l$ en tangenhoeken kleiner dan 20° mag, indien gewenst, een reductie op de berekende bochtverbreding B_v worden toegepast van:

- $\gamma/20$; hierin is $\gamma =$ tangenhoek [$^\circ$]

Om veilig te kunnen manoeuvreren dient de schipper zicht te hebben op wat zich in zijn vaarwater bevindt. Volgens een bekende vuistregel dient het zicht op het voorliggende vaarwater over een afstand van tenminste $4l$ voor de boeg vrij te zijn (vanaf de stuurhut dus over $5l$). De eis voor een booglengte $\geq 5l$ is gebaseerd op de benodigde lengte voor een gecontroleerde stop.

Voor oploophoeven is een zicht van minmaal $20l$ noodzakelijk. Dit is in bochten bijna nooit te verwezenlijken. De eisen waaraan een bocht dient te voldoen zijn samengevat in tabel 8.

5.1 Konklusies betreffende de bochten in het kanaal

Door de eisen uit tabel 8 toe te passen op het Prinses Margrietkanaal zijn een aantal konklusies te trekken.

Voor een klasse V kanaal levert de eis voor de bochtstraal ($R \geq 6l$) slechts problemen op bij een bocht (bijlage 2). Deze bocht is gelegen ter plaatse van kilometerpaal (k.m.p.) 83.7 (dit is vlak bij de brug bij Spannenburg). Hier zal deze bocht dus aangepast dienen te worden zodat een grotere bochtstraal ontstaat.

In het traject zijn verder slechts een drietal bochten aanwezig met een straal kleiner dan tien maal de scheepslengte

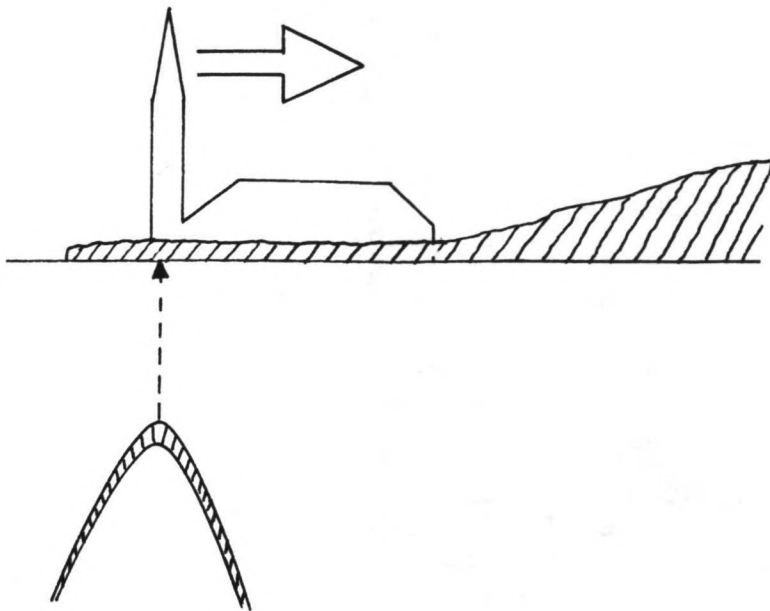
(= 950 m. voor een klasse V schip). Deze bochten zijn gelegen op de volgende lokaties (bijlage 2):

- k.m.p. 48.0 ; R=750 m. Bo=54 m. (bij de afslag met het
- k.m.p. 49.2 ; R=750 m. Bo=60 m. van Harinxmakanaal)
- k.m.p. 83.7 ; R=500 m. Bo=60 m. (Spannenburg)

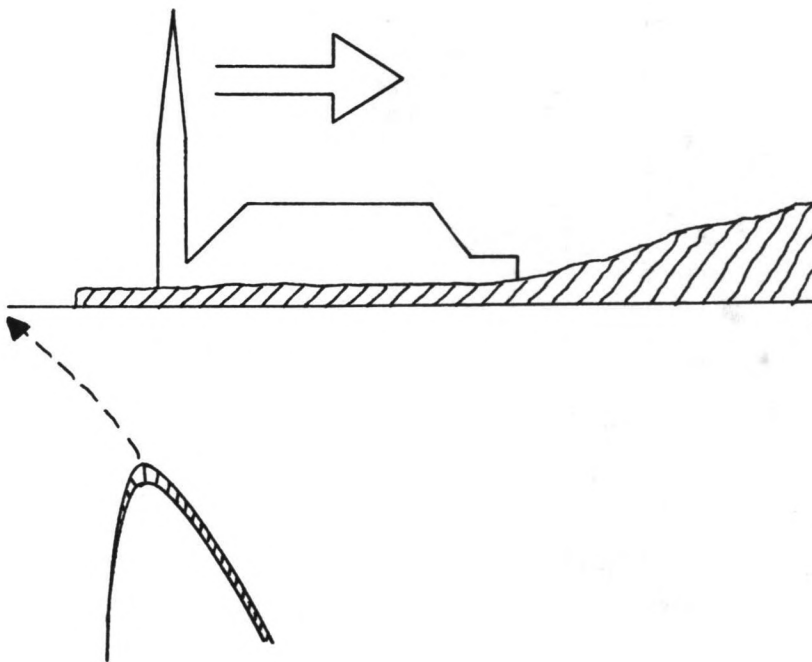
Op deze plaatsen zal daarom een bochtverbreding uitgevoerd moeten worden om te komen tot het nieuwe standaard (klasse V) profiel.

Voor tweebaksduwvaart in gestrekte formatie levert het Prinses Margrietkanaal in de huidige situatie een groot aantal knelpunten op. Meer dan de helft van de bochten in het huidige trace voldoen niet aan de bochtstraal eis ($R \geq 61$). Deze bochten dienen bovendien ook nog van een bochtverbreding te worden voorzien hetgeen dus een kostbare operatie gaat worden. Omdat het niet te verwachten is dat het Prinses Margrietkanaal voornamelijk door duwvaart zal worden bevaren, kan het kanaal ook met iets andere ogen worden bekeken. Wanneer er incidentele duwvaart plaats gaat vinden dan is het economisch gezien toelaatbaar om voor deze tweebaksduwvaart het krappe profiel toe te passen. In dit laatste geval blijken alleen nog bovengenoemde drie bochten problemen op te leveren. Deze bochten dienen ook al aangepakt te worden in het kader van de opwaardering van het Prinses Margrietkanaal tot klasse V vaarweg zodat de extra aanpassing ten behoeve van de duwvaart gelijk mee genomen kan worden.

Afgezien van bovengenoemde drie bochten moeten er verder toch nog vrij veel bochten van een bochtverbreding worden voorzien aangezien zij niet voldoen aan de eis van $R \geq 101$.



Figuur 17a. Drift



Figuur 17b. Koerswijzigen



Figuur 18. Bepaling "richtpunt" tijdens het sturen

6. HET STUREN VAN BINNENVAARTSCHEPEN

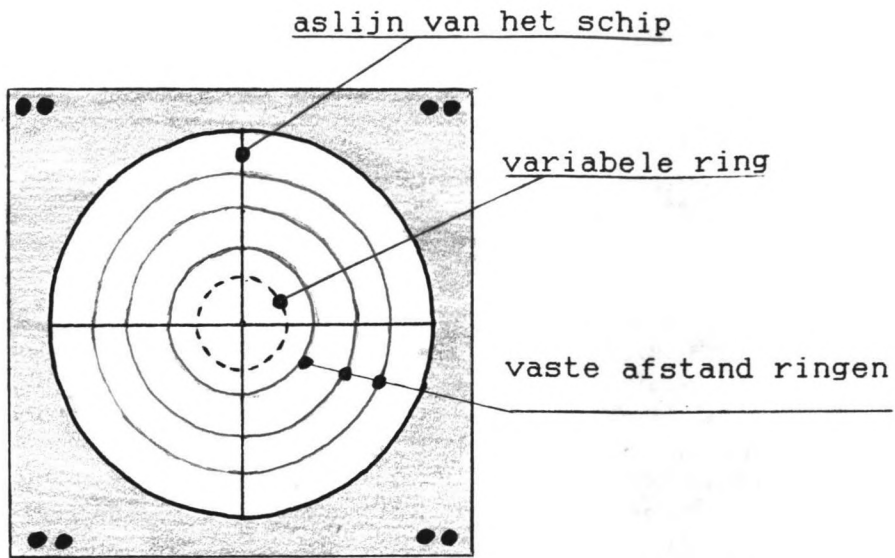
Een binnenvaartschip reageert over het algemeen vrij traag op zijn roer. Dit betekent dat er al ruim van te voren door de stuurman een beslissing genomen moet worden hoe hij een obstakel vrij kan varen. Er is door Breedveld van de Rijn Binnen- en Kustvaartschool in Rotterdam een theorie ontwikkeld die ook in de praktijk uitstekend blijkt te werken. Deze methode Breedveld is zowel overdag bij normaal zicht als 's nachts tijdens het radarvaren bruikbaar.

Breedveld stelt dat om een schip in een rechte baan te houden, er een aansturingspunt nodig is op de kiellijn van het schip. Als aansturingspunt kan een markering op de vaste wal dienen zoals een kerk of een boom.

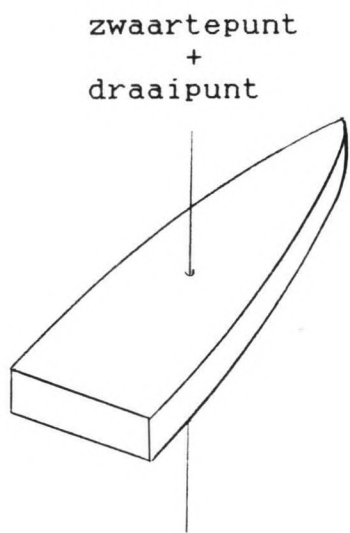
Verdraait dit aansturingspunt, dan verandert het schip zijn vaarbaan. Dit kan door een verdraaiing van het schip of door een drift- zijdelingse verplaatsing veroorzaakt worden. Om te zien of er met drift dan wel met een verdraaiing rekening moet worden gehouden, kan er gebruik gemaakt worden van een tweede lijn die evenwijdig aan de scheepsas loopt en die een raaklijn vormt met de oeverlijn. Blijft de scheepsas evenwijdig aan die raaklijn dan is er drift. Maakt de scheepsas echter met de raaklijn een hoek dan ondervindt het schip een verdraaiing (fig.17a+b). Voor het bereiken van een goed resultaat dient de afstand tot het aansturingspunt vrij groot te zijn. Deze afstand dient minimaal 16 tot 20 maal de scheeps lengte te bedragen. Beneden deze afstand wordt de controle op de vaarbaan moeilijker. Het wordt onmogelijk als de afstand kleiner wordt dan 4 à 5 maal de scheeps lengte.

Een schip dat een gekromde baan doorloopt (rivierbocht) doet dat volgens een bepaald systeem. Tijdens het varen van een gekromde baan kan geen vast aansturingspunt gehanteerd worden omdat dit voortdurend verloopt. Er wordt daarom door de stuurman een vaste verhouding genomen tussen de ooghoogte en een vast punt op het voorschip. Zodoende wordt een vaste afstand verkregen tussen het voorschip en het punt waar de vizierlijn het wateroppervlak raakt (fig.18). Door het snijpunt van de vizierlijn en het wateroppervlak op de scheiding tussen land en water (oeverlijn) van de tegenover liggende oever te kiezen volgt het schip een baan die evenwijdig verloopt met de bocht. Door het punt op het voorschip in hoogte te variëren, krijgt de vizierlijn een lift of domping waarmee de afstand schip-snijpunt (vizierlijn met wateroppervlak) geregeld kan worden. Tijdens het varen op een rivier wordt ook wel op de oever van de vaarrichting gestuurd.

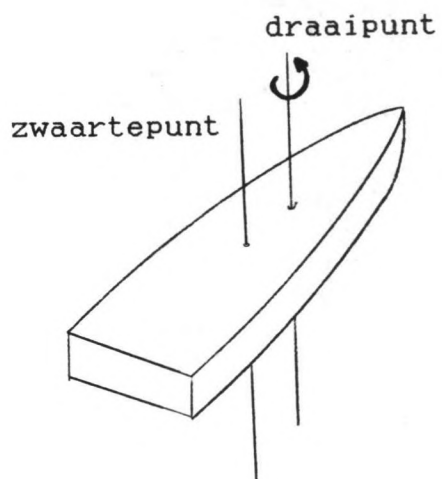
Als voor de afstand schip-snijpunt minimaal 5l wordt gehanteerd dan wordt op een veilige manier de bocht doorlopen. Dit betekent dat de afstand van de stuurhut tot het snijpunt tussen vizierlijn en wateroppervlak minimaal 6l dient



Figuur 19. Radarscherm



Figuur 20a. Ligging draaipunt bij een stilliggend schip



Figuur 20b. Ligging draaipunt bij een varend schip

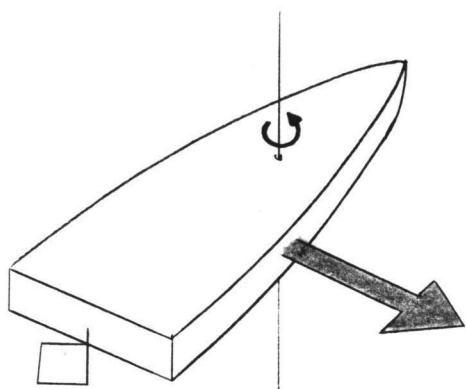
te bedragen.

Bij nacht en slecht zicht is bovenstaande theorie ook bij het radarvaren toepasbaar. Hiervoor wordt de variabele ring van de radarinstallatie op minimaal 6l ingesteld (voor een 80 m. schip op bijvoorbeeld 600 m.). Door nu het snijpunt van de aslijn van het schip (fig.19) op de scheiding tussen land en water te houden, wordt een baan gevolgd die evenwijdig loopt met de bocht. Dit snijpunt mag niet binnen de variabele ring komen aangezien het gebied binnen de variabele ring een veiligheidszone voor het schip vormt.

Het schip wordt door de bocht gestuurd door gebruik te maken van het roer en de schroef. Normaal is een uitwijking van het roer voldoende om het schip door een bocht te sturen. Bij erg scherpe bochten dient het motortoerental echter terug genomen te worden, zodat de bocht met een kleinere snelheid genomen wordt. Hierdoor wordt het "afglippen" naar de buitenbocht voorkomen. Indien een bocht met een grote snelheid wordt genomen dan zal het schip deze bocht met een zekere drifthoek doorlopen om evenwicht met de optredende krachten te maken. Deze laatste manier van varen kan echter alleen toegepast worden in voldoende flauwe en brede bochten. Door de duitse duweenheden wordt zo de Rijn volgas op en af gevaren. De franse duweenheden nemen echter gas terug bij de bochten en kunnen zodoende ook bochten met een veel kleinere straal goed doorlopen. Indien noodzakelijk leggen zij het schip bij extreem scherpe bochten bijna geheel stil totdat het schip in de goede richting gedraaid ligt. Door namelijk bij lage snelheden veel schroefwater te produceren is de besturing aanzienlijk te verbeteren. Door stootsgewijs of pulserend het toerental te verhogen en te verlagen nemen de krachten op het roer toe zonder dat de vaarsnelheid wordt vergroot. Van belang bij deze manoeuvre is ook de ligging van het draaipunt.

Wanneer het schip geen snelheid heeft en gelijklastig is (dit wil zeggen dat het schip overal even zwaar beladen is) dan ligt in de regel het draaipunt boven het zwaartepunt van het schip. Het zwaartepunt bevindt zich bij binnenvaartschepen als regel tussen het scheepsmidden en één meter voor dat midden. Als het schip eenmaal vaart begint te lopen in voorwaartse richting, dan "loopt" het draaipunt uit het midden weg naar voren toe. Het draaipunt komt dan op ongeveer een derde vanaf het voorschip te liggen (fig.20a+b).

Indien het schip achteruit vaart dan beweegt het draaipunt zich naar achteren. Omdat de snelheid achterwaarts lager ligt dan in voorwaartse richting, ligt het draaipunt tijdens het achteruit varen ook dicht bij het midden. Bij kleinere draaicirkels behoren dan ook lagere scheepsnelheden. Behalve de draaicirkel is ook de vaarbaanbreedte van belang. Afhankelijk van de snelheid en de konstruktie zal het schip zich bij het roer geven zijdelings verplaat-



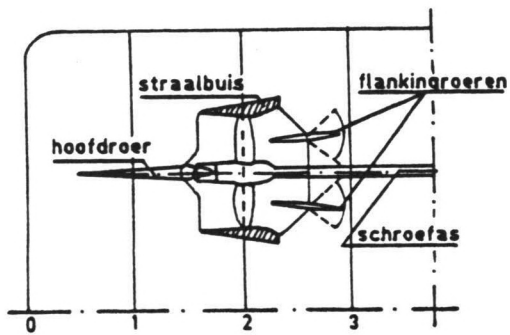
Figuur 21. Driften tijdens het varen in een bocht

sen (het zogenaamde wegglijden in de bocht, ook wel driften genoemd; fig.21). Deze verplaatsing wordt groter naarmate er meer roer gegeven wordt bij een hogere vaarsnelheid.

Het blijkt dat iedere schipper een veiligheids ruimte om zich heen kreeert die afhankelijk is van de scheepslengte. Deze ruimte is eivormig met een grootste lengte van 4 à 5 maal de scheepslengte en een grootste breedte van twee maal de scheepslengte. Wanneer een andere schipper dit gebied binnen dreigt te lopen dan wordt er direkt actie ondernomen. Het is dus van belang om vast te kunnen stellen wanneer een ander dit gebied binnendringt.

Dit gebeurt door te letten op de beweging van de ander ten opzichte van de eigen kiellijn. Wordt de peilingshoek kleiner en blijft de afstand praktisch gelijk, dan gaat het schip "voorover". Wordt de peilingshoek met de afstand kleiner, dan volgt in de regel een binnendringen van het "ei". Aangezien het de bedoeling is dat de schipper de situatie bewust onder controle houdt, moet het schip ook goed onder controle blijven. Hiervoor is een goede koersstabiliteit een eerste vereiste.

Voor schepen die het "ei" binnendringen kunnen passeer-afstanden kleiner dan een halve scheepsbreedte nog acceptabel zijn.



Figuur 22. Geschematiseerde schroef-roer configuratie bij een duwboot

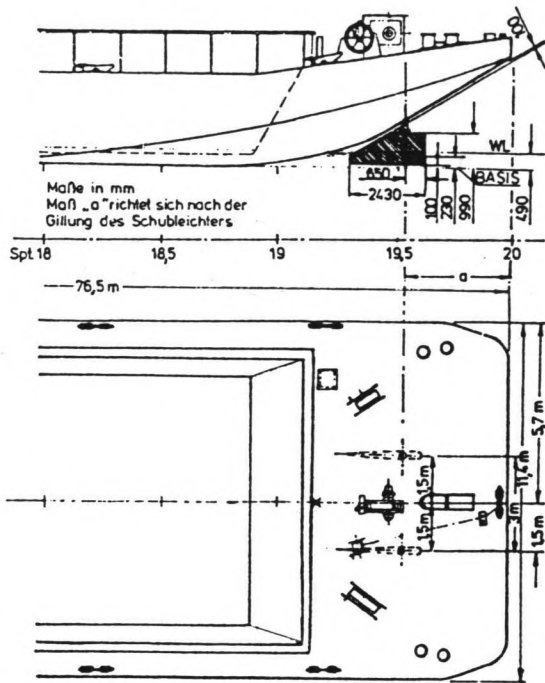
7. ONTWERPTECHNISCHE VOORZIENINGEN AAN DUWEENHEDEN

Duwkonvoeien hebben in rivier- en kanaalbochten een extra padbreedte nodig om goed door een bocht te kunnen varen. Deze extra padbreedte is benodigd vanwege de grotere lengte van de duweenheid ten opzichte van het konventionele binnenvaartschip. Ook harde zijwind vereist extra padbreedte. Het probleem van de extra benodigde padbreedte kan op twee manieren worden aangepakt [2] [15]:

- A. Zorg ervoor dat het dwarsprofiel van het kanaal voldoende groot is zodat de duweenheid de benodigde extra padbreedte tot zijn beschikking heeft. Dit betekent dat het kanaal ter plaatse van de bochten verbreed dient te worden. Deze verbreding brengt grote kosten met zich mee in verband met grond aankoop en eventueel aanwezige bebouwing. Het zal dan ook niet altijd mogelijk zijn om het kanaal ter plaatse van de bocht te verbreden. In dit laatste geval kan het lange duwkonvooi de bocht alleen passeren indien er snelheid wordt verminderd. Dit zorgt weer voor oponthoud (ook voor de overige vaarweggebruikers) en brengt eveneens kosten met zich mee (en irritatie).
- B. Zorg ervoor dat de duweenheid het bestaande profiel zonder snelheidsvermindering kan doorlopen door voorzieningen aan de duweenheid zelf aan te brengen. Deze oplossing kan voordeliger blijken te zijn dan de onder A. gegeven oplossing. Op door duweenheden minder frequent bezochte kanalen zou op deze manier toch zonder problemen duwvaart toegelaten kunnen worden. Bij deze voorzieningen kan gedacht worden aan:
 - a. flankingroeren
 - b. passieve kopbesturing
 - c. actieve kopbesturing
 - d. knikbesturing
 - e. extra kopbak

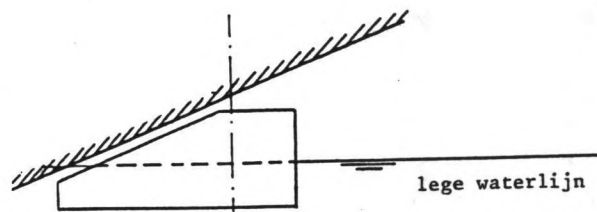
7.1 Flankingroeren

Flankingroeren of backingroeren [13] zijn tegenwoordig op iedere moderne duwboot te vinden. Deze roeren bevinden zich voor de schroef en het hoofdruer (fig.22). Door deze roeren blijft de duwboot ook tijdens het vaartverminderen en bij achteruitslaan met de schroef goed bestuurbaar.

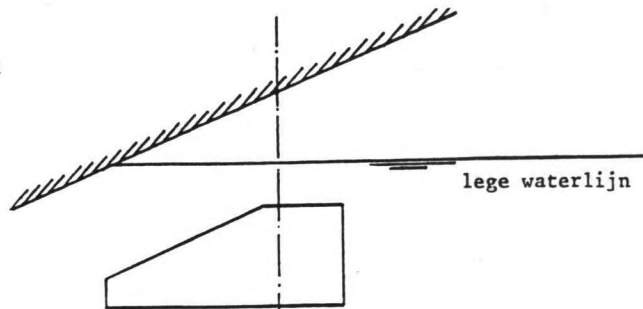


Figuur 23. Voorschip van een Europa II duwbak met boegroeren

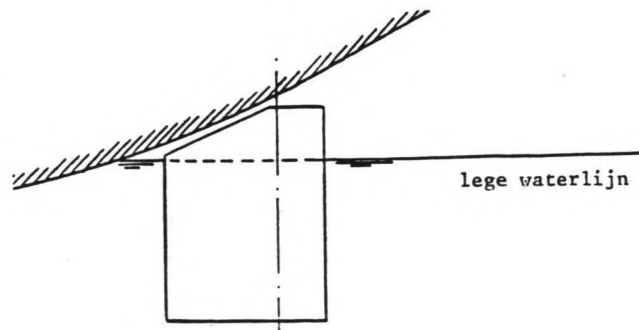
1 Konventioneel boegroer,
nat oppervlak $1,1 \text{ m}^2$.



2 Verdiept konventioneel
boegroer,
nat oppervlak $1,9 \text{ m}^2$.



3 Vergroot boegroer,
nat oppervlak $3,1 \text{ m}^2$.



Figuur 24. Verschillende typen boegroeren

7.2 Passieve kopbesturing

Onder passieve kopbesturing worden koproeren verstaan. Koproeren worden toegepast voor het op koers houden van een leeg schip bij zijwind [13]. De koproeren (fig.23) worden toegepast op de voorste duwbak en zijn bestuurbaar vanuit de stuurhut van de duwboot.

Uit onderzoek is gebleken dat de invloed van koproeren nog maar gering is bij diepgangen groter dan een meter ($d_r > 1.0$ m.). Bij ongeladen duwbakken die soms een diepgang hebben van 0.5 m. is het effect van koproeren vrij groot. Koproeren zorgen bij ongeladen duweenheden voor een aanzienlijke afname van de drifthoek en dus een beperking van de padbreedte.

De dwarskracht die met een koproer kan worden uitgeoefend is recht evenredig met het kwadraat van de aanstroomsnelheid van het water, zodat koproeren alleen bij hogere snelheden effectief zijn. De dwarskracht van een roer blijkt [9] een functie te zijn van:

- de roerhoek, als de roerhoek toeneemt, neemt de dwarskracht toe totdat het roer "overtrokken" wordt (de stroming om het roer laat los)
- het oppervlak, de kracht is evenredig met het oppervlak
- de "aspektverhouding" dat wil zeggen de verhouding roerhoogte/roerlengte, de kracht neemt toe naarmate de aspektverhouding groter wordt

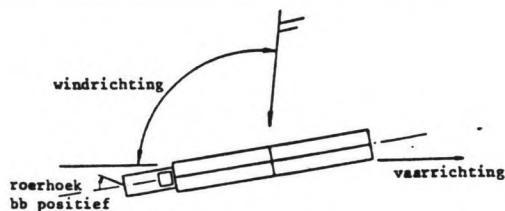
Op grond van bovenstaande overwegingen is er onderzoek verricht naar een drietal boegroeren:

1. het konventionele boegroer, nat oppervlak circa 1.1 m²
2. het konventionele boegroer dieper in het water, nat oppervlak circa 1.9 m²
3. een vergroot boegroer met een grotere aspektverhouding, nat oppervlak circa 3.1 m²

De verschillende typen zijn weergegeven in figuur 24. Tevens zijn er berekeningen gemaakt voor een vrij onder de boeg hangende boegschroef. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 9 en 10 [9]. Uit deze tabellen kan gekonkludeerd worden dat boegroeren een duidelijk effect hebben op de padbreedte. Tevens blijkt dat konventionele boegroeren relatief minder effectief zijn. Echter grote boegroeren lijken de padbreedte sterk te kunnen reduceren. Een verdere vergelijking van beide tabellen leert dat een boegschroef bij hogere vaarsnelheden (3.4 à 4.0 m/s) effectiever kan zijn dan konventionele boegroeren. De beschouwde boegschroeven (Schottel, 250 kW en 500 kW) zijn bij deze vaarsnelheden minder effectief dan de grote boegroeren. Een nadeel van grote boegroeren is dat deze een negatieve invloed uitoefenen op de koersstabiliteit van de lege duwstellen. Dit betekent dat de duwstellen veel sneller rea-

Tabel 9. Drifthoek, padbreedte en roerhoek van lege duwstellen zonder en met boegroeren

duwstel	for- matie	boegroeren (roerhoek in graden)	drifthoek β (graden)	padbreedte ($L \sin \beta + B \cos \beta$) (m)	hoofd- roerhoek (graden)
lege zesbak windrichting 120 graden	3x2	geen	13,6	78	17,6
		2x2 konventioneel (0)	10,4	68	12,0
		" " (30)	6,8	56	5,4
		" " (45)	6,5	55	4,4
		2x2 konv. verdiept (0)	10,1	66	11,4
		" " (30)	4,5	49	1,5
		2x2 vergroot (0)	4,2	48	3,5
		" " (30)	0,9	37	-8,1
lege vierbak windrichting 105 graden	2x2	geen	19,6	85	27,5
		2 konventioneel (0)	16,4	75	21,8
		" " (30)	14,0	68	17,4
		" " (45)	14,2	69	17,4
lege tweebak windrichting 105 graden	2x1	geen	19,4	73	23,2
		2 konventioneel (0)	18,2	69	19,5
		" " (30)	17,2	66	16,6
		2 vergroot (0)	7,8	37	-0,1
		" " (30)	4,1	25	-8,4



16 m/s wind op 4 m. hoogte, iets voorlijker dan dwars

Tabel 10. Drifthoek, padbreedte en roerhoek van lege duwstellen zonder en met boegschroef

duwstel	for- matie	boegschroef (vrij-hangende "roer-propellor")	drifthoek β (graden)	padbreedte ($L \sin \beta + B \cos \beta$) (m)	hoofd- roerhoek (graden)
lege zesbak windrichting 120 graden	3x2	geen	13,6	78	17,6
		boegschroef 250 kW	6,4	55	4,2
		" " 500 kW	2,9	44	-2,5
lege tweebak windrichting 105 graden	1x2	geen	19,4	73	23,2
		boegschroef 250 kW	12,8	53	-9,0

16 m/s wind op 4 m. hoogte, iets voorlijker dan dwars

Tabel 11. Installatiekosten van boegroeren en -schroeven

Een Europa IIA duwbak kost	ca. f 1.000.000,-
Meerprijs voor 2 konventionele koproeren	ca. f 75.000,-
Meerprijs voor 2 grote intrekbare boegroeren (verbouwingskosten bij aanbrengen op bestaande duwbak	ca. f 150.000,- ca. f 25.000,-)
Een boegschroef van 250 kW, intrekbaar kost (verbouwingskosten bij aanbrengen op bestaande duwbak	ca. f 250.000,- ca. f 50.000,-)

geren op kleine hoofdroer uitslagen, de duwstellen reageren "onrustiger". Omdat lege duwstellen relatief zeer snel op het roer reageren, kunnen grote boegroeren een negatieve invloed hebben op de bestuurbaarheid van lege duweenheden.

Koproeren worden in de praktijk nog weinig toegepast bij duwbakken. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat de installatiekosten vrij groot zijn. Een indicatie van de installatiekosten is gegeven in tabel 11 [9]. Er moet hierbij gedacht worden aan het feit dat er twee boegroeren per bak worden gemonteerd. Deze voorzieningen hoeven bij een tweebaksduweenheid alleen op de voorste duwbak aangebracht te worden. Het nadeel hiervan is dat het principe van volledige uitwisselbaarheid van de duwbakken geweld wordt aangedaan. Een ander nadeel is dat boegroeren pas effectief worden als het schip met een zekere snelheid vaart.

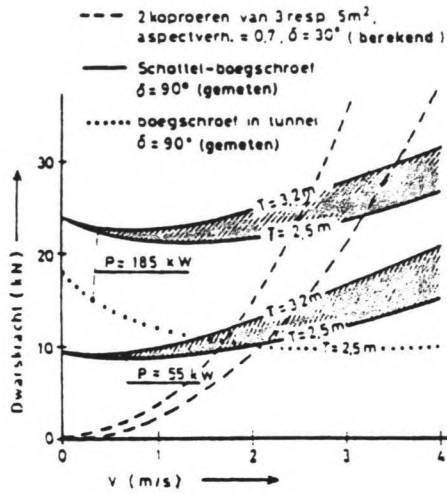
Het toepassen van boegroeren kan echter een alternatief zijn voor het verbreden van een vaarweg indien wordt overwogen duweenheden of koppilverbanden op die vaarweg toe te laten. Afhankelijk van de specifieke situatie(s) moeten er dan toelatingsvoorwaarden worden geformuleerd.

7.3 Aktieve kopbesturing

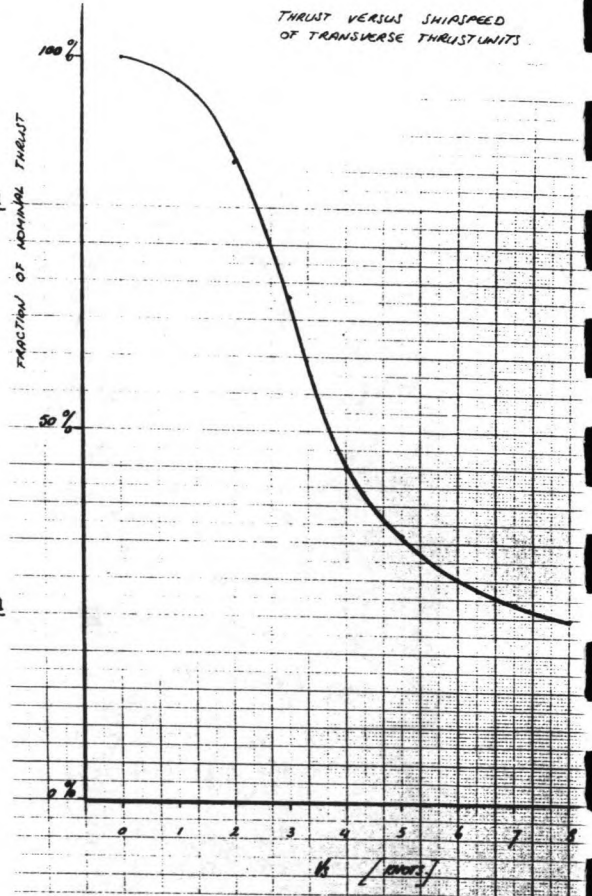
Bij actieve kopbesturing is in het voorschip van de voorste duwbak een voortstuwingsmiddel aangebracht waarvan de richting van de stuwingsdruk vrij draaibaar is. Hiervoor worden meestal boegschroeven toegepast. Alle boegschroeven hebben bij toenemende vaarsnelheden een lagere effectiviteit omdat de ontbondene van de stuwdruk loodrecht op het schip snel kleiner wordt. Echter bij lagere snelheden ($V < 5 \text{ à } 7 \text{ km/h}$) zijn boegschroeven veel effectiever dan koproeren.

In de praktijk blijken er diverse typen boegschroeven te worden toegepast. De effectiviteit van de diverse typen is echter sterk verschillend, vooral bij toenemende scheepsnelheden. De manier waarop het water naar de schroef kan stromen is in grote mate bepalend voor de effectiviteit van de boegschroef. Verder is de plaats van de boegschroef onder de waterspiegel van grote betekenis aangezien deze sterk verschilt tussen geladen en ongeladen toestand. Bij windhinder zijn lege schepen maatgevend, zodat voor deze toestand geldt dat de efficiëntie maatgevend moet zijn. De lengte van de eventueel aanwezige schroeftunnel evenals de diameter van deze tunnel, zijn eveneens van invloed op het uiteindelijke resultaat.

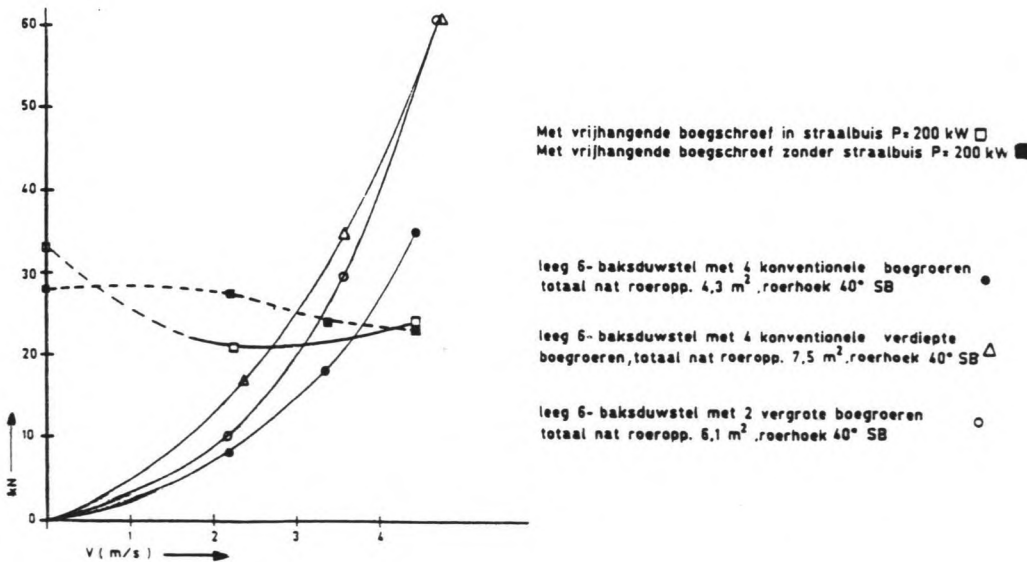
De koersvastheid van een konventioneel binnenvaartschip neemt in het algemeen toe bij toenemende scheepsnelheden. Dit betekent dat er bij hogere vaarsnelheden ook een grotere dwarskracht benodigd is om een bepaalde drifthoek terug te dringen. De vorm van het voorschip is eveneens van



Figuur 25. Vergelijking van boegschroeven en boegroeren



Figuur 26. Afname van de dwarskracht van een boegschroef bij een varend schip



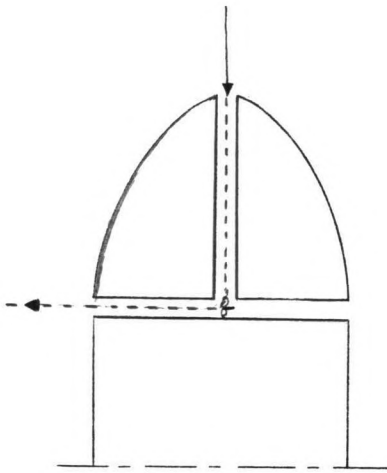
Figuur 27. Effektiviteit van boegroeren en boegschroeven

grote invloed op het "afglijden" van de boeg ten gevolge van zijwind, ofwel op de drifthoek. Naar de grootte van de dwarskracht die door een boegschroef kan worden geleverd is in het verleden enig onderzoek verricht. Voor een boegschroef die in de binnenvaart vaak wordt gebruikt (een in horizontale richting verstelbare Schottel) werd gekonstateerd dat de maximale dwarskracht maar weinig variëerde met de sloopssnelheid (fig.25). Helaas werden deze metingen verricht bij een relatief grote diepgang van de deelnemende schepen. Figuur 25 geeft enige indruk van het verloop van de dwarskracht als functie van de sloopssnelheid. Opvallend is het verschil in effectiviteit tussen een "vrije" boegschroef en een "ingebouwde" boegschroef. De ingebouwde boegschroef geeft hetzelfde beeld als de in de zeevaart gebruikelijke "bow thrusters" die boven snelheden van 2 à 3 m/s nauwelijks effectief zijn. De firma Lips in Drunen (fabrikant van sloopsschroeven) hanteert de kromme uit figuur 26 welke de relatie tussen de sloopssnelheid en de effectiviteit van een dwarsschroef in een tunnel aangeeft. Ook hieruit blijkt de grote afname in effectiviteit van de boegschroef bij toenemende sloopssnelheid.

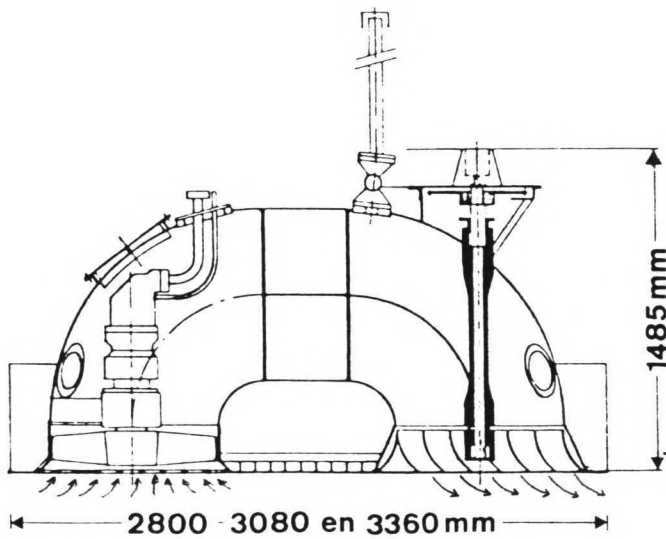
Indien figuur 25 nogmaals wordt bekeken dan is het wel duidelijk dat bij hoge sloopssnelheden koproeren veel effectiever zijn dan boegschroeven. Behalve voor het verminderen van de padbreedte ten gevolge van zijwind, kunnen deze koproeren ook nuttig zijn voor het beperken van het breedte beslag van lege duwstellen in rivierbochten. Mede in dit kader is door het Maritiem Research Instituut Nederland (M.A.R.I.N.) in Wageningen de effectiviteit van enige soorten koproeren en boegschroeven onderzocht (fig.27). Hieruit blijkt dat bij lage snelheden, zeker beneden 1.5 à 2.0 m/s, boegschroeven veel effectiever zijn dan koproeren. Vooral bij de passage van "te krappe" kunstwerken kunnen boegschroeven een onmisbaar hulpmiddel zijn, terwijl ze hun nut ook bewijzen bij het manoeuvreren in havens. Bepaalde typen boegschroeven kunnen bovendien worden gebruikt bij het aankoppelen van bakken op stromend water tijdens het formeren van de duweenheid.

Er zijn een aantal soorten boegschroeven te onderscheiden: Type A. Boegschroeven met horizontale schroefas.

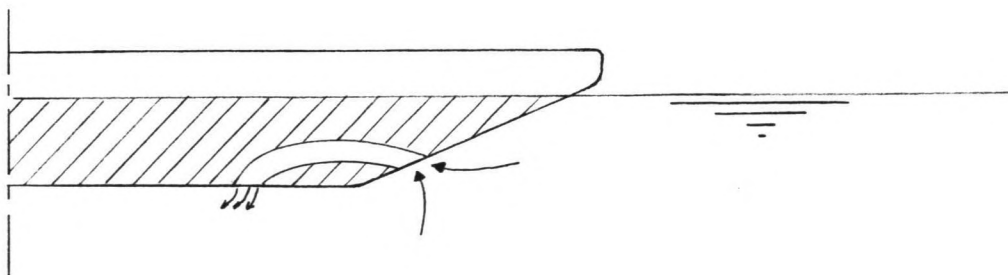
- a1. Boegschroef ingebouwd in een dwarsscheeps geplaatste schroefastunnel.
Nadeel: richting van de schroefstraal is niet variabel.
- a2. Ingebouwde boegschroef met de uitstroming op het vlak van het schip door een over 360° draaibaar rooster, waardoor met behulp van de schuin geplaatste roosterschoepen een kracht in elke gewenste richting kan worden uitgeoefend. Een voorbeeld van dit systeem is de Elka-jet.



Figuur 28. Boegschroef met de waterinlaat naar voren



Figuur 29. Elka-jet 100



Figuur 30. Waterinlaat voor een boegschroef bij een duwbak

Type B. Boegschroeven met verticale of nagenoeg verticale schroefas.

b. Vrij onder het vlak van het schip uitstekende (soms intrekbare) over 360° draaibare boegschroef. Voorbeelden hiervan zijn:

- Schottel-jet
- Schottel-bugjet
- Schottel-kegeljet

Nadeel: kwetsbare installatie.

De aanstroming van de schroef is enorm belangrijk. Daarom wordt tegenwoordig vaak de waterinlaat naar voren gemon- teerd (fig.28). Indien de aanstroming naar de schroef hori- zontaal of onder een kleine hoek met de horizontaal plaats vindt dan is type A bijzonder geschikt bij hogere vaarsnel- heden van het schip. Zelfs zonder schroef geeft dit systeem al een goed resultaat door het ombuigen van de waterstraal. Dit effect wordt nog sterker naarmate de scheepssnelheid toeneemt.

Type B is uitermate geschikt bij afnemende of kleine snelheden voorwaarts, bovendien is bij dit type een zeer geringe diepgang bij het voorschip mogelijk.

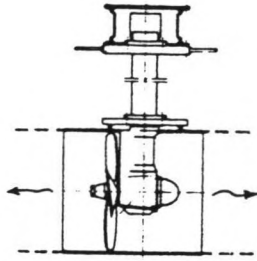
Boegschroeven voldoen in de praktijk goed maar hebben als nadeel de vrij forse investering die hiervoor benodigd is. Tevens wordt de eis van volledige uitwisselbaarheid van de duwbakken geweld aan gedaan.

7.3.1 Elka-jet

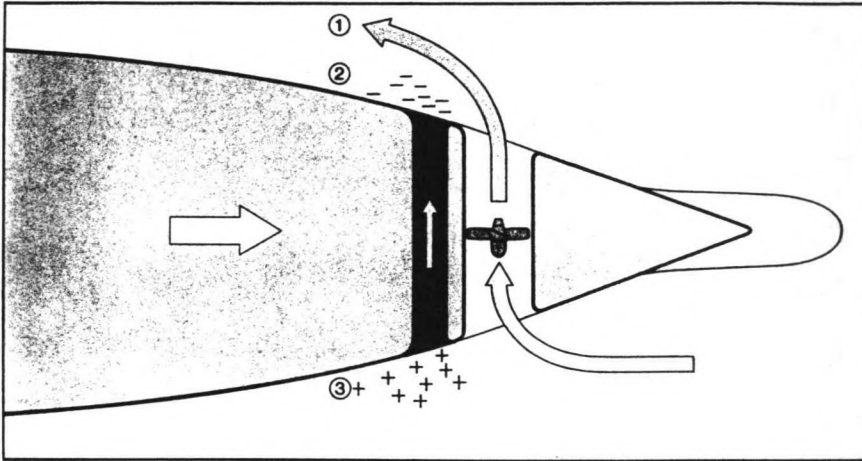
De boegbesturing bij dit systeem geschiedt door middel van een waterstraal die wordt opgewekt met een schroefpompwaaier. Het water gaat via een uitstroombocht door een schroef- rooster in het vlak van het schip (fig.29). Dit rooster be- staat uit een uitstroomkelk waarin speciaal geprofileerde schoepen zijn aangebracht die het water in de meest doelma- tige richting sturen. Het rooster is door een verticale as verstelbaar met behulp van een elektro motor. De stuwkracht kan hiermee in elke gewenste richting worden benut. Het rooster is over 360° draaibaar. De inbouw vindt plaats in het vlak van het schip omdat:

- a. ongeladen schepen (duwbakken) vaak nauwelijks enige diepgang bezitten.
- b. er minder verliezen optreden door de steundruk van het omringende water (betere uitstroming).

De instroomopening dient vooraan te zitten omdat er anders bij varende schepen niet genoeg water wordt aangezogen. Dit is ook de reden waarom de instroomopening bij duwbakken te- genwoordig in de schuin oplopende voorkant wordt aange- bracht (fig.30). Het voordeel van dit systeem is dat er geen onder het scheepsvlak uitstekende delen aanwezig zijn.



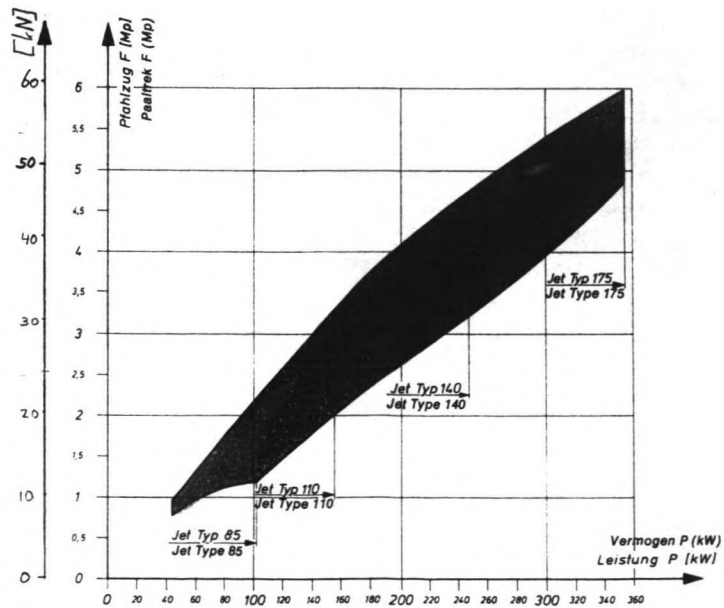
Figuur 31. Draaibare Schottel-boegschroef



Figuur 32. Schottel-boegschroef met een A.S.T.

PAALTREK als functie van het vermogen van SCHOTTEL-JETS en SCHOTTEL-BOEG-JETS

Conditie:
 stil water,
 snelheid = 0,
 uitstroomopening onder water,
 zonder verlengde schacht,
 aanzuigopening met beschermrooster.



Figuur 33. Paaltrek als functie van het vermogen van Schottel-boegschroeven

Het rendement van de installatie is vrij hoog. Er wordt circa 60 N. stuwdruk per pk. geïnstalleerd vermogen gehaald (type 150 (kW) = 200 pk geeft circa 12000 à 12500 N.). Ter orientatie: voor een schip van 80 à 100 m. lengte is een stuwdruk nodig van ruim 10000 N.

Boegschroeven van dit systeem worden tegenwoordig ook veel toegepast in duwbakken. De inbouwkosten bedragen in dat geval ongeveer 10% van de kosten van de duwbak. Hierdoor wordt het principe van de goedkope bak en de dure duwboot niet geheel verlaten doch wel enigszins geweld aangedaan. Er zijn ook proeven uitgevoerd met twee boegschroeven per bak (voor en achter). Hierdoor bleken de bakken geheel zelfstandig te kunnen varen. De maximum snelheden bedroegen ongeveer 10 km/h. Dit is echter alleen raadzaam op korte trajekten en bij verplaatsen in de haven (aan- een afkoppelen zonder sleepboothulp!).

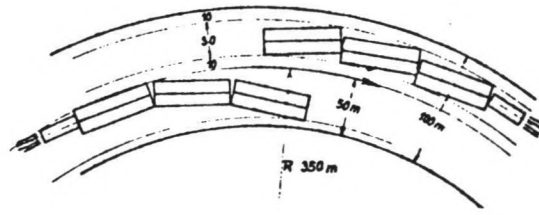
7.3.2 Schottel

Deze firma levert verschillende typen boegschroeven. Er worden boegschroeven in tunnels geleverd die vast zijn dan wel in twee richtingen draaibaar. Door de boegschroef te laten zakken tot onder het vlak van het schip ontstaat zelfs een 360° draaibare boegschroef (fig.31).

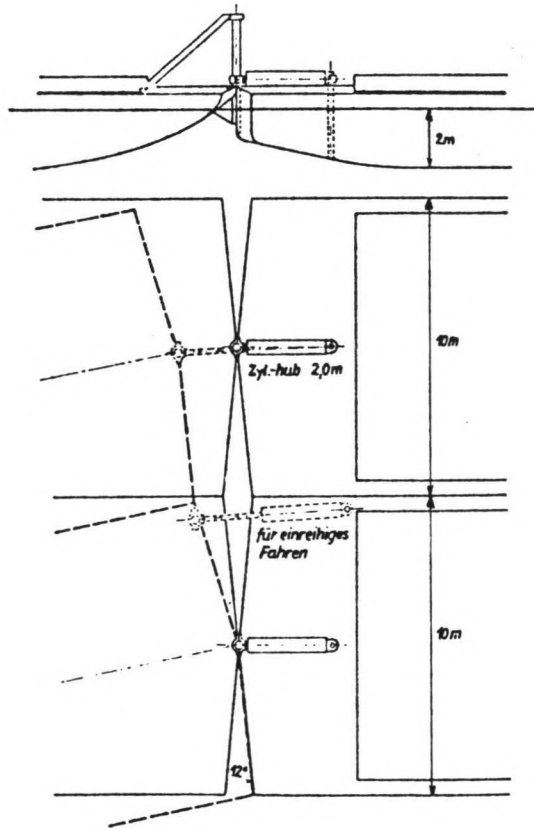
De aanstroming van deze in tunnels geplaatste schroeven vindt plaats vanaf de zijkant. Het is bekend, dat boegschroeven in het vaarsnelheidsgebied van 3 - 7 knopen (1.5 - 3.6 m/s) nauwelijks effectief zijn. Bij toepassing van een Schottel Anti-Suction-Tunnel (A.S.T.) wordt dit ongewenste verschijnsel opgeheven. De draaisnelheid van het schip wordt door deze extra voorziening in bovengenoemde vaargebied met circa 40% a 60% verbeterd. Dit kan weer leiden tot kleinere (en dus goedkopere) dwarsschroeven. De werking van dit systeem is als volgt (fig.32):

Achter de omgebogen straal (1) ontstaat ter plaatse een sterk onderdruk veld (2) en treedt bij de intrede-zijde een overdruk veld van enigszins kleinere intensiteit op. De uit deze druksystemen resulterende krachten werken tegengesteld aan de stuwdruk richting van de dwarsschroef. De nuttige stuwdruk wordt hierdoor verminderd en in het hiervoor genoemde vaarsnelheidsgebied zelfs teniet gedaan. De A.S.T. verbindt het onderdruk- met het overdrukveld en heft de drukverschillen op, dat wil zeggen de stuwdruk van de dwarsschroef is steeds volledig beschikbaar.

Ook deze firma levert een jet systeem. Het water wordt bij dit systeem opgezogen uit het vlak van het schip en afhankelijk van de type uitvoering in een van de 2, 3, 4 of 360° draaibare richtingen afgegeven. Voor de Schottel-jet zijn stuwdruk waarden van 65 - 87 N. per pk aandrijfvermogen gemeten. Zie als toelichting op deze waarden ook figuur 33.



Figuur 34. Passieve knikvaart (boven)
Aktieve knikvaart (onder)



Figuur 34a. Afknikken door middel van hydraulische cylinders
op de duwbakken

7.4 Knikbesturing

Een mogelijkheid om de padbreedte in bochten te verkleinen is het toepassen van knikbesturing. Bij deze methode wordt er een hoek ingesteld tussen de duwboot en de duwbakken (fig.34). Het voordeel dat hierdoor ontstaat, naast de beperking van de padbreedte, is dat de duweenheid de dieptelijnen en stroomlijnen beter volgt en daardoor minder weerstand ondervindt.

Nadelen van dit systeem zijn:

- het vergt een grote investering
- er ontstaan enorme knikkrachten en momenten in de scharnieren van de knikbesturing
- de overige vaart zal in verband met onbekendheid van het systeem een grote schrikafstand bewaren
- er bevinden zich vrij veel mechanische onderdelen op de duwbakken zodat er geen volledige uitwisselbaarheid van bakken plaats kan vinden

Bij de toepassing van knikbesturing zijn een drietal systemen te onderscheiden:

- a. Aktieve verbindingen.
Dit systeem wordt vanuit de stuurhut van de duwboot bediend. De krachts overdracht vindt hierbij plaats op mechanische (spillen of lieren), hydraulische of pneumatische wijze (fig.34+34a).
- b. Passieve verbindingen.
Dit zijn vrij draaibare verbindingen, waarbij een of meerdere bakken met behulp van kabels en lieren niet alleen ten opzichte van elkaar verdraaien maar ook een verplaatsing ondergaan (fig.34).
- c. Elastisch passieve verbindingen.
Deze verbindingen zijn uitgerust met veren, die bij terugkomst van het schip in de rechtstand een terugkoppelingsmoment veroorzaken, zodat de terugkoppelingskrachten gereduceerd worden.

Bij afnemende bochtstraal blijkt de invloed van het afknikken op de reductie van de padbreedte ook af te nemen [15]. Voor een tweebakduweenheid in gestrekte formatie blijkt bij een bochtstraal van 600 m. de ingenomen padbreedte voor een starre formatie ongeveer 20 m. te bedragen terwijl die voor de geknikte formatie circa 16 m. bedraagt. In dit geval betekent dat dus een reductie van 20% !
Er vinden echter nog steeds onderzoeken plaats naar het "geknikte" varen en het zal dan ook nog wel geruime tijd duren eer dit systeem gemeen goed wordt op de Nederlandse wateren.

7.5 Extra kopbak

De oplossingen bij zowel de passieve kopbesturing als bij de actieve kopbesturing vergen investeringen en veranderingen aan de duwbakken. In Amerika wordt bij grote duwkonvoien wel een extra kopbak (=klein) voor het konvooi gemonteerd om de bestuurbaarheid te vergroten [13]. De hulpmiddelen ten behoeve van de betere bestuurbaarheid zijn dan in deze extra kopbak geplaatst en bedienbaar vanuit de stuurhut van de duwboot.

Het voordeel van dit systeem is dat er geen veranderingen aan de bakken plaats hoeven te vinden, met andere woorden, de universele uitwisselbaarheid blijft gewaarborgd.

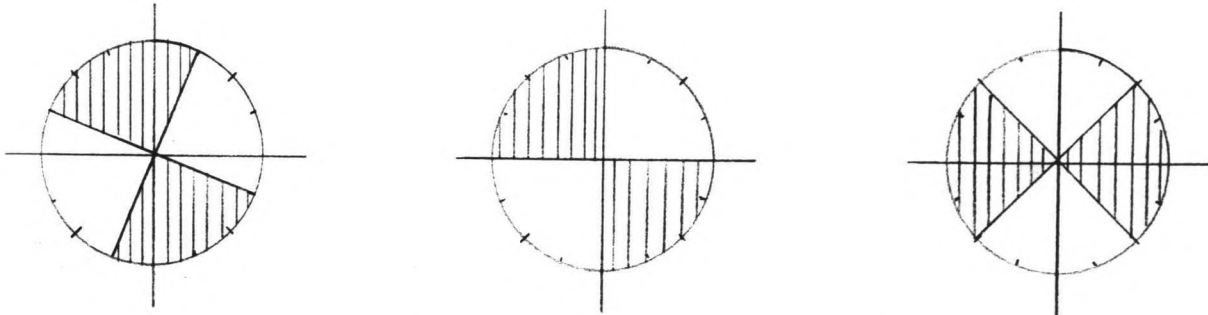
Als nadeel van dit systeem kan opgemerkt worden dat deze extra kopbak toch een forse investering vereist terwijl bovendien de lengte van het duwkonvooi nog meer toeneemt.

Aangezien deze kopbak alleen in het binnenwater nodig is zou er gedacht kunnen worden aan een systeem waarbij de duweenheden op eigen gelegenheid het IJsselmeer oversteken. Vervolgens wordt bij Lemmer de kopbak aangekoppeld en naar de bestemming ergens in de noordelijke provincies gevaren. Bij het verlaten van de provincie wordt bij Lemmer de kopbak weer afgekoppeld en achtergelaten. Zo kunnen verschillende duweenheden gebruik maken van dezelfde kopbak.

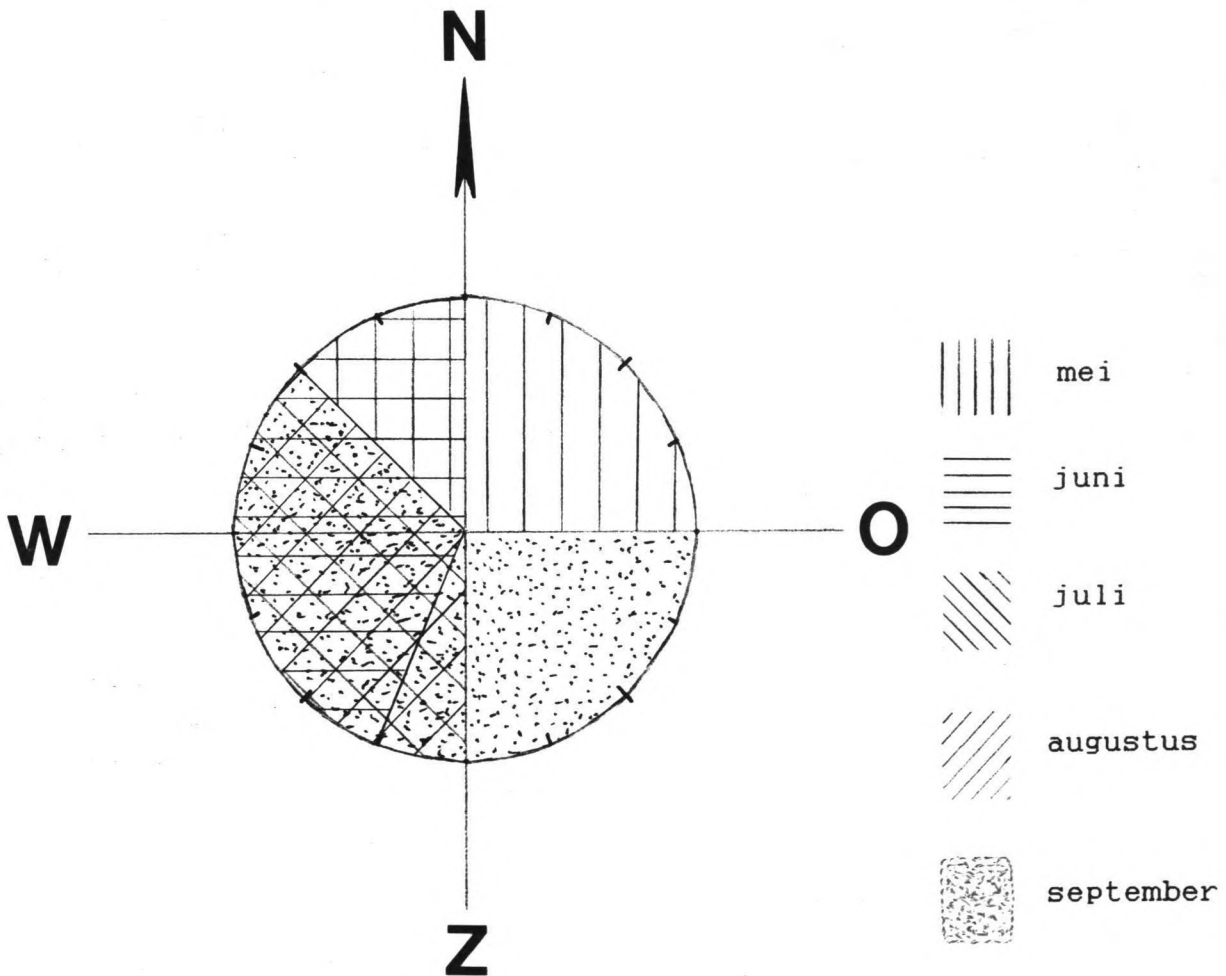
Stroobos-
Fonejacht

Fonejacht-
Uitwellingerga

Uitwellingerga-
Lemmer



Figuur 35. Windrichtingen waarbij zijwindhinder op kan treden



Figuur 36. Overheersende windrichtingen in de maanden mei tot en met september (1931-1960)

8. WINDRICHTING EN WINDKRACHT

Bij het bekijken van de topografische kaart van Friesland (bijlage 1) blijkt dat het Prinses Margrietkanaal qua "loop" globaal in drie stukken kan worden verdeeld. Deze drie trajekten zijn:

- Stroobos - Fonejacht : loopt ONO-WZW (65° - 245°)
- Fonejacht - Uitwellingerga: loopt NO-ZW (45° - 225°)
- Uitwellingerga - Lemmer : loopt N-Z (0° - 180°)

In het voorgaande is reeds gekonstateerd dat zijwind hinderlijk is voor de scheepvaart. Onder zijwind wordt in dit kader verstaan: windrichtingen die een hoek van 45° maken met de normaal op de scheepsas. Hinderlijke zijwind komt voor de drie genoemde trajekten uit de volgende richtingen (fig.35):

- Stroobos - Fonejacht : (290° - 20°) , (110° - 200°)
- Fonejacht - Uitwellingerga: (90° - 180°) , (270° - 0°)
- Uitwellingerga - Lemmer : (45° - 135°) , (225° - 315°)

Een belangrijke vraag is echter: hoe vaak treedt deze zijwind op en met welke windsterkte? Het blijkt dat het Prinses Margrietkanaal qua windbelasting in een landstreek ligt [11]. De gemiddelde windsnelheid ligt voor dit kanaal rond de 5 m/s (ongeveer windkracht 3). Aangezien het kanaal 's zomers de grootste belasting door schepen ondervindt (pleziervaart) is het interessant om gedurende de vijf zomermaanden mei tot en met september de overheersende windrichting te bepalen. De overheersende windrichting is voor de bovengenoemde maanden hieronder weergegeven [11]:

- mei : 315° - 90°
- juni : 202° - 0°
- juli : 180° - 315°
- augustus : 180° - 315°
- september : 90° - 315°

Hieruit blijkt dat er altijd wel ergens een traject van het kanaal is waar tijdens deze drukke zomermaanden, zijwindhinder op kan treden. Zoals uit figuur 36 blijkt, waait de wind overheersend uit westelijke richting. Hieruit blijkt dat de lange duweenheden het meeste last van zijwind zullen ondervinden op het traject Uitwellingerga - Lemmer (bijlage 1). Echter ook op beide andere trajekten zullen zij last van zijwind kunnen ondervinden tijdens deze zomermaanden.

Indien de windsnelheden en windrichtingen worden bekeken (bijlage 16 en 17) [10], dan blijkt daaruit dat voor het noorden van het land (weerstation Eelde) de gemiddelde windsnelheid niet boven de 5 m/s uit stijgt (= 3 Beaufort). Hieruit kan gekonkludeerd worden dat indien er harde wind geweest is (≥ 7 Beaufort) dit dan wel van korte duur was omdat anders het gemiddelde wel hoger zou liggen. De wind blijft in de zomermaanden niet vaak langer dan twee

dagen achter elkaar krachtiger dan 7 Beaufort. Tegen de avond ('s nachts) neemt de wind bovendien vaak in sterkte af, zodat lange duweenheden tijdens harde wind hun vaartijd iets dienen te verleggen. Bovendien is er 's nachts bijna geen pleziervaart en aanzienlijk minder beroepsvaart zodat er meer ruimte beschikbaar is om te manoeuvreren. Nadeel is dat het zicht 's nachts veel minder is. Aangezien alle moderne binnenvaartschepen en zeker de duwboten zijn voorzien van radar is dit probleem wel op te lossen maar dit nachtvaaren vraagt toch iets meer manoeuvreerruimte. Zo wordt er als vuistregel bij het varen tijdens mist (en dus ook bij het varen op radar) een vaarstrookbreedte van 4b gehanteerd. Tijdens het radarvaaren dient er rekening gehouden te worden met het feit dat riet slecht reflekteert. De vaarwegbeheerder zal in dat geval door middel van het plaatsen van radarbakens (reflektoren) de situatie aanzienlijk kunnen verbeteren.

De gegevens die bij het bovenstaande gebruikt zijn blijken helaas niet nauwkeurig genoeg om konklusies te kunnen trekken over een reductie op de zijwindtoeslag op bepaalde trajecten van het kanaal.

9. EVALUATIE VAN DE PLEZIERVAART OP HET PRINSES MARGRIETKANAAL

In de binnenvaart vindt nog steeds een schaalvergroting plaats die ook consequenties heeft, voor de infrastructuur en de regelgeving [26]. In dit kader vallen ook de opwaardering van het Prinses Margrietkanaal tot klasse V kanaal en het "laveerverbod" voor de pleziervaart.

Het Prinses Margrietkanaal wordt het gehele jaar door druk bevaren door beroepsvaart. In de zomermaanden maken ook zeer veel pleziervaarttuigen gebruik van het kanaal. Dit leidt in drukke perioden bij knelpunten in het kanaal dan ook geregeld tot conflict situaties. Bijna aanvaringen en situaties waarbij een pleziervaartuig uit het gezichtsveld van de beroepsschipper verdwijnt in de "dode hoek" van het schip, komen dan ook geregeld voor. Helaas leidt dit soms ook tot aanvaringen waarbij de beroepsschipper vaak machteloos moet toezien omdat hij niet snel met zijn schip kan uitwijken of stoppen.

Het is uit dit oogpunt dan ook wenselijk om beide verkeerssoorten, beroepsvaart en pleziervaart, zoveel mogelijk te scheiden. Dit kan gebeuren door alternatieve vaarroutes aantrekkelijker te maken voor de pleziervaart en door watersport activiteiten direkt grenzend aan of op het kanaal te vermijden.

Er is reeds een alternatieve vaarroute aanwezig voor het traject Oude Schouw-Sneekermeer [28]. Deze route loopt via Akkrum. Echter door de aanwezigheid van zeer smal vaarwater en een spoorbrug in Akkrum kost deze route vrij veel vaartijd en wordt daarom ook slechts in geringe mate als alternatieve route gebruikt. Er zijn echter recente voorstellen om in deze route een laaggelegen vaste brug aan te brengen (bijlage 18). Dit betekent, naar mijn mening, de doodsteek voor deze alternatieve route aangezien de gebruikswaarde van een vaarweg niet alleen hoofdzakelijk wordt bepaald door het doorgaande karakter en de afmetingen maar ook door het openingsregiem van de bruggen en sluisen.

Als de huidige schaalvergroting zich in de binnenvaart blijft doorzetten dan betekent dit steeds groter en minder goed manoeuvreerbare schepen op het Prinses Margrietkanaal in de nabije toekomst. Het gebruik van alternatieve vaarroutes dient dan ook bevorderd te worden door middel van promotie activiteiten en door het beter (vloetter) bevaarbaar maken van deze routes zodat hier voor vooral de kleinere pleziervaart gesproken kan worden van een echt alternatief voor het Prinses Margrietkanaal. Verder dienen knelpunten op het Prinses Margrietkanaal aangepakt te worden zodat er geen conflict situaties kunnen ontstaan tussen beroeps- en pleziervaart. Een vlotte brugbediening en goede wachtgelegenheden bij de diverse kunstwerken voorkomt het gekrioel van wachtende pleziervaarttuigen voor een brug of sluis. Voorbeelden van goede wachtgelegenheden zijn

te vinden bij de de bruggen te Grouw en Uitwellingerga.

Er is naar mijn mening wel degelijk plaats voor pleziervaart naast de beroepsvaart op het Prinses Margrietkanaal. Bepaalde maatregelen kunnen het geheel iets meer "stroomlijnen". In dit kader vormt het verbod om op het Prinses Margrietkanaal met zeilschepen te kruisen een stap in de goede richting alhoewel hierop vanuit de watersport veel kritiek is geweest. Men zal er aan moeten wennen dat het Prinses Margrietkanaal gaat dienen als verbindingsweg tussen de verschillende recreatiepunten in plaats van als zelfstandig recreatie objekt. Het is in dit kader goed om het Prinses Margrietkanaal te vergelijken met een grote doorgaande snelweg. Toeristisch verkeer dat iets van de omgeving wil zien neemt een kleinere binnenweg. Als deze situatie zich hier op het water ook in gaat stellen dan kunnen beroepsvaart en pleziervaart ook in de toekomst naast elkaar gebruik blijven maken van het Prinses Margrietkanaal.

Tabel 12. Profielkeuze

Kategorie	Ijaar*	B _s (m)**
ZM	<5.000	krap profiel
ZM	5.000 - 30.000	normaal profiel
ZM	>30.000	normaal profiel + tenminste 5 m extra per 10.000 passages
M	<5.000	krap profiel
M	5.000 - 30.000	normaal profiel
M	>30.000	normaal profiel + tenminste 5 m extra per 10.000 passages

* Intensiteit, aantal passages van recreatievaartuigen op jaarbasis.

** Bevaarbare breedte (breedte in het kielvlak van het maatgevende recreatievaartuig).

Kategorie	Zeilboten				Kategorie	Motorboten				Kategorie	Bruine vloot			
	H	T	B	L		H	T	B	L		H	T	B	L
Z1	8,50	1,25	3,00	9,00	M1	-	0,90	3,50	10,00	BV1	>>12,00	1,20	4,00	25,00
Z2	12,00	1,50	3,50	10,00	M2 1)	2,25 à 2,40	1,10	3,75	12,00	BV2	>>12,00	1,40	5,00	30,00
Z3	12,00	1,75	3,75	11,00	M3	2,75	1,40	4,00	14,00					
Z4	>>12,00	1,90	4,00	12,00	M4	3,40	1,50	4,25	15,00					

1) Afmetingen gebaseerd op H = 2,25 m

Figuur 37. Maatgevende scheepsafmetingen

Kategorie		Profielafmetingen (m)*	
		diepte	bevaarbare breedte
Kleine watersport		1,2 (1,0)	>10 (>5)
recreatie-toervaart	ZM1	1,55 (1,45)	21 (14)
	ZM2	1,80 (1,70)	23 (15)
	ZM3	2,10 (1,95)	23 (16)
	ZM4	2,30 (2,10)	25 (17)
	M1	1,25 (1,15)	21 (14)
	M2 1)	1,45 (1,35)	23 (15)
	M3	1,80 (1,70)	23 (16)
	M4	1,95 (1,80)	25 (17)
	BV1	1,70 (1,55)	18 (15)
	BV2	1,95 (1,80)	22 (19)

* Voor het normale profiel. De getallen tussen haakjes geven de waarden voor het krappe profiel.

1) Afmetingen gebaseerd op H = 2,25 m

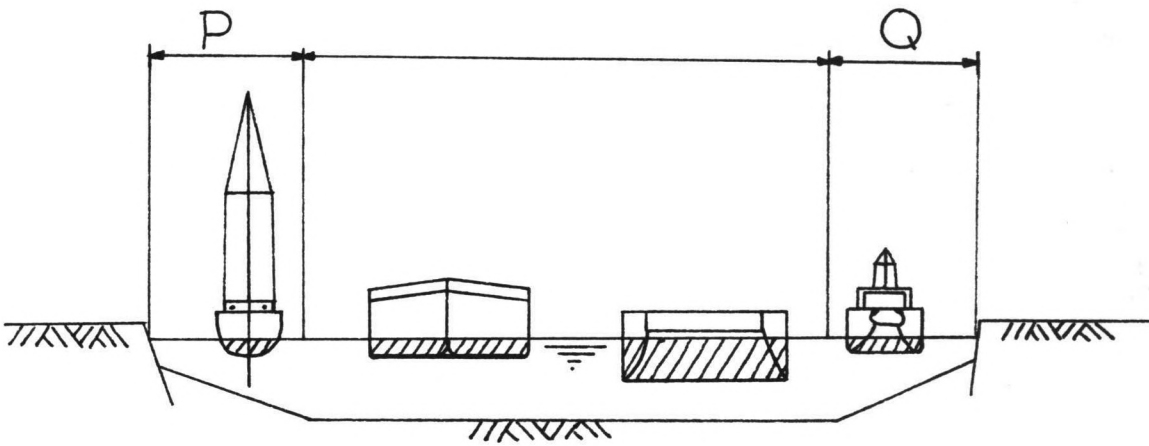
Figuur 38. Profielafmetingen

10. PLEZIERVAART OP HET PRINSES MARGRIETKANAAL

Het Prinses Margrietkanaal wordt in de zomermaanden druk bevaren door de pleziervaart. Zo werden er in 1984 bij Oude Schouw ruim 50.000 pleziervaartuigen geregistreerd [16]. Wordt dit aantal vergeleken met het gepasseerd aantal beroepsvaartuigen dat bijna 30.000 passages bedroeg bij de Prinses Margrietsluis in Lemmer (1984), dan blijkt dat pleziervaartuigen toch voor een grote belasting van het kanaal zorgen. Daarbij moet gedacht worden aan het feit dat de pleziervaart voornamelijk plaats vindt in de maanden mei tot en met september terwijl de beroepsvaart het gehele jaar door vaart. Bij de bepaling van het vaarwegdwarsprofiel dient dan ook zeker rekening gehouden te worden met de pleziervaart. Deze grote drukte op het water heeft bij Grouw al geleid tot een "oploopverbod" voor de beroepsvaart (bijlage 19).

De recreatievaart die gebruik maakt van het Prinses Margrietkanaal bestaat voornamelijk uit zeil- en motorboten. Een andere categorie die steeds meer opkomt is de chartervaart. Dit zijn in het algemeen schepen van de "bruine vloot" (tjalken, klippers, botters) waarop men een "aktieve" vakantie kan doorbrengen. De schippers van deze schepen maken zo veel mogelijk gebruik van hun zeilen (om brandstofkosten te drukken), ook op de kanalen. De afmetingen van deze schepen zijn vaak aanzienlijk groter dan die van een "normaal" pleziervaartuig.

De Werkgroep Rekreatie Vaarwegen (W.R.V.) heeft normen vastgesteld voor de recreatievaart [6]. Voor het Prinses Margrietkanaal betekent dit dat ten behoeve van de recreatievaart minimaal een normaal profiel aanwezig dient te zijn. Dit is een uit nautisch oogpunt optimaal profiel, waarin hoge intensiteiten vlot en veilig kunnen worden verwerkt. Er zou ook gedacht kunnen worden om een intensiteitsprofiel in te stellen. Dit profiel is gerechtvaardigd bij meer dan 30.000 passages per jaar. Aangezien het aantal geregistreerde pleziervaartuigen dit aantal ver te boven gaat is het dus beter om een intensiteitsprofiel toe te passen in plaats van een normaal profiel (tabel 12). Er zijn door de W.R.V. een viertal klassen ingesteld aan de hand waarvan men kanalen kan beoordelen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen een route alleen geschikt voor motorboten (en zeilboten met gestreken mast), de zogenaamde **M-route** en een route voor zowel motorboten als zeilboten, de **ZM-route** (bijlage 20). Het Prinses Margrietkanaal valt hierbij in klasse ZM 3 (eventueel is klasse 4 ook te overwegen). Met behulp van de maatgevende scheepsafmetingen (fig.37) heeft de W.R.V. nu aanbevelingen gedaan voor de profielafmetingen (fig.38). Er moet hierbij wel gedacht worden aan het feit dat deze afmetingen betrekking hebben op kanalen met alleen pleziervaart. De belangrijkste maat die uit dit onderzoek gedestilleerd kan worden is de maat



Figuur 39. Maatgevende situatie voor een gemengd kanaal met
zowel beroepsvaart als pleziervaart

voor de vaarwegbreedte. Hiervoor wordt bij het normale profiel 6 bp genomen (bp = breedte van het maatgevende pleziervaartuig). In deze maat zit reeds een toeslag voor de zijwind verwerkt. Als minimum kielspeling wordt 0.5 m. aangehouden. Bij hogere intensiteiten, combinatie met beroepsvaart en voor vaarroutes die onderdeel uitmaken van meren of plassen is eveneens minimaal 0.5 m. vereist.

Door nu bovenstaande richtlijnen toe te passen op het Prinses Margrietkanaal, waarbij uitgegaan wordt van een klasse 3 recreatie vaarroute voor zowel zeil- als motorboten (ZM 3), wordt een minimale benodigde diepte van 2.10 m. gevonden. Dit levert zelfs in het huidige profiel geen problemen op. Aangezien alle bruggen over het Prinses Margrietkanaal beweegbare bruggen zijn, kan ieder schip, ongeacht de hoogte van zijn mast, van het kanaal gebruik maken. De beperkende factoren qua hoogte zijn in dit geval de hoogspanningsleidingen. Deze kruisen het kanaal echter op voldoende grote hoogte.

Voor de breedte is bij het normale profiel 6 bp ofwel 23 m. nodig. Bij het intensiteitsprofiel is hiervoor 6 bp + 5 m. nodig ofwel 28 m. In deze maten zijn reeds de marges tussen schip en oever opgenomen.

Aangezien de breedte in het dwarsprofiel voor de beroepsvaart veel groter is dan de breedte voor de pleziervaart wordt normaliter de grootste breedte van deze beide maten als ontwerpeis aangehouden. In het geval van het Prinses Margrietkanaal bedraagt het aantal pleziervaartuigen ruim 50.000 stuks per jaar. Dit aantal wordt bijna geheel geregistreerd gedurende de zomermaanden mei tot en met september. Bij deze hoge intensiteit voldoet het niet meer om de grootste van beide bovengenoemde breedtes te hanteren als eis (dus of 6 bp + 5 m. van de pleziervaart of de benodigde breedte voor de beroepsvaart). Aangezien er in de literatuur over dit probleem ook slechts heel weinig is geschreven, is het gewenst om op dit gebied nader onderzoek te verrichten.

In de maatgevende situatie waarbij twee vrachtschepen van de maximaal toelaatbare maat elkaar passeren (ontmoeten of oplopen), dient er ook nog ongehinderde doorvaart voor de recreatievaart mogelijk te zijn. Het is dan ook wenselijk om naast de vaarstrookbreedte voor de binnenvaartschepen, de zijwind toeslag en de "schrik" stroken tussen schip en oever en tussen beide schepen, ook een toeslag voor de pleziervaart in te stellen.

De maatgevende situatie wordt nu bepaald door het passeren van twee maatgevende schepen, met aan beide oevers een maatgevend recreatievaartuig (fig.39). Voor de bepaling van de benodigde vaarwegbreedte ten behoeve van de pleziervaart (=P en Q) moeten een aantal punten in ogenschouw worden genomen:

- de pleziervaarder is in het algemeen minder geoefend dan de beroepsschipper
- pleziervaartuigen hebben een grotere padbreedte nodig (dit gerelateerd naar de scheepsbreedte) in vergelijking met de beroepsvaart (men "slingert" meer door het kanaal)
- de lengte/breedte verhouding van een pleziervaartuig is in het algemeen kleiner dan bij een beroepsvaartuig ($lp/bp = 4$ ten opzichte van $l/b = 8 \text{ à } 10$).

De maten P en Q (fig.39) zijn opgebouwd uit een vaarwegbreedte en een veiligheidsstrook tussen pleziervaartuig en oever. Als veiligheidsstrook tussen de pleziervaarder en de beroepsvaarder is reeds de "oude" veiligheidsstrook van de beroepsvaarder tussen de oever en zijn schip, aanwezig.

Voor de vaarwegbreedte van de pleziervaarder zal:

1.5 bp

worden aangehouden, waarbij bp de breedte van het maatgevende rekreatievaartuig is. Dit lijkt gerechtvaardigd omdat de rekreatieschipper dan wel minder koersvast mag zijn dan de beroepsschipper, maar aanzienlijk sneller koerskorrekties uit kan voeren. Het rekreatievaartuig reageert veel sneller op zijn roer dan de binnenvaarder.

Als veiligheidsstrook tussen de oever en het rekreatievaartuig zal :

0.5 bp

worden aangehouden. Dit betekent voor een klasse M 3 motorboot (fig.37) een breedte van twee meter. Dit moet voldoende zijn bij een oever zonder uitsteeksels of in staal of beton afgewerkte oevers. Deze laatste typen oeververdedigingen zullen er voor zorgen dat de pleziervaarder een grotere schrikbreedte aan wil houden om zijn boot niet te beschadigen.

Onder normale omstandigheden wordt een kanaal met daarin uit twee richtingen pleziervaart dus uitgebreid met:

4.0 bp

Dit moet naar mijn mening voldoende zijn omdat:

- de maatgevende situatie slechts kort optreedt
- bij geringe windsnelheden niet de volledige zijwind toeslag voor de beroepsvaart nodig zal zijn
- tijdens hoge windsnelheden er minder wordt gevaren door de rekreanten, dus minder drukte
- tijdens harde wind is zowel de beroepsschipper als de rekreatieschipper meer alert
- de beroepsschippers nooit de veiligheidsstroken tussen schip en oever aan weerszijden van het kanaal volledig en tegelijkertijd zullen benutten, er blijft dus meer ruimte over voor de rekreatieschipper
- de meeste rekreatieschippers wel zo voorzichtig zijn dat zij bij een ontmoeting tussen twee grote vrachtschepen, achter deze schepen blijven varen in plaats

van er naast; de ontmoeting duurt bovendien erg kort (stel: geladen duweenheid met $Vs' = 8$ km/h, leeg klasse V schip met $Vs' = 10$ km/h, de totale lengte bedraagt dan: $185 + 95 = 280$ m. 300 m. Dit betekent dat de ontmoeting: $\frac{300 \times 0.001}{8 + 10} \times 60 = 1$ [min] duurt)

Deze voorzichtigheid wordt versterkt door het feit dat gelukkig veel rekreatieschippers een "groot respekt" hebben voor deze enorme (in hun ogen: logge) schepen.

Er kan nu gekonkludeerd worden dat voor een kanaal met een hoge intensiteit aan pleziervaarders, zoals het Prinses Margrietkanaal, het aanbeveling verdient om voor de vaarwegbreedte een maat van 4 bp te reserveren ten behoeve van de **rekreatievaart**. Bovenstaande maat van 4 bp wordt onderschreven door het onderzoek van Wiersma en van Slooten [28] die een maat van 4.1 bp adviseren.

Aangezien de "bruine vaart" zichzelf als beroepsvaart klassificeert, zal deze zich tijdens de maatgevende situatie niet tussen de "wal en het schip" begeven maar achter de binnenvaarder blijven totdat deze zijn ontmoeting heeft voltooid.

11. HET ONTWERP VAN EEN NIEUW DWARSPROFIEL VOOR HET PRINSES MARGRIETKANAAL, REKENING HOUDENDE MET ZOWEL BEROEPSVAART ALS PLEZIERVAART

In het voorgaande zijn eisen opgesteld en alternatieven ontworpen voor respectievelijk een C.E.M.T. klasse V kanaal en een kanaal geschikt voor tweebaksduwvaart. Tevens zijn er aanvullende eisen opgesteld voor de pleziervaart.

Het ontwerpen van een kanaal voor tweebaksduwvaart in gestrekte formatie, is niet reëel omdat het niet in de lijn der verwachting ligt, dat binnen niet al te lange, het Prinses Margrietkanaal overheerst zal worden door duweenheden. Dit zou namelijk een kanaal opleveren dat vrij breed gaat worden (zijwindtoeslag) terwijl het grotendeels gebruikt gaat worden door schepen van C.E.M.T. klasse V en kleiner.

Door een kanaal te ontwerpen dat toegespitst is op C.E.M.T. klasse V schepen worden duweenheden belemmerd bij de vaart in het nieuwe kanaal profiel. Dit zal de ontwikkeling van duwvaart op het Prinses Margrietkanaal dan ook niet ten goede komen. Dat duwvaart in de toekomst ook op het Prinses Margrietkanaal zijn intrede zal gaan doen lijkt op dit moment vrij zeker [27] [30]. Het lijkt dan ook verstandiger om een kanaal voor C.E.M.T. klasse V te ontwerpen waarop ook de duwvaart zich goed kan bewegen. Hierbij kan gedacht worden aan een "normaal" profiel voor het klasse V kanaal met als maatgevende situatie de ontmoeting tussen een klasse V schip en een tweebaksduweenheid. De situatie dat twee duweenheden elkaar ontmoeten (op een ongunstige plaats) is daarbij vrij klein omdat er een relatief gering percentage van de vracht per duweenheid vervoerd zal gaan worden. Deze ontmoeting zal dan plaats moeten vinden door middel van het aanpassen van de vaarsnelheid, hetgeen geen bezwaar is mits dit niet al te vaak optreedt. Een "krap" profiel zal voor deze situatie kunnen voldoen.

Op dit te ontwerpen kanaalprofiel dienen nu toeslagen te worden toegepast voor zijwind en pleziervaart. De duweenheid vereist, zoals in het voorgaande is aangetoond, een vrij grote zijwindtoeslag. De vraag die zich hierbij aandient is, of het ook voldoende is om een zijwindtoeslag voor C.E.M.T. klasse V schepen in te stellen tesamen met een toeslag voor pleziervaart. Op het eerste gezicht lijkt dit niet voldoende te zijn. Echter hierbij moet wel gedacht worden aan het feit dat alleen een lege duweenheid zo'n grote zijwindtoeslag nodig heeft. Er van uitgaande dat de schepen vol heen gaan en leeg terug, treedt deze situatie in 50% van de gevallen op.

Een ander punt is dat deze grote zijwindtoeslag alleen bij harde zijwind benodigd is. Hiervan is met behulp van gegevens van het K.N.M.I. de kans op voorkomen te bepalen. Bij

harde wind, zo blijkt er uit de praktijk, wordt er door pleziervaarders veel minder gevaren. De kans is dus ook veel kleiner dat de maatgevende situatie van figuur 39 zich voordoet tijdens harde wind dan tijdens mooi windstil weer. Ziet een pleziervaarder tijdens harde wind een duweenheid met grote drifthoek aankomen terwijl er eveneens een klasse V schip nadert, dan zal de pleziervaarder hierop reageren en proberen te voorkomen dat hij naast de beide vrachtschepen vaart op het punt van passeren. Bovendien moet er op dat zelfde moment ook nog een pleziervaarder aan de andere oever van het kanaal varen ter hoogte van beide elkaar passerende vrachtschepen om de maatgevende situatie compleet te maken.

Met behulp van een probabilistische berekening zou de kans op voorkomen van bovenstaande situatie bepaald kunnen worden. Op het eerste gezicht lijkt deze kans erg klein. Het is daarom, naar mijn mening, ook gerechtvaardigd om voor het nieuw te ontwikkelen kanaal profiel te rekenen met de zijwindtoeslag van het C.E.M.T. klasse V schip in plaats van met de zijwindtoeslag voor de (lange) tweebaksduweenheid. Omdat de zijwindtoeslag voor een C.E.M.T. klasse V schip aanmerkelijk kleiner is dan de zijwindtoeslag voor een duweenheid (10 m. ten opzichte van 30 m., bij windkracht 6 à 7) levert dit een aanmerkelijk smaller, en dus goedkoper profiel op voor het vernieuwde kanaal.

Behalve duweenheden voorzien van twee duwbakken, zullen er ook duweenheden gaan varen welke zijn voorzien van slechts een bak. Zoals in het voorgaande reeds werd aangestipt is de kans vrij groot dat een tweebaksduweenheid richting Friesland vertrekt met bakken voor verschillende bestemmingen. Zodra een bak afgekoppeld is, is er nog slechts een éénbaksduweenheid over die qua afmetingen slechts weinig groter is dan het standaard C.E.M.T. klasse V schip. Deze duweenheid heeft dan in verhouding tot zijn afmetingen, een zeer ruim motorvermogen tot zijn beschikking, zodat het in deze situatie toegestaan is om met de zijwindtoeslag voor klasse V schepen te rekenen.

Indien het trace van het Prinses Margrietkanaal wordt bekeken van Stroobos tot Lemmer dan kan worden gekonstateerd dat de pleziervaart niet overal even intensief gebruik maakt van het kanaal. Op het gedeelte tussen Stroobos en de Driehuistersloot komt relatief weinig pleziervaart voor. Op dat traject zijn enkele drukke stukken aanwezig zoals in de omgeving van het Bergumermeer en bij de Kruiswaters bij Wartena. Het gedeelte tussen de Driehuistersloot en de Houkesloot wordt daarentegen zeer druk bevaren door pleziervaart. Op het traject van de Houkesloot tot aan de Jeltesloot neemt de pleziervaart weer iets af terwijl op het laatste gedeelte van de Jeltesloot tot aan Lemmer nogmaals een geringe afname van de pleziervaart valt te konstateren.

Gezien het bovenstaande is het nu de vraag of het toch noodzakelijk is om dezelfde toeslag ten behoeve van de pleziervaart over het gehele traject van het Prinses Margrietkanaal in te stellen?

Bij Spannenburg en bij Fonejacht zijn bij tellingen over een geheel jaar ongeveer 15.000 pleziervaartuigen geregistreerd. Bij Oude Schouw waren dit er echter ruim 50.000 [16]. Het is volgens mij dan ook redelijk om op het traject Driehuistersloot-Houkesloot een volledige toeslag ten behoeve van de pleziervaart in rekening te brengen. Op het traject Stroobos-Driehuistersloot kan er met een geringere toeslag voor de pleziervaart worden volstaan. Dit is naar mijn mening mogelijk omdat er hier minder pleziervaartuigen aanwezig zijn. De beroepsvaart is hier als het ware veel nadrukkelijker aanwezig. De pleziervaart ervaart dit ook als zodanig en zal daarom ook meer rekening houden met de beroepsvaart. Op het drukke traject Driehuistersloot-Houkesloot zijn vrij veel minder ervaren watersporters aanwezig (huurboten). Dit tesamen met de grotere intensiteit zorgt ervoor dat men zich "sterker" voelt als groep zodat er minder rekening wordt gehouden met de beroepsvaart. Het gevaar (en de uitwijk mogelijkheden) van de beroepsvaart worden hier regelmatig schromelijk onderschat (respektievelijk overschat). Daarom dient op dit traject de volledige toeslag toegepast te worden. Op het traject Houkesloot-Lemmer kan weer met een geringere toeslag worden volstaan. Zolang op het gehele Prinses Margrietkanaal het laveerverbod gehandhaafd blijft is de bovenstaande redentatie zonder problemen toepasbaar.

Het voordeel van het toepassen van een gedeeltelijke toeslag voor de pleziervaart is de geringere waterspiegelbreedte van het kanaal. Het bestaande profiel zal dus minder verbreed dienen te worden, hetgeen een belangrijk aspekt kan zijn bij de uitvoering van het ontwerp (denk hierbij aan onteigening van naast het kanaal gelegen stroken grond).

Naar aanleiding van bovenstaande redentatie zijn er in bijlage 21 en 22 een tweetal dwarsprofielen ontworpen, waarbij, uitgaande van de maatgevende ontmoeting tussen het C.E.M.T. klasse V schip en het tweebaksduwstel in gestrekte formatie, in het ene geval een gedeeltelijke toeslag van het ("normale") profiel voor de pleziervaart in rekening is gebracht, terwijl in het andere geval het volledige intensiteitsprofiel voor een capaciteit van 50.000 pleziervaartuigen in rekening werd gebracht.

11.1 Konklusies betreffende de "pleziervaart" dwarsprofielen

Bij het vergelijken van de alternatieven uit bijlage 21 en 22 valt het grote verschil in breedte op (bijna 18 m.). Dit verschil wordt veroorzaakt door:

- a. kleinere veiligheidsstroken tussen wal en schip
- b. kleinere zijwindtoeslag
- c. kleinere pleziervaarttoeslag

De oplossing uit bijlage 21 heeft een dermate ruim profiel dat de maatgevende situatie zonder problemen op kan treden. Als zijwindtoeslag is hier 0.1-1 van het klasse V schip gehanteerd. Aangezien een lege duweenhed een grotere zijwindtoeslag nodig kan hebben lijkt dit niet te voldoen. Echter tijdens weersomstandigheden met harde wind wordt er door de pleziervaart aanmerkelijk minder gevaren. Bovendien zal de pleziervaarder tijdens harde wind niet graag tussen twee elkaar passerende beroepsvaarders en de wal varen. Dit alles levert dermate veel ruimte op dat een duweenhed zonder problemen een klasse V schip kan passeren.

Bij de oplossing uit bijlage 22 is het dwarsprofiel al een stuk smaller. Dit alternatief dient dan ook bij voorkeur toegepast te worden op trajekten waar minder pleziervaart voorkomt (minder dan 30.000 pleziervaartuigen per jaar). Ook hier kan de lege duweenhed zonder problemen het klasse V schip passeren tijdens harde wind mits er geen pleziervaartuigen tussen oever en schip varen.

12. INZINKING BIJ EEN VAREND SCHIP

Bij het varen met een schip op een vaarweg worden, in de naaste omgeving van het schip, een aantal hydraulische verschijnselen opgewekt. De voornaamste verschijnselen zijn: retourstroom, scheepsgolven en volgstroom. De retourstroom wordt veroorzaakt doordat voor de boeg van het schip een hoeveelheid water wordt verdrongen terwijl achter het schip deze hoeveelheid water weer moet worden aangevuld. Scheepsgolven worden veroorzaakt doordat het schip vaart en daarbij stuwdruk golven opwekt. Volgstroom wordt veroorzaakt door de "zuiging" van het schip.

De retourstroom zorgt ervoor dat er een spiegeldaling optreedt doordat de relatieve stroomsnelheid van het water naast het schip groter is dan voor het schip. De natte doorsnede van de vaarweg wordt verder nog verkleind doordat het schip hier vaart. Omdat, bij relatieve beweging, waarbij het schip als het ware stil ligt ten opzichte van de oevers, dezelfde hoeveelheid water door het kanaal stroomt zowel voor als naast het schip, betekent dit een inzinking van het schip ten opzichte van de ongestoorde situatie. Bovendien treedt er tijdens het varen nog een extra inzinking op die squat wordt genoemd. Squat wordt veroorzaakt doordat de inzinking van het achterschip door de daar aanwezige schroefkuil vaak groter is dan de inzinking bij de boeg.

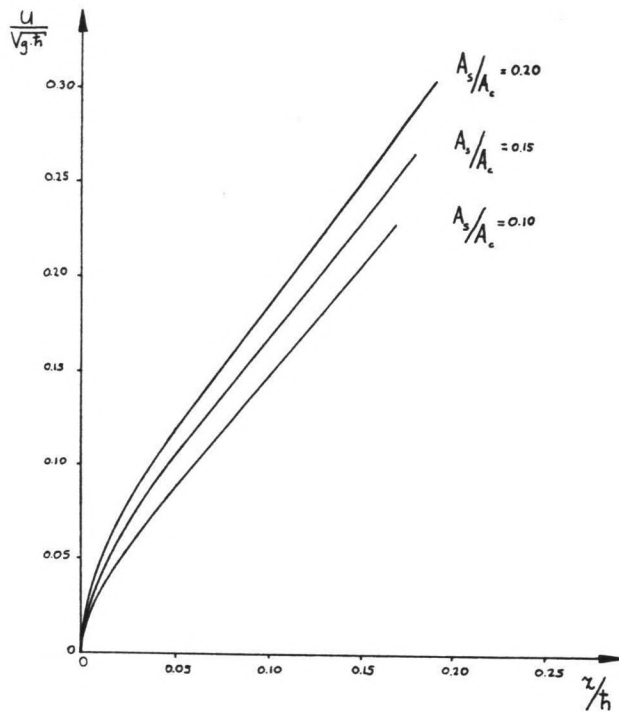
Aangezien er, bij alle hiervoor berekende dwarsprofielen, uitgegaan is van een stilstaande situatie, dat wil zeggen het schip beweegt niet door het kanaal, zullen alle profielen minimaal een groter diepte dienen te krijgen. Bij alternatieven waarbij het onderwatertalud doorloopt tot aan de waterspiegel, zal ook de breedte van het kanaal nog vergroot dienen te worden omdat de benodigde kanaal breedte wordt gemeten in het (geladen) kielvlak van het schip. De vraag is nu: hoe groot zal deze spiegeldaling worden in de situatie van het Prinses Margrietkanaal?

Het probleem kan worden benaderd met behulp van:

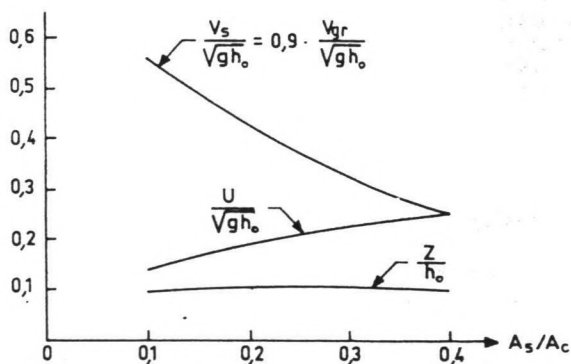
- drie dimensionaal model
- twee dimensionaal model
- één dimensionaal model

De drie- en twee dimensionale modellen zijn zeer ingewikkeld en dienen met behulp van de computer berekend te worden. Deze modellen hebben in het verleden echter weinig bevredigende resultaten opgeleverd.

Eén dimensionale rekenmethoden zijn al zeer lang bekend. Deze methoden hebben het grote voordeel dat uitgegaan wordt van een eenvoudig hydraulisch model waarvoor een exacte analytische oplossing is af te leiden. Het model is hierdoor veel beter inzichtelijk en toegankelijk.



Figuur 43. Retourstroom als functie van de spiegeldaling



Figuur 44. Retourstroom en spiegeldaling bij de haalbare vaarsnelheid (= 90% van de grenssnelheid)

Eén dimensionale methoden kunnen worden verdeeld in twee hoofd categorieën [2], namelijk:

- methoden gebaseerd op de wet van behoud van energie
- methoden gebaseerd op de wet van behoud van impuls

Bij de één dimensionale benadering wordt uitgegaan van de volgende aannamen:

- recht, oneindig lang prismatisch kanaalvak
- prismatisch grootspant wordt als geldend over de volle lengte van het schip genomen
- konstante vaarsnelheid van het schip
- uniforme retourstroom over de gehele natte vaarweg doornede, naast en onder het schip
- uniforme spiegeldaling over de volle breedte van het kanaal
- inzinking van het schip gelijk aan de spiegeldaling
- geen vertrimming van het schip aanwezig
- geen energie verliezen bij de methode volgens behoud van energie; wrijvingsweerstand en vertragingverliezen worden verwaarloosd
- geen invloed van sloopgolven, schroefstroom en schroefkuil (ter plaatse van de voortstuwing)

Het toepassen van één dimensionale modellen is in feite alleen maar geoorloofd voor schepen die in het midden van een vaarweg varen. Verder mag de breedte van de vaarweg (B_0) in principe niet veel groter zijn dan de lengte van het beschouwde schip. De verhouding B_0/l dient niet groter te zijn dan 1.5 wil het één dimensionale karakter van de waterbeweging nog enigszins op blijven gaan. Ondanks bovenstaande nadelen is hier toch een één dimensionale benadering toegepast omdat zo snel en eenvoudig een relatie kan worden afgeleid.

Op bijlage 23 is, uitgaande van het theorema van Bernoulli en de continuïteitsvergelijking, onderstaande vergelijking afgeleid:

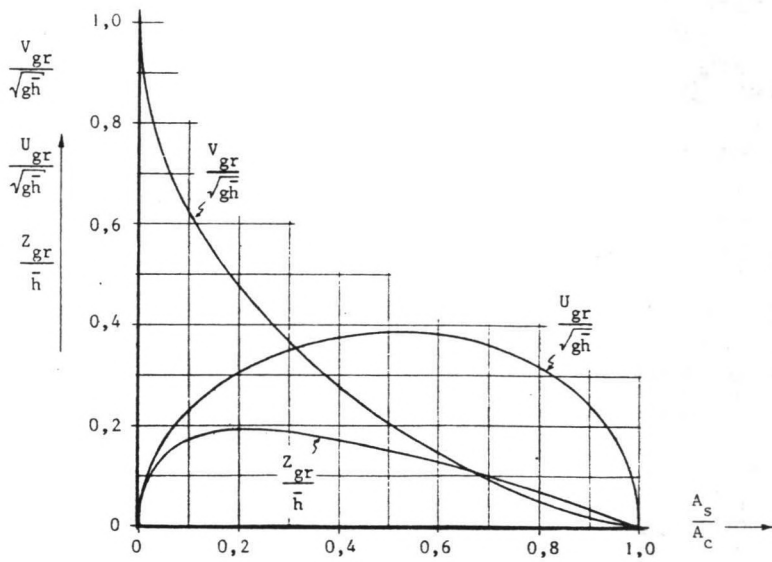
$$\frac{U^2}{g \cdot h} = \frac{2 (A_s/A_c + z/h) z/h}{(2 - A_s/A_c - z/h)} \quad (11)$$

Deze vergelijking bevat nog slechts een drietal factoren, namelijk: $U/\sqrt{g \cdot h}$, A_s/A_c en z/h . Door nu voor A_s/A_c bepaalde vaste waarden te nemen, is een relatie te bepalen tussen z/h en $U/\sqrt{g \cdot h}$ (fig.43).

Uit deze figuur blijkt duidelijk dat een schip met een grotere natte doorsnede in een kanaal een grotere retourstroomsnelheid veroorzaakt dan een schip met een kleinere natte doorsnede.

Als figuur 44 [2] nader wordt bekeken, dan blijkt dat bij een vaarsnelheid die 90% van de grenssnelheid bedraagt de waarde voor z/h gesteld kan worden op 0.1 voor: $0.1 < A_s/A_c < 0.4$. Uit figuur 43 blijkt vervolgens dat bij deze vaarsnelheid de retourstroomsnelheid in het volgende

$$z/h = 0,1 \rightarrow \frac{U^2}{gh} = \frac{0,2 \frac{A_s}{A_c} + 0,02}{1,9 - \frac{A_s}{A_c}}$$



Figuur 45. Grenswaarden volgens de theorie van Schijf

$$0,15 < \frac{u}{\sqrt{g_L}} < 0,25$$

$$0,55 < \frac{U_{gr}}{\sqrt{g_L}} < 0,25$$

interval ligt: ^{0,27} ~~0.15~~ $V_{gr} < U < 0.19$ ^{1.0} V_{gr} (afhankelijk van de A_s/A_c - verhouding). De retourstroomsnelheid bedraagt dan dus 15% à 19% van de grenssnelheid.

Indien het schip met 100% van de grenssnelheid zou varen dan zou de waarde: $z/h = 0.19$ bedragen (fig.45) [2]. Hieruit blijkt duidelijk dat tijdens de toename van de scheepssnelheid van 90% naar 100% van de grenssnelheid, er enorme weerstandskrachten op gaan treden die onder andere een zeer grote spiegeldaling (en uiteraard ook golven) veroorzaken.

Uit eigen ervaring en waarnemingen op het Prinses Margrietkanaal lijkt een spiegeldaling tussen 0.30 en 0.40 m. een reële waarde te zijn (uitgaande van een scheepssnelheid rond 8 km/h). Deze waarde wordt eveneens verkregen door een kanaaldiepte van 4.0 m. in te vullen in $z/h = 0.1$. Dit heeft dus tot gevolg dat de tot nu toe ontworpen alternatieven ook met deze waarde moeten worden verdiept. Afhankelijk van de hoogte van de waterstand op het talud zal dan ook het te ontwerpen kanaalprofiel nog iets verbreed moeten worden (bij een bakprofiel is verbreding niet nodig, bij een trapeziumvormig profiel afhankelijk van de situatie wel).

Tabel 13. Richtlijnen voor de doorvaartwijdte van beweegbare bruggen in rechte vaarwegvakken

C.E.M.T. klasse	horizontale afmetingen van de maatgevende schepen	doorvaart-hoogte	doorvaartwijdte			
			druk			
			centrisch		excentrisch	
I	39 x 5.10	laag 4.00 5.30	8.50 7.00 7.00	1.37b	8.50 8.50 8.50	1.67b
II	55 x 6.60	laag 5.50 6.30	10.50 8.50 8.50	1.29b	10.50 10.50 10.50	1.60b
II	55/67 x 7.20	laag 5.50 6.60	11.00 9.50 9.50	1.32b	11.00 11.00 11.00	1.53b
III	67/80 x 8.20	laag 5.50 6.60	12.00 10.50 10.50	1.28b	12.00 12.00 12.00	1.46b
IV	85 x 9.50	laag 5.50 7.00	14.00 12.00 12.00	1.26b	14.00 14.00 14.00	1.47b

maten in [m]

Tabel 14. Richtlijnen voor de doorvaartwijdte van de bruggen over het Prinses Margrietkanaal

		centrische opening	excentrische opening
klasse V	95.00x11.50	1.28b 14.70	1.48b 17.00
2 baks duwvaart	185.00x11.40	1.38b 15.70	1.58b 15.00

maten in [m]

13. KUNSTWERKEN VAN HET PRINSES MARGRIETKANAAL

In het Prinses Margrietkanaal bevinden zich een aantal bruggen en sluizen (bijlage 24). Aangezien dit reeds bestaande kunstwerken zijn, zal gecontroleerd worden of zowel klasse V schepen als tweebaksduweenheden in gestrekte formatie deze kunstwerken zonder problemen kunnen passeren. Daartoe zullen in het hierna volgende eerst de eisen, waaraan deze kunstwerken dienen te voldoen, worden afgeleid.

13.1 Bruggen

Bij een brug zijn belangrijke afmetingen de doorvaartwijdte en de doorvaarthoogte. De bruggen over het Prinses Margrietkanaal zijn allen voorzien van een beweegbaar deel zodat de doorvaarthoogte in principe onbeperkt is. Omdat de bruggen echter niet 24 uur per dag worden bediend is het van belang om, naast het controleren van de doorvaartwijdte van het beweegbare deel, het vaste gedeelte te toetsen aan de eisen van doorvaarthoogte en -wijdte. Uitgangspunt hierbij is dat schepen veilig en vlot kunnen passeren.

De C.V.B. heeft richtlijnen opgesteld [5] voor de C.E.M.T. kanalen klasse I tot en met IV met betrekking tot de doorvaartwijdte (tabel 13). Aangezien een klasse V schip niet wezenlijk anders reageert dan een klasse IV schip, is het toegestaan om deze richtlijnen door te trekken naar een klasse V kanaal. De doorvaartwijdte dient bij een klasse V kanaal dan ook minimaal: 1.48 b

te bedragen bij excentrisch gelegen doorvaart openingen. Voor centrisch gelegen doorvaartopeningen bedraagt deze maat minimaal: 1.28 b.

Voor duwvaart zullen deze maten iets ruimer genomen dienen te worden omdat deze schepen anders reageren (trager) dan klasse V schepen. Voor duwvaart zullen daarom de volgende maten worden aangehouden:

- excentrische opening : 1.58 b
- centrische opening : 1.38 b.

Het Prinses Margrietkanaal dient nu getoetst te worden aan de eisen uit tabel 14. Uit deze tabel blijkt nu dat de minimale doorvaartwijdte voor tweebaksduwvaart 18 m. dient te bedragen. In de literatuur [18] wordt voor de doorvaartwijdte bij duwvaart zelfs 19 m. geadviseerd. Indien schepen onder de vaste overspanningen van de bruggen doorvaren dan levert dit slechts in één geval problemen op (bijlage 24). De bruggen bij Grouw zijn namelijk onder de vaste overspanning slechts 17.25 m. breed. Echter indien deze brug wordt

Tabel 15. Richtlijnen voor de doorvaarthoogte van beweegbare bruggen voor de beroepsvaart

CEMT klasse	horizontale afmetingen van de maatgevende schepen	doorvaarthoogte	
		hoge variant	midden variant
I	39 x 5.10	5.30	4.00
II	55 x 6.60	6.30	5.50
II	56/67 x 7.20	6.60	5.50
III	87/80 x 8.20	6.60	5.50
IV	85 x 9.50	7.00	5.50

(maten in meters)

voorzien van goede geleidingswerken, dan moet ook deze brug voor duwvaart zonder al te veel problemen te passeren zijn.

Bij het toetsen van de doorvaartwijdtes onder het beweegbare deel aan de gestelde eisen, valt gelijk op dat er nog slechts een brug voldoet (bijlage 24). Dit is de brug bij Stroobos. Bij negen (!) bruggen dienen er aanpassingen plaats te vinden ten behoeve van de veel langere duweenheden. Dit brengt grote kosten met zich mee. Als de bruggen echter voldoende hoog zijn dan kunnen de duweenheden altijd gebruik maken van de vaste overspanning. Bij deze aanpassingen kan er gedacht worden aan een lang remmingwerk aan een kant van de vaarstrook zodat een soort "halve fuik" ontstaat.

Er zijn door de C.V.B. ook richtlijnen opgesteld voor de doorvaarthoogte (tabel 15) [5]. Voor klasse IV vaarwegen adviseert deze kommissie een doorvaarthoogte (=strijkhoogte + schrikhoogte) van 7.00 m. Een groot Rijnschip C.E.M.T. klasse V heeft een hoogte van 6.70 m. Een advieshoogte van 7.30 m. voor klasse V lijkt dan ook redelijk.

De bruggen over het Prinses Margrietkanaal hebben een doorvaarthoogte van 7.45 m. boven het kanaal peil (+K.P.). uitgezonderd de bruggen bij Stroobos, Schuilenburg en Grouw (bijlage 24).

De brug bij Stroobos is een ongelijkarmige draaibrug met, in geopende stand, een doorvaartwijdte van 22 m. Deze brug levert dan ook geen problemen op.

De brug bij Schuilenburg is eveneens een draaibrug. Bij deze brug zijn echter twee brugopeningen van 16 m. aanwezig. Deze brug voldoet dus niet aan de hiervoor gestelde eisen, maar met goede geleidingswerken moet deze brug goed te passeren zijn door de grotere schepen. Nader onderzoek zal hierover definitief uitsluitel dienen te geven.

De bascule bruggen bij Grouw hebben een doorvaarthoogte van slechts 5.45 m.+K.P. Zij vormen dan ook het grote knelpunt in de route omdat de doorvaartwijdte onder het beweegbare deel slechts 16 m. bedraagt. Deze afmeting is hetzelfde als bij Schuilenburg echter bij Grouw vindt in verband met de treinenloop slechts een beperkte opening plaats. Een bijkomend nadeel is dat er door de drie dicht naast elkaar gelegen bruggen een tunneleffekt ontstaat doordat de doorvaartlengte groter is dan de halve scheepslengte van het maatgevende klasse V schip. Bovendien bevindt zich bij Grouw een zeer grote concentratie van pleziervaart die ook voor de brug moet wachten. Dit levert een situatie op die een vlotte doorvaart belemmerd. De bruggen bij Grouw vormen daardoor het grootste knelpunt in de route. Dit knelpunt zal dan ook liefst zo spoedig mogelijk aangepast dienen te worden. Dit vraagt echter grote financiële offers.

Bij duweenheden wordt de doorvaarthoogte bepaald door de duwboot. Deze bezit zowel in geladen als ongeladen toestand van de duwbakken, dezelfde "strijkhoogte". Op het Prinses Margrietkanaal zullen waarschijnlijk slechts de kleinere duwboden gaan varen. Deze duwboden zijn alle lager dan de 7.45 m. doorvaarthoogte die de huidige bruggen bijna alle bezitten (vergelijk duwboot: "Olivier van Noort", afmetingen: 36.15x9.50x1.70 m., 2x750 pk, strijklijn: 6.50 m. met de hydraulisch beweegbare struurhut in de laagste stand). De hele grote duwboden welke geschikt zijn voor vier- en zesbakduwvaart zullen niet rendabel kunnen varen met slechts twee bakken zodat deze grote (en vooral hoge) duwboden Friesland zullen mijden.

13.2 Sluizen

In het Prinses Margrietkanaal bevinden zich een tweetal sluizen. Deze sluizen, bij Lemmer en Terhorne (bijlage 24), hebben een doorvaartwijdte van 16.0 m. en een schutkolk lengte van 260.0 m. Het grootste maatgevende schip in de nabije toekomst wordt de tweebakduweenheid in gestrekte formatie. Deze duweenheid met afmetingen van 185.0x11.4 m. past ruimschoots in de sluis [7]. De remmingwerken en geleidewerken zullen echter wel aangepast dienen te worden voor deze grote schepen. Van het C.E.M.T. klasse V schip met afmetingen van 95.0x11.5 m. kunnen er probleemloos twee tegelijkertijd geschut worden.

De kleinste drempeldiepte bezit de Prinses Margrietsluis te Lemmer. Deze bedraagt 3.84 m. ÷K.P. bij het noordelijke sluishoofd. Voor de maatgevende diepgang is uitgegaan van 3.00 m. ÷K.P. zodat de diepgang geen problemen oplevert.

De sluis bij Terhorne staat bijna het gehele jaar open en levert derhalve ook bijna geen tijdsverlies op. Deze sluis is uitgevoerd met een groene kolk. de kleinste doorvaartwijdte bevindt zich ter plaatse van de sluishoofden. De kolk zelf bezit een aanmerkelijk grotere breedte, zodat tijdens de vaart door deze sluis de breedte beperking geen problemen oplevert. Het enige oponthoud wordt hier veroorzaakt door de noodzaak om langzamer te gaan varen in de sluis. Ten behoeve van de duwvaart dient er in de sluis kolk aan de "groene zijde" over de gehele kolk lengte een remmingwerk aangebracht te worden waartegen de duweenheid tijdens het schutten kan afmeren (bij wind uit de tegenover gestelde richting).

De sluis bij Lemmer zit echter al bijna tegen zijn maximum capaciteit aan (28.500 passages in 1984; [16]). Doordat er tegelijkertijd met het duwkonvooi nog maximaal een C.E.M.T. klasse III schip (67.0 x 8.2 m.) mee kan schutten, zal dit de wachttijden bij deze sluis doen toenemen. Dit, tesamen

met het feit dat ook de pleziervaart van deze sluis gebruik maakt, zorgt ervoor dat de capaciteit van deze sluis zal worden overschreden, hetgeen te grote wachttijden zal opleveren. Dit is vooral voor de beroepsvaart ontoelaatbaar. Een nadere studie zal uit moeten wijzen in hoeverre het aanbod van schepen nog mag stijgen voordat de maximale capaciteit is bereikt. De remedie zal de bouw van een nieuwe sluis zijn. Bij deze sluis zal dan ook direkt rekening gehouden kunnen worden met duwvaart. De bouw van een nieuwe sluis brengt echter zeer grote financiële consequenties met zich mee.

14. HET BRUGGENKNOOPPUNT BIJ GROUW

Het grootste knelpunt in het Prinses Margrietkanaal wordt ongetwijfeld gevormd door de bruggen bij Grouw. Hier bevinden zich vlak naast elkaar twee spoorbruggen en een verkeersbrug die allen door één brugwachter worden bediend.

De openingstijden van deze bruggen worden bepaald door de spoorbruggen. Door de treinenloop kunnen de bruggen slechts enkele malen per uur geopend worden. Dit wordt aangegeven door middel van een klok op de brug die de eerst volgende brugopening aangeeft. Een bijkomend probleem wordt hier ter plaatse gevormd doordat de bruggen een geringere doorvaarthoogte hebben dan de overige bruggen over het Prinses Margrietkanaal (bijlage 24). Dit zorgt, voornamelijk in de zomermaanden, voor een enorme groep wachtende pleziervaardtuigen.

De N.S. wil de intensiteit op de spoorlijn naar Leeuwarden graag verhogen, maar kan dit niet doen mede door de aanwezigheid van de bruggen bij Grouw. Bij geopende bruggen vormen zich ook vrij snel grote files voor het wegverkeer. Het is dan ook duidelijk dat dit knooppunt voor zowel weg-, water- als railverkeer zo snel mogelijk aangepakt dient te worden [18].

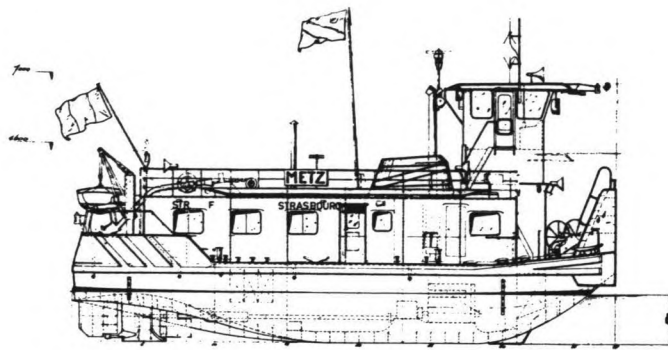
De mooiste oplossingen van dit probleem voor het verkeer zijn een hoge vaste brug (doorvaarthoogte ≥ 12 m.) danwel een tunnel of aquadukt. De vaste brug heeft hierbij als nadeel dat de zogeheten "open route" geweld wordt aangedaan. De open route maakt het schepen mogelijk zonder beperking op de doorvaarthoogte gebruik te maken van een bepaalde vaarweg. Tevens veroorzaken de hoge opritten een ernstige horizon vervuiling in het vlakke Friesland. Een hooggelegen beweegbare brug zou het eerste probleem opheffen, het tweede echter niet.

De meest ideale oplossing voor dit knooppunt wordt naar mijn mening gevormd door het bouwen van een tunnel of aquadukt. Dit betekent dat de scheepvaart ongehinderd kan passeren, zowel de beroepsvaart als de vaak minder ervaren pleziervaart. Het wegverkeer kan eveneens ongestoord het kanaal kruisen zonder de kans op filevorming en vertraging. Tevens kan de N.S. ongestoord haar dienstregeling naar Leeuwarden uitbreiden.

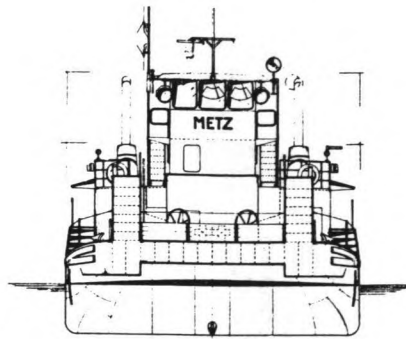
Een gekombineerde weg/rail tunnel lijkt hier dan ook ideaal. Voor de N.S. doet zich dan nog het probleem voor dat het station bij Grouw verplaatst moet worden omdat de trein gebonden is aan een maximale klimhelling en ter plaatse van het huidige station nog niet "boven de grond" rijdt. Dit probleem zou opgelost kunnen worden door dit station, waar alleen de zogenaamde stoptreinen stoppen, een perron onder de grond te geven vergelijkbaar met de perrons op Schiphol. Het huidige station kan dan met loketten, fietsenstalling en parkeerterrein op de huidige plaats

blijven zodat er geen kosten gemaakt hoeven te worden voor het verplaatsen van de huidige faciliteiten en het aankopen van grond op een nieuwe plaats. Bovendien kan bij deze oplossing de spoorwegovergang bij dit station komen te vervallen, hetgeen de verkeersveiligheid voor het wegverkeer weer ten goede komt.

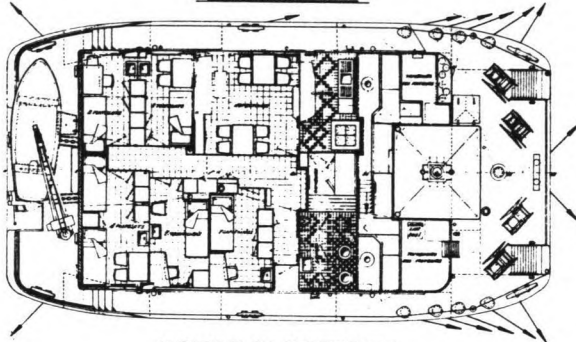
De aanleg van een tunnel levert een besparing in bedienend personeel op doordat de brugwachters komen te vervallen (2 personen per dag). De aanleg van een tunnel past ook in het beleidsstreven dat er op is gericht om bij de kruising van een doorgaande open hoofdvaarweg met een spoorlijn of autosnelweg de beide laatst genoemde infrastructuren door middel van onderdoorgangen onder het vaarwater door te halen [29]. De aanleg van een tunnel zal niet de goedkoopste oplossing van het verkeersknooppunt bij Grouw opleveren. Verkeerstechnisch gezien is het echter wel de meest ideale oplossing. Het project zal tevens een grote stimulans voor de werkgelegenheid in het noorden des lands betekenen. Nu de Oosterschelde werken hun voltooiing naderen zal het accent waarschijnlijk op kleinschaliger projecten komen te liggen. Het bovengenoemde project past dan uitstekend in die strategie. Een nadere studie zal meer licht dienen te brengen in de technische en economische problemen waarmee bovenstaande oplossing ongetwijfeld behept is.



PONT PRINCIPAL



TOIT DU ROOF



VUE EN PLAN INFERIEURE

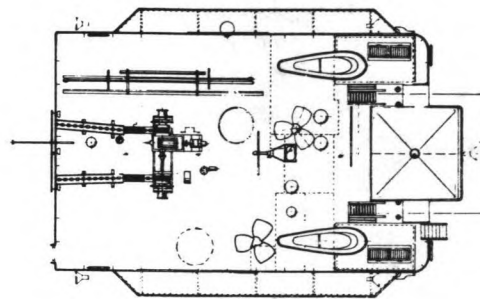
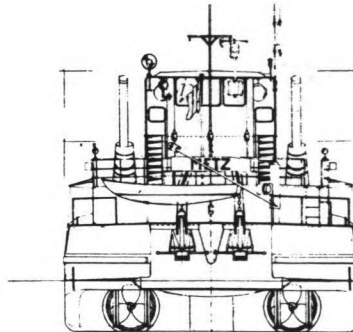
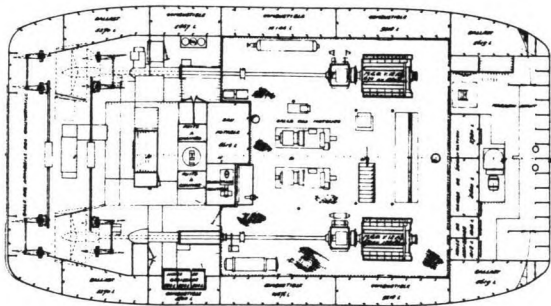


Abb. 4:
Schubboot
„Metz“

Hauptabmessungen	
L.ü.a.	19,00 -
B.ü.a.	10,27 -
B.a.Sp.	10,20 -
Seitenhöhe	2,60 -
Tiefgang	1,65 -



Figuur 46. Moezelduwboot "Metz"

15. TWEEBAKSDUWVAART IN HET BUITENLAND

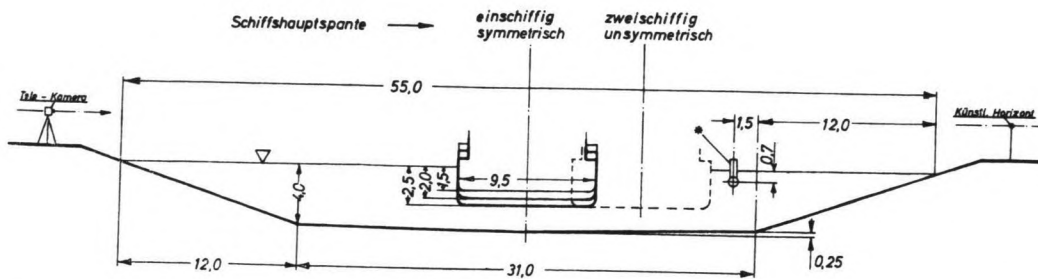
In het buitenland worden duweenheden al geruime tijd op kleinere rivieren en kanalen gebruikt. Zo vindt er onder andere duwvaart plaats op de Moezel, Main, Main-Donau kanaal, Wesel-Datteln kanaal en Dortmund-Ems kanaal (bijlage 15). Duwvaart dankt zijn succes hier aan het feit dat de grote duweenheden (4 of 6 baks) geladen de Rijn opvaren waarna zij worden ontkoppeld en de bakken worden geformeerd tot tweebaksduweenheden. Deze tweebaksduwstellen gaan vervolgens verder de zijrivieren en kanalen op naar de eindbestemming. Het betreft hier bijna altijd tweebaksduwvaart in de lange formatie.

Voor deze kleinere rivieren en kanalen worden ook speciale duwboten gebouwd. Zo heeft een Moezel duwboot als afmetingen: 19.0x10.3x1.7 m. (lxbxd) met een motorvermogen van 1600 pk. Ook komen er wel duwboten met een motorvermogen van ongeveer 1000 pk. voor (fig.46).

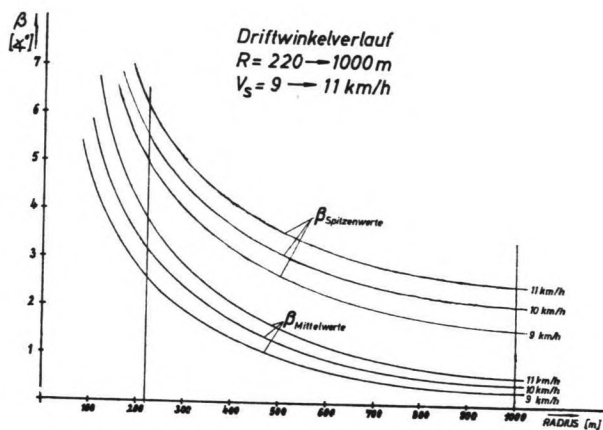
Vooraf in Duitsland is door Schäle vrij veel onderzoek verricht naar duwvaart op kleinere rivieren en kanalen. Het betrof hier dan vaak tweebaksduwvaart op klasse IV vaarwegen. Er zijn zowel modelproeven als proeven op ware grootte uitgevoerd [23]. Dit laatste is vooral nodig indien tijds- en vertragingfactoren een rol spelen. Voor deze proeven is echter een kanaalprofiel nodig dat nog niet aangetast is door de scheepvaart zodat de maten van het natte profiel exact vast liggen. In Duitsland waren hiervoor enkele proefvakken aanwezig.

Zo vond Schäle [24] dat de versnellingen en vertragingen van de retourstroom bij een tweebaksduweenheid zelfs kleiner zijn dan bij het Europa schip. Dit wordt veroorzaakt door de gelijkmatiger verdeelde retourstroom bij de langere duweenheid. Het gevolg hiervan is dat een eventuele aantasting van de bodem bij een konventioneel vrachtschip groter is dan bij een tweebaksduweenheid. De spiegeldaling en de retourstroom zijn bij beide ongeveer even groot bij snelheden rond 8 km/h. De bodem van het kanaal (diepte 4.0 m.) werd tijdens de proeven niet aangetast door schepen (diepgang 2.5 m.). Het talud dient echter wel goed verankerd te worden (ook de voet van het talud). Uit de proeven bleek wel duidelijk dat hoe langer het schip, hoe kleiner het gevaar dat het kanaalprofiel bij scheepssnelheden rond 0.6 maal de stuwgolfsnelheid aangetast wordt. Bij een scheepssnelheid van 60% van de "stuwgolfsnelheid" gaat de dwarsgolf op het talud namelijk over van de stromende in de schietende toestand. Deze stuwgolfsnelheid wordt als volgt bepaald:

$$ch = \sqrt{g \frac{Ac}{Oc}} \quad (12)$$



Figuur 47. Eenheidsdoorsnede van het Main-Donau kanaal



Figuur 48. Verloop van de drifthoek als functie van de bochtstraal

Tabel 16. Metingen tijdens de vaart met duweenheden op de Main

plaats kmp	Vs' [km/h]	β max [°]	R [m]	B [m]	B=bergvaart T=dalvaart
58.1-58.6	3.98	-16.0	230	43	B geladen
132.3-133.0	8.40	2.4	450	32	B geladen
139.8-140.5	6.20	4.1	220	33	B geladen
249.2-248.1	11.01	-3.2	440	29	T leeg
163.0-161.8	14.20	7.5	360	45	T leeg
142.4-141.3	13.70	5.5	420	37	T leeg
74.1-73.2	14.02	7.2	520	41	T leeg

Er werd binnen de betonning gevaren, het natte profiel was groter (rivier).

waarin:

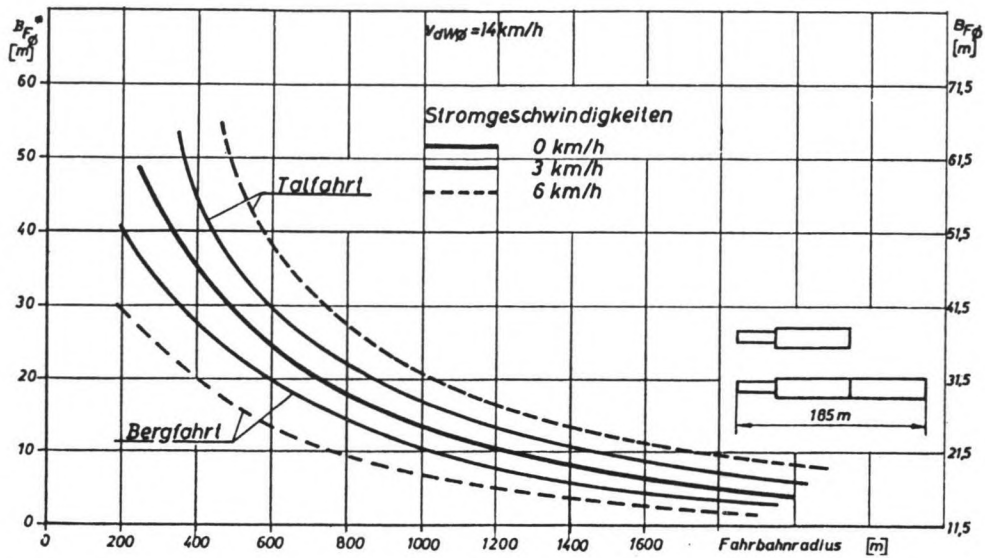
ch = snelheid van de stuwgolf [m/s]
 g = versnelling van de zwaartekracht [m/s**2]
 Ac = natte oppervlak van het kanaal [m**2]
 Oc = natte omtrek van het kanaal [m]

Tijdens de proeven [21] op het Main-Donau kanaal (fig.47) bleek dat twee tweebaksduweenheden elkaar zonder gevaar konden inhalen en ontmoeten op het rechte eind. Het inhalen in bochten dient echter vermeden te worden. Tijdens het inhalen bleek een snelheidsverschil van 30% à 40% noodzakelijk te zijn om de manoeuvre goed uit te kunnen voeren. Het passeren in bochten leverde tegen alle verwachtingen in ook geen problemen op. Bij alle manoeuvres bleek maximaal 30% van de roer- en stuwkracht nodig geweest te zijn. Dit alles gebeurde op een kanaal waarvan de afmetingen grote overeenkomst vertonen met het Prinses Margrietkanaal (bijlage 3). De afmetingen van de duweenheid bedroegen hier 159.0x9.5 m. (de baklengte bedroeg 70.0 m.). Bij bochten met een bochtstraal groter dan $R = 1000$ m. bleken op het Main-Donau kanaal geen verbredingen noodzakelijk te zijn (fig.48).

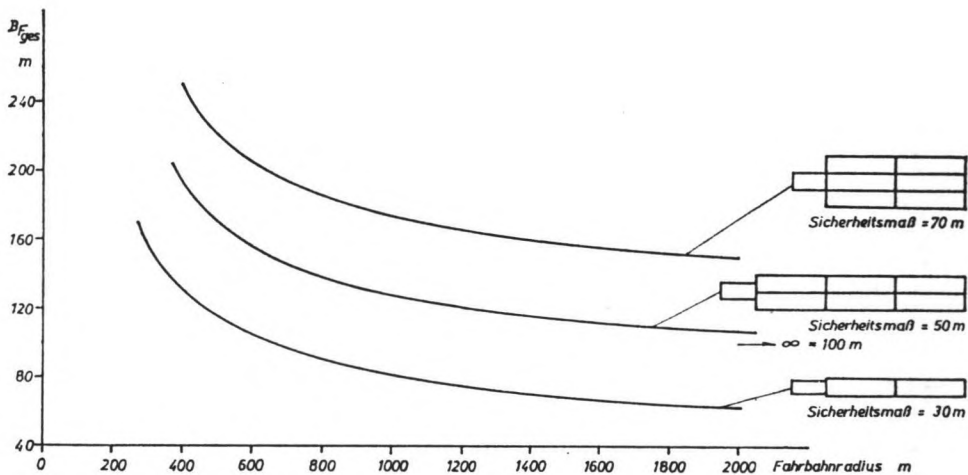
Het blijkt dat een tweebaksduweenheid in de gestrekte formatie een zeer goede koersvastheid bezit [20]. Indien de oever echter een onregelmatige contour vertoont dan volgt het duwstel ook een onregelmatige baan door de bocht. Dit wordt veroorzaakt doordat de roerganger zich door middel van visuele waarnemingen oriënteert op de oever. Door een goede markering van de oever kan het schip met een regelmatige koers de bocht doorlopen. Voor duweenheden is hiervoor een dichtere markering nodig dan voor konventionele binnenvaartschepen. Voor het 's nachts varen met duweenheden zijn eveneens extra voorzieningen nodig. Verder dient er een marifoonkanaal beschikbaar te zijn waarop de schippers met elkaar kunnen communiceren (Binnenvaart Politie Reglement, artikel 4a 01 lid 5).

Tweebaksduwstellen hebben op de Main tijdens tests [20] bewezen ook in smalle bochten goed te kunnen manoeuvreren (tabel 16). Er werd hier binnen een betoning gevaren, het natte profiel was groter. Tijdens deze tests waren er geen ontmoetingen met tegenliggers. De vaart op de Main is met ontmoetingen niet geschikt voor tweebaksduwvaart, éénbaksduwvaart kan hier wel zonder problemen varen.

Er kan door de lange tweebaksduweenheden nauwkeuriger in binnenbochten worden gevaren als er boegroeren worden gemonteerd [1]. Dit heeft tot gevolg dat er een kleinere vaarbaanbreedte benodigd is. Proeven hebben uitgewezen dat een damwand in de binnenbocht (Dortmund-Emskanaal) te prefereren is boven een dubbel trapeziumvormig profiel. De duweenheid kan dan namelijk met zijn boeg dicht tegen de binnenbocht aan varen en uitwaaiëren met het achterschip [22].



Figuur 49. Vaarbaanbreedte als functie van de bochtstraal



Figuur 50. Vaarbaanbreedte inclusief veiligheid als functie van de bochtstraal

Tabel 17. Benodigde vaarwegbreedte van twee elkaar ontmoetende duwstellen, inclusief veiligheid, in bochten met $V_s = 14$ km/h

Radius	B_{Fges} für Klasse IX	B_{Fges} für Klasse X	B_{Fges} für Klasse XI	B_{Fges} für breite Ströme
2500 m	60 m	102 m	125 m	147 m
2000 m	63 m	108 m	129 m	150 m
1800 m	65 m	110 m	131 m	153 m
1600 m	67 m	112 m	134 m	156 m
1400 m	70 m	116 m	138 m	160 m
1200 m	75 m	121 m	151 m	174 m
1000 m	82 m	128 m	151 m	174 m
900 m	86 m	132 m	156 m	178 m
800 m	91 m	139 m	162 m	186 m
700 m	97 m	146 m	170 m	195 m
600 m	105 m	157 m	181 m	205 m
500 m	116 m	171 m	196 m	222 m

Schäle heeft de benodigde vaarbaanbreedte, onder verschillende omstandigheden, in een aantal krommes weergegeven (fig.49). Vervolgens heeft hij in figuur 50 de totale benodigde vaarwegbreedte weergegeven waarbij hij veiligheidsafstanden tussen de vaarstroken onderling en tussen de vaarstroken en de oever in rekening heeft gebracht. Hetzelfde wordt in iets andere vorm gepresenteerd in tabel 17.

Op de rivier de Moezel is tweebaksduwvaart al jaren een normaal verschijnsel [15]. De Moezel is ongeveer 25 jaar geleden geschikt gemaakt voor tweebaksduwvaart. Over deze rivier vindt veel vervoer plaats tussen Duitsland en Frankrijk. De maximaal toelaatbare afmetingen van schepen op deze rivier luiden als volgt:

- binnenvaartschepen : 110.0 x 11.4 x 2.5 m.
- duweenheden : 172.0 x 11.4 x 2.5 m.

Dit betekent voor de duwstellen een laadvermogen van maximaal 3300 ton verdeeld over twee bakken.

De Moezel bezit een vaargeuldiepte van minstens 2.7 m. en is reeds jaren geleden gekanaliseerd. De Moezel bezit op de rechte vaarwegvakken een vaargeulbreedte van minimaal 40.0 m. tussen de betonning. In de bochten zijn tijdens de verbeteringen ten behoeve van de duwvaart, verbredingen toegepast opdat binnenvaartschepen en duwkonvoeien elkaar hier zonder gevaar kunnen ontmoeten en oplopen. Ondanks de sterk meanderende Moezel werd er bij de toenmalige rivierwerken naar gestreefd, de bochtstralen groter te houden dan 500 m. Slechts in enkele gevallen moest van deze richtlijn worden afgeweken. De bocht met de kleinste straal is de Bremmer *met* x Bogen met een straal van 350 m. Bij deze bocht werd de toe te passen bochtverbreding gesteld op:

$$B_v = \frac{l^2}{2R} \quad (13)$$

waarin:

- B_v = bochtverbreding [m]
- l = scheepslengte [m]
- R = bochtstraal [m]

waarbij destijds voor $l = 165$ m. werd genomen, hetgeen niet helemaal juist is geweest aangezien de huidige duwstellen een iets grotere lengte bezitten (172 m.). Zo kwam men bij de Bremmer Bogen tot een vaargeulbreedte van:

$$B = 40 + \frac{165^2}{2 \times 350} = 78.5 \text{ m.}$$

Een ontmoetingsverbod is er niet op de Moezel. Om toch een ontmoeting in de Bremmer Bogen te vermijden, aangezien dit een iets verhoogd risico met zich mee zou brengen, vindt er overleg plaats via de marifoon met de iets bovenstrooms liggende sluis te St.Alegond.

De schrijver van dit onderzoek heeft zelf enige kennis van zaken betreffende duwvaart op mogen doen tijdens een reis

met een tweebaksduwstel gedurende een reis van Koblenz (Duitsland) naar Thionville (Frankrijk) (bijlage 15). Het traject voerde over de Moezel. De reis werd meegemaakt aan boord van de duwboot "Besançon" van 1350 pk. van de franse rederij C.F.N.R. (deze duwboot is identiek met de "Metz" van figuur 46), die was voorzien van twee Europa duwbakken met afmetingen van 76.5 x 11.4 m. De totale lengte van het konvooi bedroeg 172 m. De bakken waren open en elk voorzien van 1500 ton lading zodat tijdens deze reis 3000 ton werd vervoerd. De diepgang bedroeg 2.5 m.

Deze duwstelen varen zonder problemen in een continue dienst tussen Koblenz en Thionville. Binnenkort wordt ook begonnen met de tweebaksduwvaart op de rivier de Saar. Er wordt op de Moezel zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts met volle bakken gevaren. Dit wordt, afgezien van het financiële aspekt, gedaan omdat het duwstel met geladen bakken veel minder zijwindgevoelig is dan met lege bakken. Met lege bakken is de vaart alleen mogelijk indien een bak voorzien is van een boegschroef of boegroer. Tijdens de reis worden probleemloos 15 sluizen met afmetingen van 175.0 x 12.0 m. gepasseerd. De duwstelen varen in continue dienst met een dubbele bemanning die na zeven dagen weer wordt afgelost door een nieuwe bemanning (per reis zijn er 2 kapiteins, 2 machinisten, 2 matrozen en een kok aan boord). Dit betekent dat er vier bemanningen per duwboot nodig zijn om continu te kunnen varen.

Tijdens de vaart wordt er ver van te voren via de marifoon contact opgenomen met een sluiswachter (kanaal 20) om te melden dat men in aantocht is en om te horen of de sluis vrij is of niet. Tevens wordt zo informatie verkregen over tegenliggers die de sluis zojuist hebben verlaten. Op de tweede marifoon, die op het uitluister kanaal 10 staat, wordt elke keer voor een bocht gemeld dat het duwstel in aantocht is. Dit systeem wordt 's nachts ook toegepast. Echter als het donker is dan vaart men voornamelijk op radar. Opmerkelijk hierbij is dat de variabele ring van de radar slechts op twee maal de scheepslengte wordt ingesteld, omdat de gewenste grotere lengte (Breedveld: 61) bijna nergens aanwezig is.

De gemiddelde snelheid ligt stroomopwaarts rond de 8 km/h. De in het traject aanwezige sluizen worden allemaal zonder problemen gepasseerd. Bij het binnen varen van de sluis staat er een matroos op de kop van de voorste duwbak, waar hij via de intercom de positie van de boeg doorgeeft aan de kapitein, die 160 m. verder in de stuurhut staat. Dit systeem werkt feilloos en dat terwijl de sluis maar 0.60 m. breder is dan de duweenheid (denk hierbij ook aan de ruim 170 m. lengte van het duwstel).

Tijdens de reis werden ook vele bruggen gepasseerd. De brug met de kleinste doorvaart breedte bevindt zich bij Trier. Deze vaste brug, genaamd de Römer Brücke, is een zeer oude

gemetselde boogbrug uit de tijd van de Romeinen. Onder de brug heeft de scheepvaart in de opvaart slechts de beschikking over een opening met een doorvaart breedte van 14.50 m. In de afvaart bedraagt de doorvaart breedte echter slechts 13.50 m. (!!!) desondanks worden deze doorvaart openingen, die niet zijn voorzien van geleide werken, probleemloos genomen door de duwstellen.

De vaargeul is meestal aangegeven door middel van betoning. Stroomopwaarts wordt de vaargeul steeds smaller.

Uit gesprekken met de kapiteins werd duidelijk dat het varen met lege bakken geen kleinigheid is. Vooral bij tweebaksduwvaart (en dan met name bij bakken zonder bovenbedekking) is de zijwindgevoeligheid zeer groot. Indien de bakken niet beschikken over een boegroer of boegschroef dan kost het besturen van een leeg duwstel bij enige zijwind veel van het zenuwgestel van de stuurman. Boven windkracht 3 treden dan al problemen op. Boegroeren brengen hierin al een verbetering maar hebben als nadeel dat er eerst snelheid gemaakt moet worden voordat deze roeren effectief zijn. Een 360° draaibare boegschroef vormt in de ogen van de kapiteins van de Besançon de meest ideale oplossing. Hiervoor worden vaak waterstraal aandrijvingen toegepast. Bij veel stroom tegen heeft deze oplossing nog het voordeel dat de boegschroef ook mee kan helpen bij de voortstuwing van het duwstel. Verder is het aansturen van een brug of sluis tijdens zijwind nu veel eenvoudiger geworden. Er blijven echter grenzen. Het wordt al moeilijk om bij windkracht 6 een leeg duwstel met boegschroef in bedwang te houden tijdens het manoeuvreren. Boven deze windsterkte is de vaart met lege duwstellen dan ook uitgesloten volgens de kapiteins van de Besançon.

Een tweede verbetering wordt nog verkregen door de bakken te voorzien van een bovenbedekking zodat de wind minder vat kan krijgen op de duwbakken.

16. KONKLUSIES

Voordat het Prinses Margrietkanaal als klasse V kanaal kan worden gekenmerkt zullen er nog een aantal aanpassingen plaats moeten vinden. Zo zullen er een drietal bochten aangepast dienen te worden, namelijk ter plaatse van k.m.p. 48.0, 49.2 en 83.7. Ook zal het kanaal iets verder verdiept dienen te worden.

Als het kanaal in de toekomst ook door duwvaart gebruikt gaat worden dan zullen er eveneens een aantal aanpassingen plaats dienen te vinden. Ook in dit geval zullen bovengenoemde drie bochten aangepast dienen te worden. Het is daarom raadzaam om bij de uitbreiding tot "klasse V bocht" alvast de eisen voor duwvaart mee te nemen. Zo kunnen deze bochten met geringe extra kosten voor duwvaart gereed gemaakt worden. Het kanaal zal bovendien nog iets verder moeten worden verdiept.

Verder zijn er een groot aantal bochten in het Prinses Margrietkanaal die in het kader van de opwaardering tot duwvaartkanaal, van een bochtverbreding moeten worden voorzien. Tenslotte dient ook voor het bruggenknooppunt bij Grouw een oplossing gevonden te worden aangezien dit vooral in de zomermaanden, in combinatie met de drukke pleziervaart, een groot obstakel vormt.

Er kan na dit onderzoek slechts gekonkludeerd worden dat het Prinses Margrietkanaal ongeschikt is als kanaal met daarop hoofdzakelijk duwvaart tenzij er een aantal aanpassingen aan het kanaal worden uitgevoerd. Deze aanpassingen vergen echter een vrij groot financieel offer. Het is daarbij nog maar de vraag of er genoeg afnemers zijn om duwvaart rendabel te maken.

Indien de situatie in het buitenland wordt bekeken dan blijkt dat men daar wel op soortgelijke kanalen en rivieren (Moezel) vaart. Het grote verschil tussen de situatie in het buitenland en op het Prinses Margrietkanaal wordt echter veroorzaakt door de pleziervaart die in het buitenland bijna niet aanwezig is. Incidentele duwvaart buiten het drukke toeristen seizoen om moet echter wel mogelijk zijn. Als er goed marifoon contact kan worden gehouden dan levert dit slechts in enkele gevallen een geringe vertraging op.

Het aantrekkelijker maken van (nieuwe?) alternatieve routes voor de pleziervaart kan er voor zorgen dat ook in de zomermaanden de drukke pleziervaart iets afneemt zodat dan ook incidentele duwvaart mogelijk is.

Het verdient tenslotte aanbeveling om voordat duwvaart toegestaan wordt, eerst met zowel volle- als lege bakken, een proefvaart te maken op het te varen traject zodat de haalbaarheid en de knelpunten ook in de praktijk duidelijk naar voren komen.

17. LITERATUUR

- [1] Binek, H. en Müller, E.
Das Fahrverhalten eines Schubverbandes in den Krümmungen westdeutscher Kanäle
Binnenschifffahrt und Wasserstrassen, p 252-257, no 6, 1979.
- [2] Bouwmeester, J.
Binnenscheepvaart en scheepvaartwegen
Kollegediktaat f12N
TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek, vakgroep Waterbouwkunde, januari 1987.
- [3] C.V.B.
Dimensionering van bochten en nevenaspecten
Deelrapport IV van de werkgroep vaarwegvakken,
R.W.S. dienst verkeerskunde, hoofdafdeling scheepvaart,
Dordrecht, februari 1986.
- [4] C.V.B.
Normen voor het dwarsprofiel van rechte vaarwegvakken van de klasse I...IV
Deelrapport III van de werkgroep vaarwegvakken,
R.W.S. dienst verkeerskunde, hoofdafdeling scheepvaart,
Dordrecht, mei 1982.
- [5] C.V.B.
Richtlijnen voor de afmetingen en vormgeving van vaste en beweegbare bruggen over vaarwegen van de C.E.M.T.-klassen I t/m IV
R.W.S. dienst verkeerskunde, hoofdafdeling scheepvaart,
Dordrecht, maart 1985.
- [6] C.V.B., N.I.R.I.A., K.I.V.I.
Proceeding symposium richtlijnen voor vaarwegen en kunstwerken
5 november 1986.
- [7] Felkel, K. en Steinweller, H.
Naturmessungen und Modellversuche über das Einfahren eines Schubverbandes in eine 12 m breite Schleuse und über das Ausfahren
Binnenschifffahrt und Wasserstrassen, p 294-300, no 6, 1977.
- [8] Grollius, W.
Reaktionen des Schiffes auf Maschinenmanöver bei begrenzter Wassertiefe
Schiff und Hafen, 26. Jahrgang, Heft 7, 1974.

- [9] K.I.V.I., N.I.N.
Symposium zesbaksduwvaart
 Afdeling Verkeerskunde en Vervoerstechniek, in samenwerking met het Nederlands Instituut voor Navigatie, 8 december 1987.
- [10] K.N.M.I.
Jaarboek A
 Meteorologie 1976, 128^e jaargang, de Bilt, 1978.
- [11] K.N.M.I.
Klimaatatlas van Nederland
 Staatsuitgeverij, 's Gravenhage, 1972.
- [12] Kooiman, J.P.
Tweebaksduwvaart op het Julianakanaal
 Afstudeerskriptie
 TH Delft, afdeling Civiele Techniek, vakgroep waterbouwkunde, 1980.
- [13] Krietemeyer, J.H.
Binnenscheepvaart
 Kollegediktaat s3
 TH Delft, afdeling Maritieme Techniek, 1974.
- [14] Leijnse, C.
Modelonderzoek naar de windbelasting op een duwvaart combinatie
 Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium,
 NLR TR 76144 L, november 1976.
- [15] Linde, A.A. $\frac{1}{d}$.
Onderzoek naar de mogelijkheden van tweebaksduwvaart op de Gelderse IJssel; de bocht bij Gorssel
 Afstudeerskriptie
 TH Delft, afdeling Civiele Techniek, vakgroep waterbouwkunde, december 1984.
- [16] Provinciale Waterstaat van Friesland
Scheepvaartregistratie op de vaarwegen in Friesland 1983/'84
 Leeuwarden, september 1985.
- [17] Provincie Friesland
Scheepvaartbeweging beroepsvaart Prinses Margrietsluis 1985/'86
 Leeuwarden, 1987.
- [18] Rijkswaterstaat van Friesland
Studie kruising rijksweg 32 spoorlijn (Leeuwarden-Meppel) met het Prinses Margrietkanaal nabij Grouw
 Hoofdrapport en bijlagen
 Leeuwarden, 28 maart 1986.

- [19] Schäle, E.
Begegnen und Überholen von Schubverbänden im neuen Main-Donau-Kanal sowie Tal- und Bergfahrten auf dem Main
 Binnenschifffahrt und Wasserstrassen, p 158-179, no 5, 1969.
- [20] Schäle, E.
Einige Studien über das Verhalten von Schubverbänden auf dem Main im Berg- und Talverkehr
 Schiff und Hafen, p 463-470, 20. Jahrgang, Heft 7, 1968.
- [21] Schäle, E.
Manövrierversuche auf gerader und gekrümmter Strecke des neuen Main-Donau-kanals, ausgeführt mit dem Schiffstyp "Johann Welker" und mehreren Schubverbänden in den Haltungen Bamberg und Strullendorf
 Schiff und Hafen, p 391-398, 20. Jahrgang, Heft 6, 1968.
- [22] Schäle, E.
Naturgrosse, experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der notwendigen Fahrwasserbreite in Krümmungen strömender Gewässer
 Schiff und Hafen, p 737-742, 26. Jahrgang, Heft 8, 1974.
- [23] Schäle, E.
Propulsionsversuche in einem Stillwasserkanal trapezförmigen Querschnitts
 Schiff und Hafen, p 223-230, 20. Jahrgang, Heft 4, 1968.
- [24] Schäle, E.
Strömungsmessungen in einem Stillwasserkanal trapezförmigen Querschnitts
 Schiff und Hafen, p 358-366, 20. Jahrgang, Heft 5, 1968.
- [25] Schäle, E.
Verhalten von Schubverbänden in Stromkrümmungen
 Binnenschifffahrt und Wasserstrassen, p 252-257, no 7, 1971.
- [26] Schuttevaer
Jaarverslag 1987
 Verslag van de 138^e algemene ledenvergadering 14 en 15 mei 1987 in Zwolle,
 Rotterdam, 1987.
- [27] Schuttevaer
Duw- en sleepvaart
 Themanummer van het weekblad Schuttevaer, nummer 20,
 13 oktober 1984.
- [28] Slooten, F.J.IJ. van en Wiersma, A.P.
Kanalen van Friesland
 Afstudeerskriptie
 TH Delft, afdeling Civiele Techniek, vakgroep
 waterbouwkunde, maart 1977.

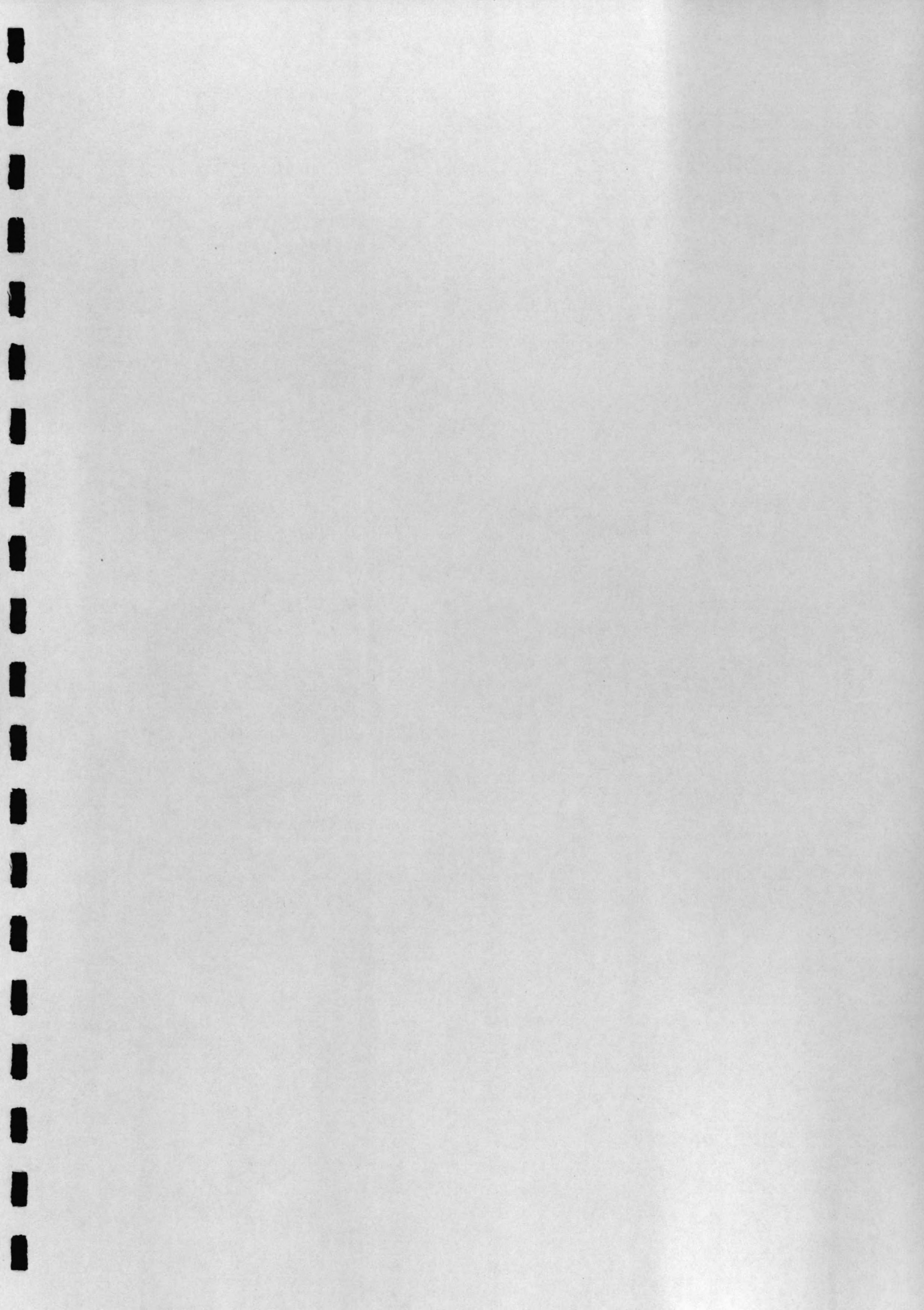
- [29] Tweede Kamer
Vaarwegennota
Zitting 1980 - 1981, 16641 nrs. 1-2.
- [30] Verdenius, J.R.
Perspektieven voor de binnenscheepvaart
Intermediair 21^e jaargang, no 19, 10 mei 1985.
- [31] Waterloopkundig Laboratorium Delft
Duwvaart in kanalen
Deel I t/m XII, M 782, 1966.

18. GEBRUIKTE SYMBOLEN

Symbool	Eenheid	Omschrijving
Ac	m**2	oppervlak van het ongestoorde kanaal-profiel
Al	m**2	zijdelingse oppervlak scheepsromp boven water
As	m**2	oppervlak van het ondergedompelde deel van het grootspant van het schip = bxd
Aw	m**2	zijdelingse oppervlak scheepsromp onder water
b	m	breedte van het beroepsschip
bp	m	breedte van het pleziervaartuig
bV	m	breedte van het klasse V schip
b2	m	breedte van de tweebaksduweenheid
B	m	vaargeulbreedte op de waterspiegel (tussen de betonning)
Bd	m	kanaalbreedte op kielvlakhoogte
Bm	m	momentane breedte beslag door een schip
Bm'	m	momentane breedte beslag door een schip exclusief de eigen scheepsbreedte = Bm-b
Bo	m	waterspiegelbreedte van het ongestoorde kanaal
Bs	m	vaarstrookbreedte
Bv	m	bochtverbreding
Bw	m	zijwindtoeslag
ch	m/s	snelheid van de stuwgolf
C	-	weerstandskoefficient
d	m	diepgang stilliggend schip
dm	m	maatgevende diepgang stilliggend schip
dmax	m	maximaal toelaatbare diepgang

symbool	eenheid	omschrijving
dr	m	diepgang ter plaatse van het roer
Fh	N	zijdelingse hydraustatische kracht
Fs	N	schroefkracht
F1	N	weerstandskracht ter plaatse van doorsnede 1
F2	N	weerstandskracht ter plaatse van doorsnede 2
g	m/s**2	versnelling van de zwaartekracht
h	m	vaarwegdiepte
\bar{h}	m	gemiddelde vaarwegdiepte = Ac/Bo
ho	m	waterdiepte van het ongestoorde kanaal
H	m	hoogte van een schip boven de waterlijn
Hbr	m	doorvaarthoogte van een brug
k	-	blokkagefaktor = Ac/As
K1	N	windkracht op een duwbak
Kw	N	dwarskracht door het water op een duwbak
l	m	lengte van het beroepsschip
lp	m	lengte van het pleziervaartuig
Mh	Nm	moment ten gevolge van de zijdelingse hydraustatische kracht
Mr	Nm	moment ten gevolge van de roerkrachten
Mw	Nm	moment ten gevolge van de windkrachten
Mz	Nm	giermoment om de Z-as (=vertikale as)
Oc	m	omtrek van het ongestoorde kanaalprofiel
Q	m**3/s	debiet
R	m	boogstraal
Rh	N	resultante van de horizontale krachten

symbool	eenheid	omschrijving
Rr	N	resultante van de roerkrachten
U	m/s	maximale retourstroomsnelheid ten opzichte van de oever
Ugr	m/s	grens-retourstroomsnelheid
V	m/s	snelheid
Vgr	m/s	grenssnelheid
Vs	m/s	scheepssnelheid ten opzichte van de oever
Vs'	km/h	scheepssnelheid ten opzichte van de oever
Vw	m/s	stroomsnelheid van het water
W	m/s	windsnelheid
W_{\perp}	m/s	komponent van de windsnelheid loodrecht op de kanaaloever
y	m	y-koordinaat vanuit de as van de vaarweg
z	m	spiegeldaling
α	°	roerhoek
β	°	drifthoek
$\bar{\beta}$	°	gemiddelde drifthoek
γ	°	tangenthoek
φ	°	windrichting ten opzichte van het schip
ρ_l	kg/m**3	dichtheid lucht
ρ_w	kg/m**3	dichtheid water

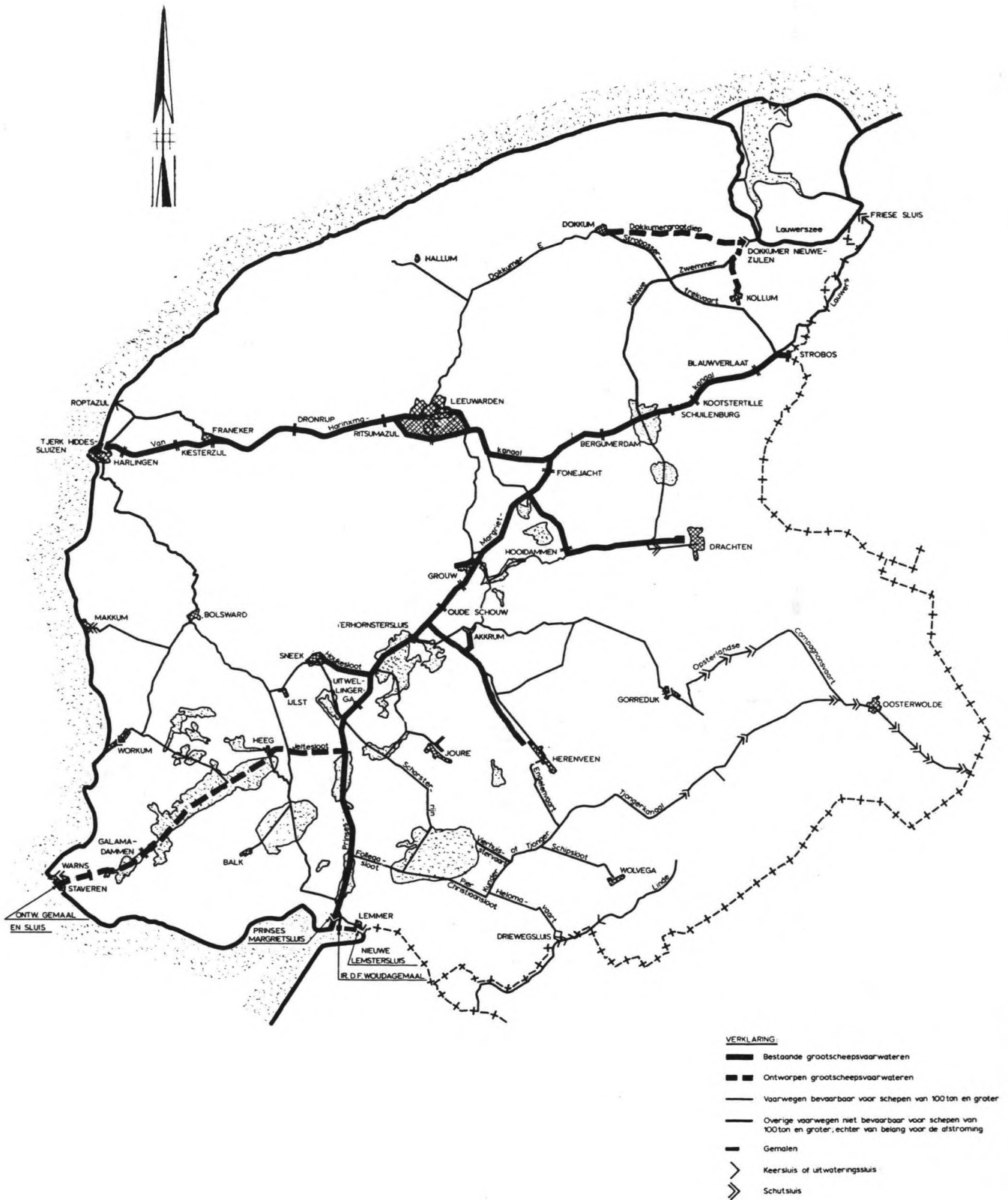


BIJLAGEN

1. Vaarwegen in Friesland
2. Basisgegevens van het Prinses Margrietkanaal
3. Huidige minimum en maximum dwarsprofiel
4. Verband tussen β en W_L/Vs voor ongeladen schepen
5. Zijwindtoeslagen voor tweebaksduweenheden bij verschillende windsnelheden, berekend met verschillende methoden
6. Alternatief I voor een klasse V kanaal
7. Alternatief II voor een klasse V kanaal
8. Alternatief III voor een klasse V kanaal
9. Alternatief IV voor een klasse V kanaal
10. Verdeling beroepsvaart in laadvermogenklassen
11. Alternatief V voor een duwvaart kanaal
12. Alternatief VI voor een duwvaart kanaal
13. Alternatief VII voor een klasse V kanaal dat ook geschikt is voor duwvaart
14. Bepaling van de vaarbaanbreedte van duweenheden in bochten
15. Vaarwegen in West-Europa
16. Frekwenties van windrichtingen en gemiddelde snelheid per maand en per jaar, I
17. Frekwenties van windrichtingen en gemiddelde snelheid per maand en per jaar, II
18. Behandeling open blijven alternatieve vaarroute op jaarvergadering van Schuttevaer
19. Uitgevaardigde bepalingen voor de beroepsvaart op het Prinses Margrietkanaal
20. Klasse-indeling pleziervaart
21. Alternatief VIII voor een kanaal dat geschikt is voor klasse V schepen, duwvaart en pleziervaart

22. Alternatief IX voor een kanaal dat geschikt is voor klasse V schepen, duwvaart en pleziervaart
23. Inzinking bij een varend schip
24. Kunstwerken van het Prinses Margrietkanaal

Vaarwegen in Friesland



Bijlage 2.

Basisgegevens van het Prinses Margrietkanaal

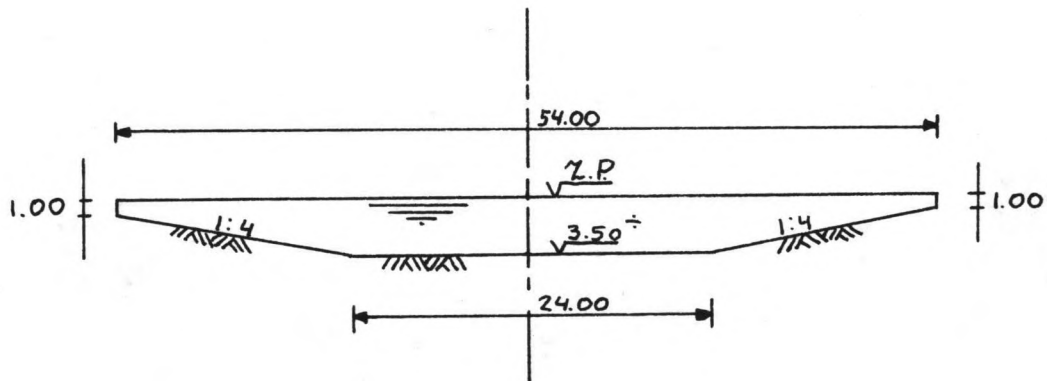
plaats	kanaal breedte [m]	bocht- straal [m]	richting van de bocht	lengte rechtstand	
				voor de bocht [m]	na de bocht [m]
kmp 27.4					
kmp 27.5	54	1000	N	-	-
kmp 27.9	54	1000	Z	-	1000
kmp 30.0	54	1500	N	1000	1000
kmp 30.4					
kmp 31.3	54	2000	N	1000	> 1000
kmp 33.2	54	2000	N	> 1000	500
kmp 34.0	54	1000	Z	500	300
kmp 35.1	54	1000	Z	300	300
kmp 35.8	54	1000	N	300	400
kmp 36.3					
kmp 36.5	54	1000	N	400	> 1000
kmp 38.4					
kmp 38.4	60	3000	N	> 1000	550
kmp 39.3	70	1000	Z	550	> 1000
kmp 42.0	54	1000	Z	> 1000	475
kmp 42.8	52	1000	N	475	225
kmp 43.4	60	1000	N	225	550
kmp 44.0					
kmp 44.2	54	1000	N	550	100
kmp 44.5	60	1000	Z	100	> 1000
kmp 46.5	54	2000	Z	> 1000	700
kmp 47.3	60	2000	Z	700	130
kmp 48.3					
kmp 48.0	54	750	Z	130	600
kmp 49.0					
kmp 49.2	60	750	N	600	> 1000
kmp 50.6	60	1500	N	> 1000	900
kmp 51.7					
kmp 52.1	64	2500	N	900	400
kmp 52.8	60	1000	Z	400	1000
kmp 54.5	54	2500	Z	1000	400
kmp 55.5	60	1000	N	400	400
kmp 56.8	54	2500	Z	400	-
kmp 59.0	54	1500	N	-	1000
kmp 60.5	54	1000	N	1000	600
kmp 61.2					
kmp 61.6	54	1500	Z	600	> 1000
kmp 63.3					
kmp 63.6	54	2500	N	> 1000	400
kmp 64.2	60	5000	N	400	> 1000
kmp 65.9	76	2500	N	> 1000	> 1000
kmp 66.9					
ton 83/86	70	1000	Z	> 1000	900
kmp 71.0					
ton 73/76	70	2000	Z	900	600
kmp 72.0	56	1000	N	600	> 1000
kmp 72.6					
kmp 74.0	70	1500	Z	> 1000	> 1000
kmp 75.4	58	1000	Z	> 1000	300
kmp 76.6	54	2000	N	300	700
kmp 77.7					
kmp 77.8	60	3000	N	700	> 1000
ton 37/38	70	1000	Z	> 1000	> 1000
kmp 83.7	60	500	N	> 1000	> 1000
kmp 84.0					
kmp 85.7	70	2000	N	> 1000	> 1000
kmp 90.9					

Bijlage 3.

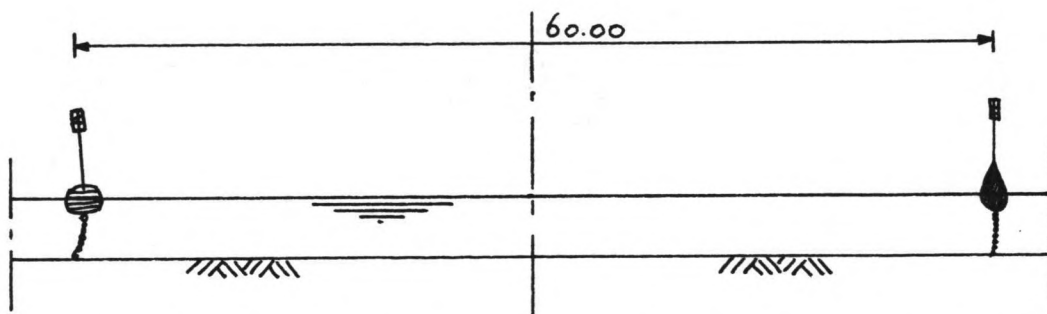
Huidige minimum en maximum dwarsprofiel

Minimum kanaalbreedte : 50.0 m.
Maximum kanaalbreedte : 160.0 m.
Gemiddelde kanaalbreedte : 54.0 m.
Onderhoudsdiepte : 3.5 m. ÷ Z.P.
Minimum bodembreedte : 26.0 m.
Maximum bodembreedte : 60.0 m.

De grootste geulbreedte komt voor op de meren.



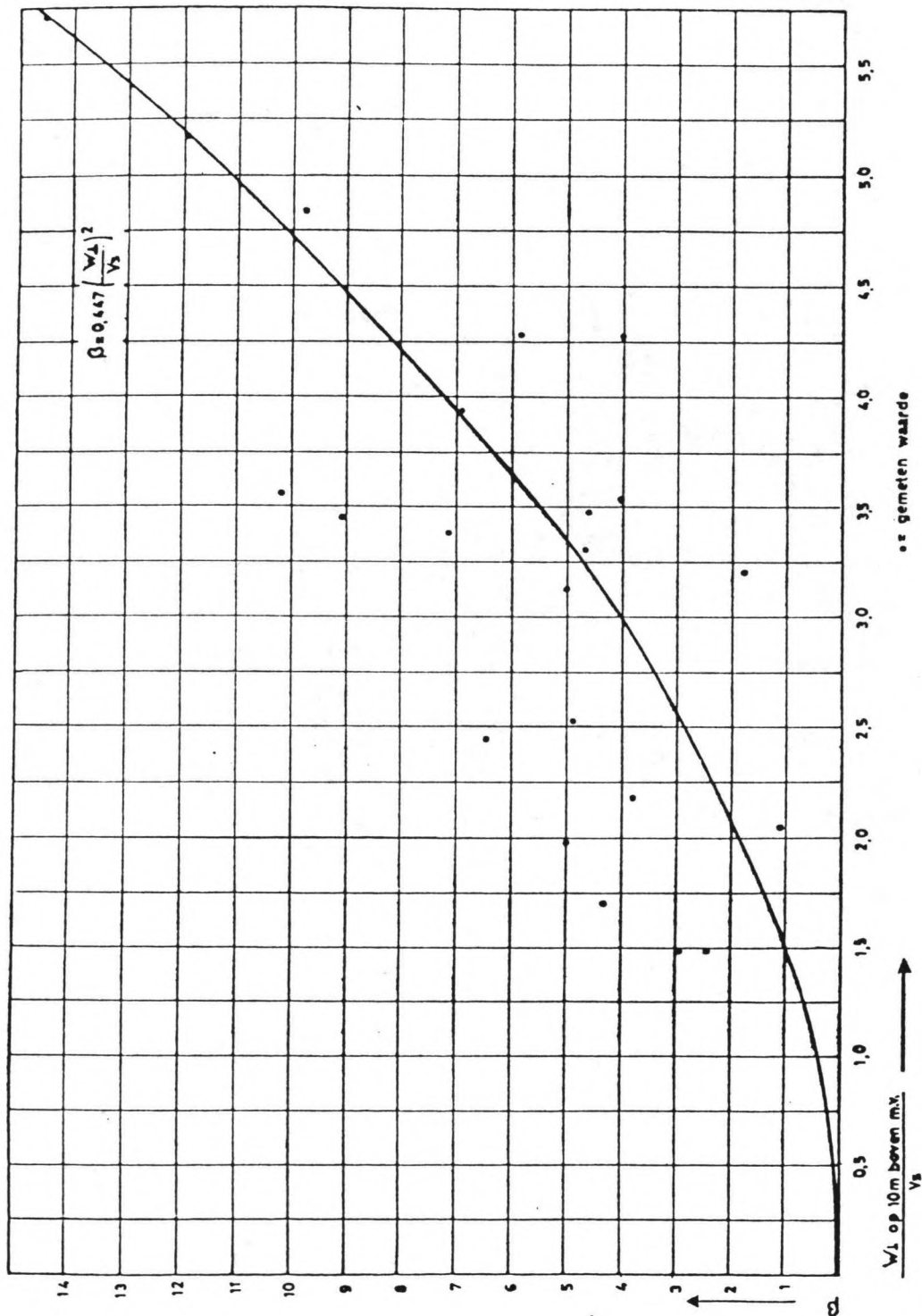
Globale benadering van het huidige (klasse IV) minimum dwarsprofiel.



Globale benadering van het huidige (klasse IV) maximum dwarsprofiel.

Bijlage 4.

Verband tussen β en W_L/V_s voor ongeladen schepen



Rijkswaterstaat dienst Verkeerskunde
Hoofdafdeling Scheepvaart

Bijlage 5.

Zijwindtoeslagen voor tweebakduweenheden bij verschillende windsnelheden, berekend met verschillende methoden

windkracht [Beaufort]	bepaling drifthoek m.b.v. bijlage 4 [°]	bepaling drifthoek m.b.v. formule 7 [°]	zijwind toeslag Bw [m]
1	0.0	0.0	0.0
2	0.4	0.4	0.0
3	1.2	1.1	0.0
4	2.7	2.6	2.7
5	5.2	5.1	10.7
6	8.8	8.8	22.5
7	13.9	14.0	38.0
8	-	21.3	60.7
9	-	-	-
10	-	-	-
11	-	-	-
12	-	-	-

- maatgevende scheepsafmetingen : 185.0x11.4x2.8 m.
- maatgevende sloopssnelheid : 10 km/h = 2.78 m/s.
- Als maatgevende lengte is 185.0 m. aangenomen. In deze lengte zit ook de duwboot. De duwboot steekt met zijn stuurhut iets verder boven het wateroppervlak uit dan de ongeladen duwbakken. Echter de diepgang van de duwboot is veel groter dan die van de ongeladen duwbakken. Voor het rekengemak zullen deze invloeden echter worden verwaarloosd.

$$- Bw = l \cdot \sin \bar{\beta} + b \cdot \cos \bar{\beta} - 1.5 \cdot b$$

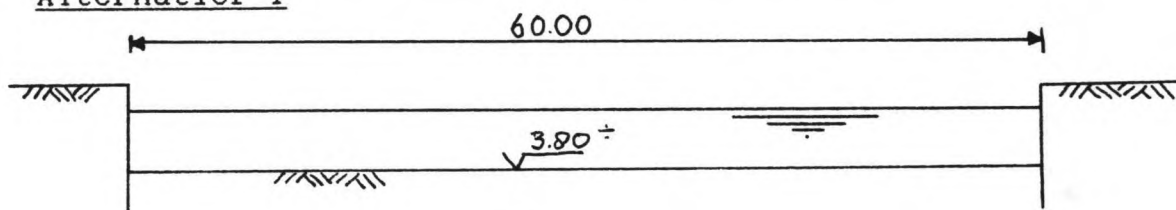
Bijlage 6.

Alternatief I voor een klasse V kanaal

		I	I a
vaarwegdiepte	1.4dm	3.80	
vaarstrookbreedte	1.4bV	16.10	
veiligheidsstrook tussen 2 schepen	0.4bV	4.60	
veiligheidsstrook oever-schip	0.6bV	6.90	
zijwindtoeslag	0.11	9.50	4.75
kanaalbreedte in geladen kielvlak		60.00	
kanaalbreedte ongel. kielvlak	4.4bV+0.11	60.00	
kanaalbreedte op de waterspiegel		60.00	50.00
vaarwegdwarsprofiel	Ac/As	7.34	7.00

maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]

Alternatief I



Dit bakprofiel neemt de minimale breedte voor het kanaal in beslag. In situaties waar zelfs deze breedte te groot is kan het dwarsprofiel nog iets verder worden verkleind door de volgende maatregelen:

- zijwindtoeslag 0.11 \rightarrow 0.051 = 4.75 m.
Dit is mogelijk door uit te gaan van de veronderstelling dat het kanaal niet breder kan ten gevolge van bebouwing, hierdoor is er meer beschutting aanwezig en dus minder zijwindtoeslag benodigd.
- veiligheidsstroken 0.4b \rightarrow 0.3b = 3.45 m.
0.6b \rightarrow 0.4b = 4.60 m.

De kanaalbreedte wordt nu: $3.9b + 0.051 = 49.60$ m.

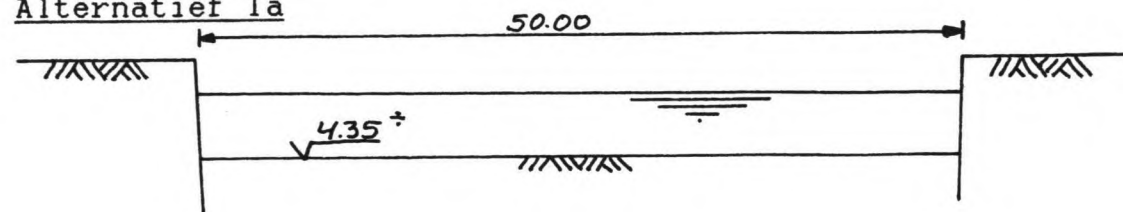
Neem hiervoor: 50.0 m.

\rightarrow $Ac/As = 6.12 < 7$ Het kanaal dient daarom ter plaatse van de versmalling te worden verdiept. De nieuwe diepte

wordt nu: $h_o = \frac{50}{7 \times As} = 4.35$ m.

Dit absolute minimum profiel kan zelfs geplaatst worden in het huidige minimum dwarsprofiel.

Alternatief Ia

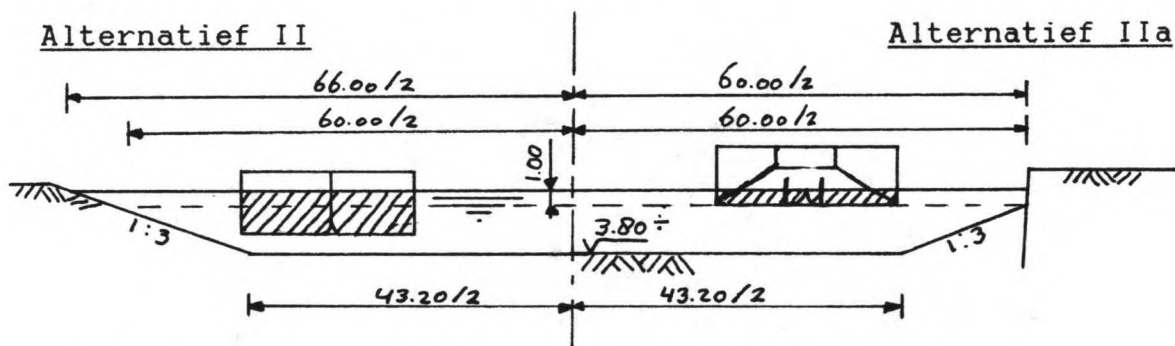


Bijlage 7.

Alternatief II voor een klasse V kanaal

		II	II a
vaarwegdiepte	1.4dm	3.80	
vaarstrookbreedte	1.4bV	16.10	
veiligheidsstrook tussen 2 schepen	0.4bV	4.60	
veiligheidsstrook oever-schip	0.6bV	6.90	
zijwindtoeslag	0.11	9.50	
kanaalbreedte in geladen kielvlak	4.4bV	50.50	
kanaalbreedte ongel. kielvlak	4.4bV+0.11	60.00	
kanaalbreedte op de waterspiegel		66.00	60.00
vaarwegdwarsprofiel	Ac/As	6.68	6.32

maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]



Bij alternatief II is gekozen voor een trapeziumvormig profiel. Bij alternatief IIa is ten behoeve van een geringere ruimte beslag (geringere breedte dus ook minder onteigenen van grond) gekozen voor een gebroken profiel. Zoals uit bovenstaande tabel blijkt wordt in beide gevallen niet voldaan aan de eis dat de blokkagefactor ≥ 7 moet zijn. De remedie is ook in dit geval het profiel verder te verdiepen.

$$\text{Alternatief II : } h_o = \frac{7 \times A_s}{0.5 \times \{66.00 + 43.2 - (h_o - 3.80)\} \times 3}$$

neem $h_o = 4.10$ m. $\rightarrow k = A_c/A_s = 7.09$

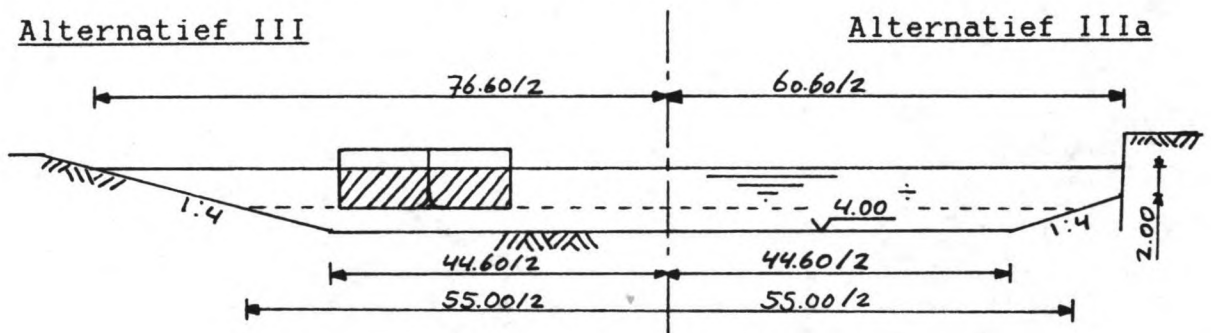
Alternatief IIa: neem $h_o = 4.40$ m. $\rightarrow k = A_c/A_s = 7.06$

Bijlage 8.

Alternatief III voor een klasse V kanaal

		III	III a
vaarwegdiepte	>1.4dm	4.00	
vaarstrookbreedte	1.4bV	16.10	
veiligheidsstrook tussen 2 schepen	0.4bV	4.60	
veiligheidsstrook oever-schip	0.6bV	6.90	
zijwindtoeslag	0.11	9.50	
kanaalbreedte in geladen kielvlak	>4.4bV	55.00	
kanaalbreedte ongel.kielvlak	>4.4bV+0.11	68.60	60.60
kanaalbreedte op de waterspiegel		76.60	60.60
vaarwegdwarsprofiel	Ac/As	7.81	7.29

maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]



Bij alternatief II bleek dat het profiel verdiept diende te worden om aan de eisen van het vaarwegdwarsprofiel te kunnen voldoen. Daarom is bij alternatief III reeds van een grotere vaarwegdiepte uitgegaan. De gekozen diepte is echter kleiner dan bij alternatief II. Om toch aan de eisen voor het vaarwegdwarsprofiel te voldoen wordt de breedte van het kanaalprofiel groter genomen dan de vereiste minimum breedte.

Bij alternatief IIIa is de diepte bij de oever vergroot ten opzichte van alternatief IIIa zodat diepe stekende zeiljachten in geval van nood aan de oever af kunnen meren.

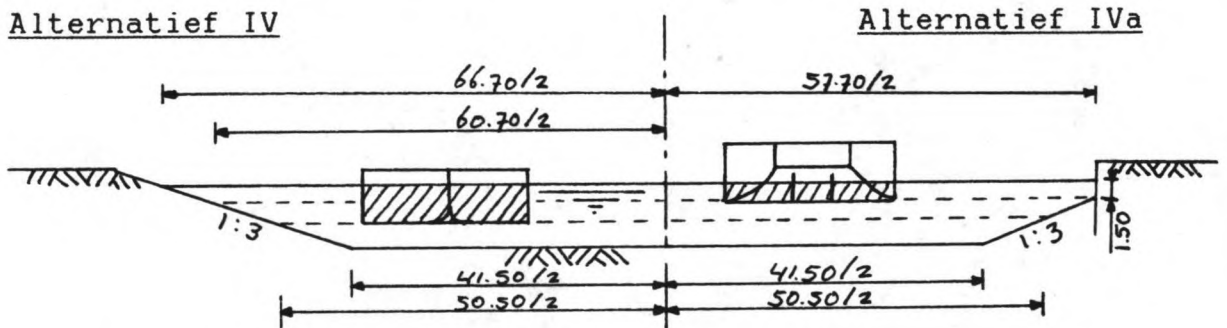
X

Bijlage 9.

Alternatief IV voor een klasse V kanaal

		IV	IV a
vaarwegdiepte	>1.4dm	4.20	
vaarstrookbreedte	1.4bV	16.10	
veiligheidsstrook tussen 2 schepen	0.4bV	4.60	
veiligheidsstrook oever-schip	0.6bV	6.90	
zijwindtoeslag	0.11	9.50	
kanaalbreedte in geladen kielvlak	4.4bV	50.50	
kanaalbreedte ongel.kielvlak	>4.4bV+0.11	60.70	57.70
kanaalbreedte op de waterspiegel		66.70	57.70
vaarwegdwarsprofiel	Ac/As	7.32	7.10

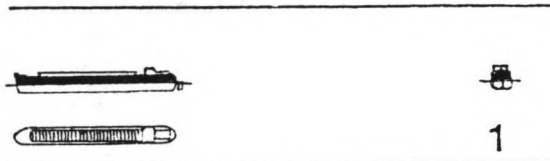
maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]



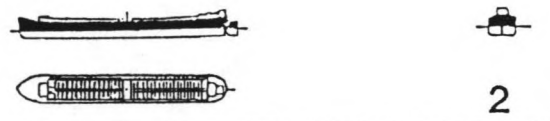
Bij alternatief IV is de diepte nog verder vergroot ten opzichte van de voorgaande alternatieven. Dit is gedaan om alvast een overgang te maken naar een kanaalvorm waar een tweebakduweenheid ook qua diepgang goed uit de voeten kan. Voor duwvaart is namelijk minimaal een kanaal diepte van 1.5 dm vereist ($1.5 \text{ dm} = 1.5 \times 2.80 = 4.20 \text{ m}$). De diepte bij alternatief IVa is geringer dan bij alternatief IIIa, echter deze diepte is groot genoeg om, indien noodzakelijk, een diep stekend zeiljacht aan de oever af te laten meren.

Bijlage 10.

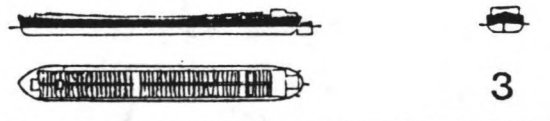
Verdeling beroepsvaart in laadvermogenklassen



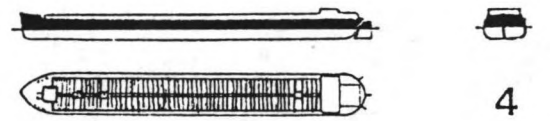
1



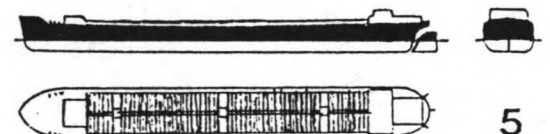
2



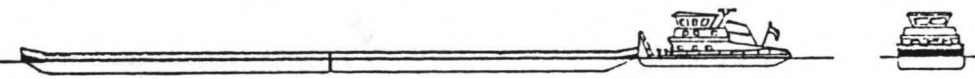
3



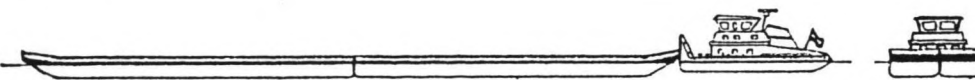
4



5



6



7

No.	laadvermogen klasse (tonnen)	standaardschip			
		laadv. (tonn.)	lengte (m)	breedte (m)	diepgang (m)
0	50 - 199	125	25	4,6	1,6
1	200 - 449	325	39	5,1	2,3
2	450 - 749	550	50	6,6	2,5
3	750 - 1.149	925	67	8,2	2,5
4	1.150 - 1.549	1.350	80	9,5	2,6
5	1.550 - 2.549	2.000	95	11,5	2,7
6	2.550 - 4.999	4.100	175	11,4	3,0
7	≥ 5.000	8.800	185	22,8	3,2

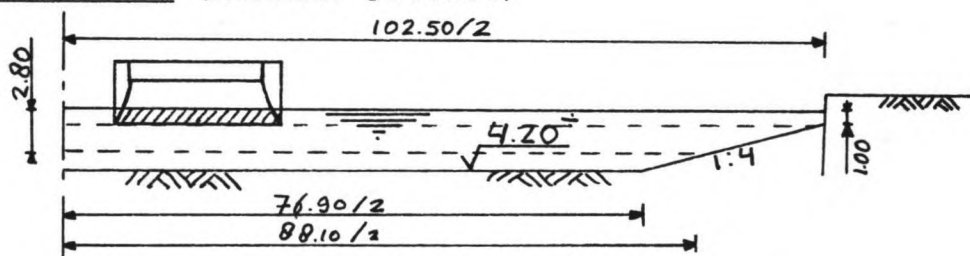
Bijlage 11.

Alternatief V voor een duwvaart kanaal

		V
vaarwegdiepte	$\geq 1.5\text{dm}$	4.20
vaarstrookbreedte	$1.5b_2$	17.10
veiligheidsstrook tussen 2 schepen	$0.7b_2$	8.00
veiligheidsstrook oever-schip	$1.0b_2$	11.40
zijwindtoeslag	B_w	37.50
kanaalbreedte geladen kielvlak	$\geq 5.7b_2$	65.00
kanaalbreedte ongel. kielvlak	$\geq 5.7b_2 + B_w$	102.50
kanaalbreedte op de waterspiegel		102.50
vaarwegdwarsprofiel	A_c/A_s	12.20

maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]

Alternatief V (normaal profiel)



Het grote verschil tussen dit alternatief en alternatief IVa wordt veroorzaakt door de grote zijwindtoeslag bij alternatief V. Voor de bepaling van de zijwindtoeslag is uitgegaan van windkracht 7. Als scheepssnelheid is 10 km/h. gehanteerd. Deze berekening geldt voor een lege duweenhed, aangezien daardoor de maatgevende situatie wordt bepaald.

Windkracht 7 Beaufort $\rightarrow W_{\perp} = 15.5 \text{ m/s}$
 Scheepssnelheid 10 km/h $\rightarrow V_s = 2.8 \text{ m/s}$

$$\rightarrow \frac{W_{\perp}}{V_s} = \frac{15.5}{2.8} = 5.54 \rightarrow \text{bijlage 4} \rightarrow \bar{\beta} = 13.6^{\circ}$$

De zijwindtoeslag bedraagt nu:
 $B_w = l \sin \bar{\beta} + b \cos \bar{\beta} - 1.5b = 37.50 \text{ m.}$

Aangezien de waarde van de blokkagefactor vrij groot is, betekent dit dat het profiel qua waterverplaatsing zeer ruim is voor duwvaart.

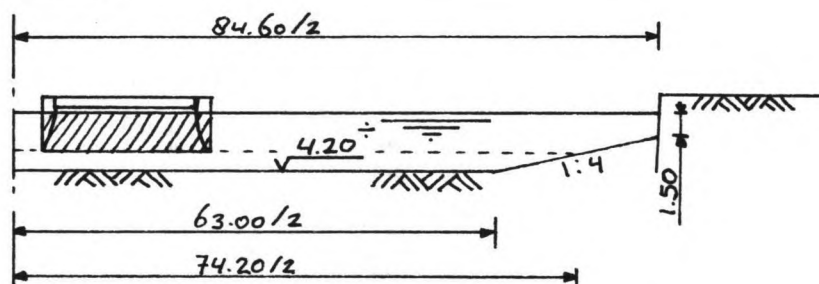
Bijlage 12.

Alternatief VI voor een duwvaart kanaal

		VI
vaarwegdiepte	$\geq 1.5dm$	4.20
vaarstrookbreedte	$1.5b_2$	17.10
veiligheidsstrook tussen schepen	$0.35b_2$	4.00
veiligheidsstrook oever-schip	$0.5b_2$	5.70
zijwindtoeslag	Bw	35.00
kanaalbreedte geladen kielvlak	$\geq 4.35b_2$	49.60
kanaalbreedte ongel. kielvlak	$\geq 4.35b_2 + Bw$	84.60
kanaalbreedte op de waterspiegel		84.60
vaarwegdwarsprofiel	Ac/As	10.22

maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]

Alternatief VI



Dit alternatief levert een profiel op dat 17.0 m. smaller is dan het dwarsprofiel van alternatief V. Zolang de verkeersintensiteit voor duwvaart niet groter zal zijn dan 5000 passages per jaar is dit gerechtvaardigd. Voor klasse V schepen heeft het profiel afmetingen die ruim genoeg zijn om van een normaal profiel te kunnen spreken (in vergelijking met alternatief I tot en met IV). Aangezien de blokkagefactor nog ruim boven de 7 zit kan er bij dit alternatief gesproken worden van een normaal profiel voor klasse V schepen.

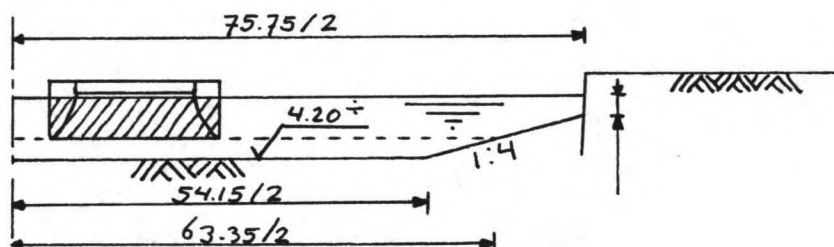
Bijlage 13.

Alternatief VII voor een klasse V kanaal dat ook geschikt is voor duwvaart

		VII	VII a
vaarwegdiepte	$\geq 1.5\text{dm}$	4.20	
vaarstrookbreedte klasse V	1.4bV	16.10	
vaarstrookbreedte 2 baksduwstel	1.5b2	17.10	
veiligheidsstrook tussen 2 schepen	0.5bV	5.75	
veiligheidsstrook klasse V-oever	0.6bV	6.90	
veiligheidsstrook 2 baks-oever	1.0b2	11.40	5.70
zijwindtoeslag (2 baks bepalend)	Bw	18.50	
kanaalbreedte in geladen kielvlak	Bd	57.25	51.55
kanaalbreedte ongel. kielvlak	Bd + Bw	75.75	70.05
kanaalbreedte op de waterspiegel		75.75	70.05
vaarwegdwarsprofiel	Ac/As	9.05	8.30

maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]

Alternatief VII

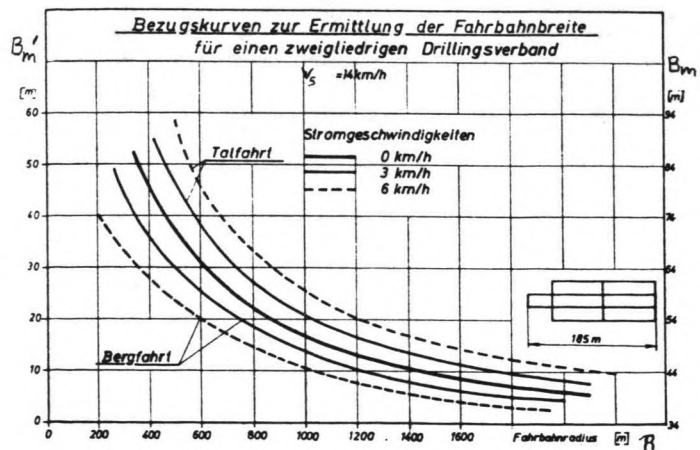
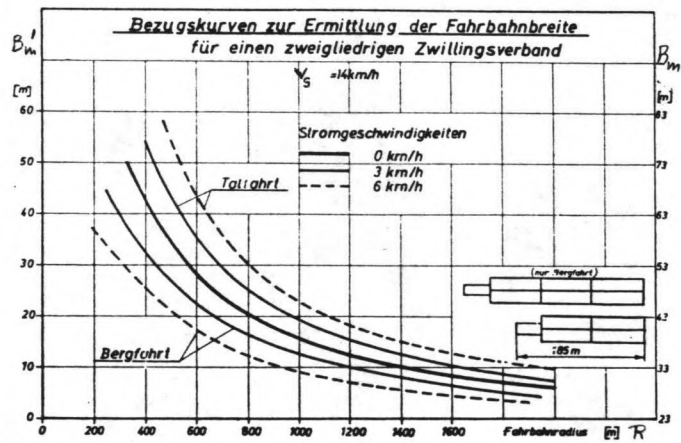
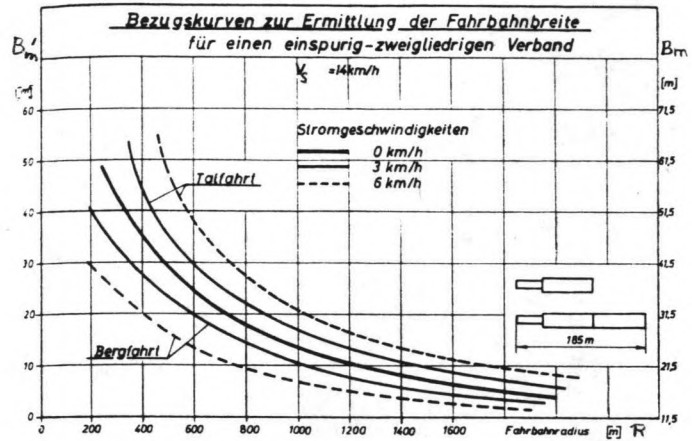


Zijwindtoeslag klasse V schip : $0.101 = 9.50\text{ m}$.
 Zijwindtoeslag tweebaksduwstel: $Bw = 37.50\text{ m}$. (bijlage 11)

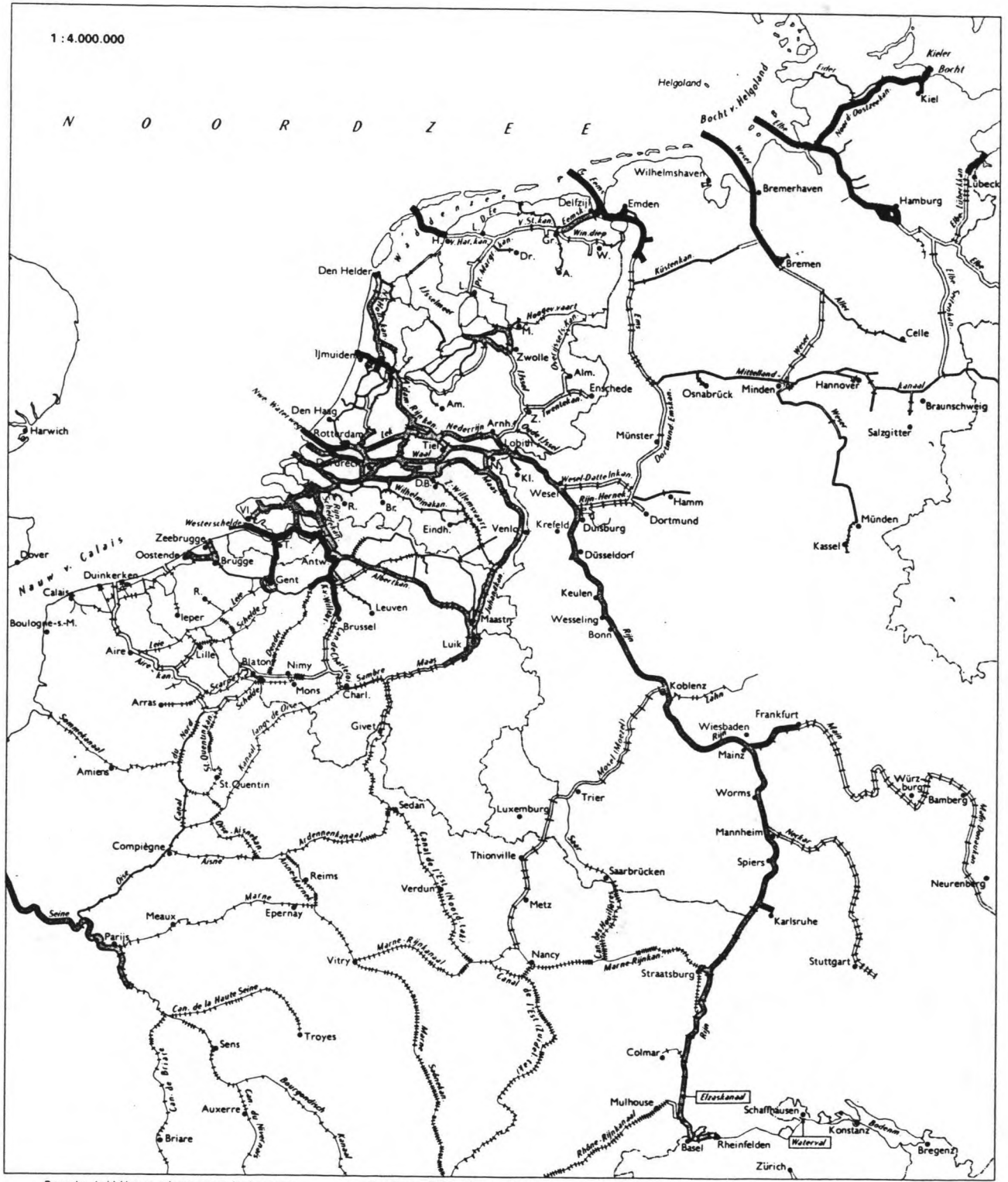
Op dit "gemengde" kanaal wordt voor de zijwindtoeslag 0.101 genomen waarin voor 1 de lengte van de duweenheid wordt genomen. Dit levert een zijwindtoeslag op van: $Bw=18.50\text{ m}$. Deze waarde is voor de veel voorkomende klasse V schepen bijna het dubbele van de normale zijwindtoeslag. Voor de veel minder frequent voorkomende duwstellen is deze waarde te klein. De maatgevende situatie treedt echter alleen bij lege duwstellen op. Omdat deze waarde pas bij windkracht 6 en hoger problemen oplevert is het toegestaan om deze geringere zijwindtoeslag te hanteren. Bij deze windkracht is het namelijk al zeer twijfelachtig of er nog gevaren wordt door lege duwstellen zonder boegschroef.

Bij alternatief VIIa is een profiel berekend met een breedte van 70.0 m. op de waterspiegel. Deze waarde zou nog iets verder teruggedrongen kunnen worden door de veiligheidsstroken nog iets verder te versmallen. In dat geval bestaat echter de mogelijkheid dat de aanwezige pleziervaart in de knel komt tijdens een ontmoeting tussen een klasse V schip en een duwstel.

Bepaling van de vaarbaanbreedte van duweenheden in bochten



Vaarwegen in West-Europa



Bevaarbaarheidsklassen volgens tonnen laadvermogen:

— Vaartuigen van 300 ton (Peniche of Spits)	— Vaartuigen van 1350 ton (Europaschip)	— Kanaal of gekanaliseerde rivier met sluus
— Vaartuigen van 600 ton (Kempenaar)	— Vaartuigen van 2000 ton (Groot Rijnschip)	— rivier met sluus
— Vaartuigen van 1000 ton (Dortmund Emskanaalschip)	— Zeevaart	

Bijlage 16.

Frekwenties van windrichtingen en gemiddelde snelheid per maand en per jaar, I

FREKVENTIES A (IN PROCENTEN) VAN WINDRICHTINGEN EN GEMIDDELDE SNELHEID W (IN HALVE M/S) PER MAAND EN PER JAAR

M A A N D	S T A T I O N	N		D									
		090 - 010		020 - 040		050 - 070		080 - 100		110 - 130		140 - 160	
		A	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W
JANUARI	DE KOOY	2	13	2	12	3	10	8	16	9	12	2	10
	EELDE	1	9	1	6	8	10	8	8	5	6	2	8
	DE BILT	2	7	3	8	5	10	4	10	3	7	3	7
	VLB.TWENTE	1	8	1	3	10	9	6	8	2	7	1	7
	VLISSINGEN	2	12	2	9	8	20	2	19	3	15	1	10
	BECK L.	1	9	1	6	4	10	8	12	2	5	1	5
FEBRUARI	DE KOOY	.	8	4	18	5	12	24	11	25	9	9	6
	EELDE	.	.	6	13	18	10	25	8	12	5	7	6
	DE BILT	.	.	9	9	14	6	18	7	8	5	14	5
	VLB.TWENTE	.	12	6	10	25	8	16	8	12	5	8	5
	VLISSINGEN	1	24	10	12	19	12	8	10	13	8	9	7
	BECK L.	1	16	9	11	16	8	11	8	6	4	11	5
MAART	DE KOOY	2	6	5	9	10	10	24	11	20	14	2	9
	EELDE	2	6	7	6	21	8	26	10	2	11	1	7
	DE BILT	2	6	9	5	17	7	22	8	8	9	4	8
	VLB.TWENTE	3	5	5	5	30	7	18	9	5	9	2	7
	VLISSINGEN	3	5	8	7	21	11	19	15	6	14	3	12
	BECK L.	4	6	4	6	12	7	23	10	6	7	3	6
APRIL	DE KOOY	8	11	24	14	9	11	4	9	3	5	4	5
	EELDE	18	11	19	11	6	7	5	5	3	3	5	4
	DE BILT	10	9	29	10	11	8	3	5	2	3	3	4
	VLB.TWENTE	9	7	18	8	19	10	3	5	5	4	2	5
	VLISSINGEN	23	13	24	12	10	13	1	5	2	3	2	3
	BECK L.	12	9	30	11	16	9	3	4	2	4	2	4
MEI	DE KOOY	1	4	6	9	5	8	8	8	9	8	6	6
	EELDE	3	6	6	6	9	7	8	6	8	6	8	6
	DE BILT	3	4	4	4	6	5	7	6	4	4	9	4
	VLB.TWENTE	1	6	3	4	9	7	9	6	11	6	8	6
	VLISSINGEN	4	8	6	7	6	9	9	8	5	6	1	5
	BECK L.	1	3	1	5	9	6	11	6	6	6	4	5
JUNI	DE KOOY	3	7	11	8	9	7	4	6	7	8	4	5
	EELDE	6	7	12	7	4	4	8	6	5	4	4	4
	DE BILT	6	6	10	7	8	6	5	3	5	5	7	5
	VLB.TWENTE	3	7	6	7	8	7	8	5	8	5	5	4
	VLISSINGEN	11	10	13	10	5	9	10	8	4	5	1	3
	BECK L.	5	7	10	8	13	6	10	6	4	5	4	3
JULI	DE KOOY	8	10	13	10	13	9	9	9	3	6	2	5
	EELDE	9	9	17	8	11	7	3	6	2	3	2	4
	DE BILT	12	6	15	6	12	6	7	6	2	3	1	4
	VLB.TWENTE	8	6	9	5	20	7	3	7	2	6	2	4
	VLISSINGEN	21	10	19	9	11	10	2	8	2	6	1	5
	BECK L.	13	7	12	6	11	8	4	7	1	3	3	5
AUGUSTUS	DE KOOY	14	8	36	9	11	8	11	8	4	6	1	7
	EELDE	16	9	22	7	10	6	10	7	3	6	2	5
	DE BILT	11	5	28	7	15	6	8	6	5	6	4	5
	VLB.TWENTE	11	6	18	5	21	7	10	8	5	6	2	6
	VLISSINGEN	18	10	30	9	15	10	11	13	2	9	1	8
	BECK L.	10	7	26	6	15	7	13	9	3	4	3	6
SEPTEMBER	DE KOOY	5	8	4	6	4	5	22	8	11	6	11	9
	EELDE	2	7	5	4	12	4	20	6	6	5	9	7
	DE BILT	3	5	2	3	8	3	13	4	9	4	12	5
	VLB.TWENTE	.	7	1	4	12	5	14	6	8	6	8	6
	VLISSINGEN	4	9	5	7	8	5	14	9	9	8	7	9
	BECK L.	3	5	3	4	6	5	9	5	8	4	8	6
OKTOBER	DE KOOY	2	7	3	7	4	7	19	9	15	9	23	11
	EELDE	1	5	3	6	6	6	28	7	14	7	18	9
	DE BILT	1	3	3	6	6	4	12	5	13	4	22	6
	VLB.TWENTE	1	5	3	6	12	6	15	6	15	5	13	7
	VLISSINGEN	1	4	4	9	6	8	9	12	8	11	16	14
	BECK L.	1	10	8	7	6	6	9	5	6	5	13	8
NOVEMBER	DE KOOY	6	6	3	5	5	6	4	6	5	9	13	8
	EELDE	3	5	7	7	3	5	3	5	8	6	14	7
	DE BILT	6	4	7	5	3	4	2	4	3	6	9	5
	VLB.TWENTE	5	4	5	5	4	6	3	5	5	6	7	6
	VLISSINGEN	4	6	8	6	7	5	2	10	3	13	5	13
	BECK L.	6	5	8	5	2	5	5	5	2	6	4	7
DECEMBER	DE KOOY	4	9	2	6	5	11	11	10	7	8	10	14
	EELDE	4	6	3	7	5	9	10	8	5	7	10	11
	DE BILT	2	4	5	4	8	7	6	8	5	7	11	9
	VLB.TWENTE	3	4	4	4	8	6	6	6	5	5	7	7
	VLISSINGEN	1	7	2	7	14	11	6	15	6	12	8	14
	BECK L.	1	5	5	7	11	8	8	6	4	4	5	9
JAAR	DE KOOY	5	9	10	10	7	9	12	10	10	9	7	9
	EELDE	5	9	9	8	10	7	13	7	6	6	7	7
	DE BILT	5	5	10	7	9	6	9	6	6	5	8	6
	VLB.TWENTE	4	6	7	6	15	7	9	7	7	6	5	6
	VLISSINGEN	8	10	11	9	11	11	8	11	5	9	4	11
	BECK L.	5	7	10	8	10	7	10	8	4	5	5	6

Bijlage 17.

Frekwenties van windrichtingen en gemiddelde snelheid per maand en per jaar, II

FREQVENTIES A (IN PROCENTEN) VAN WINDRICHTINGEN EN GEMIDDELDE SNELHEID W (IN HALVE M/S) PER MAAND EN PER JAAR

Z		W												STATION	MAAND
170 - 190	200 - 220	230 - 250	260 - 280	290 - 310	320 - 340	STIL									
A	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A	
2	15	2	22	15	17	19	20	27	20	11	17	1		DE KOODY	JANUARI
5	9	8	14	22	17	22	21	10	16	8	16	1		EELDE	
3	7	4	11	21	11	26	12	15	10	10	8	1		DE BILT	
9	5	9	19	21	10	23	14	16	16	6	12	2		VLB.TWENTE	
2	15	8	19	25	25	26	21	14	14	6	11	.		VLISSINGEN	
.	10	10	13	34	15	26	13	10	11	2	10	.		BECK L.	
6	12	13	13	7	12	5	10	5	13	1	5	.		DE KOODY	FEBRUARI
10	9	12	11	11	12	1	11	.	9	.	.	.		EELDE	
10	5	10	7	11	8	5	7	3	7	.	3	2		DE BILT	
9	9	13	9	11	8	2	9	.	10	.	8	1		VLB.TWENTE	
11	11	10	13	10	11	8	14	2	10	1	7	.		VLISSINGEN	
11	7	22	10	13	11	2	8	1	6	.	3	1		BECK L.	
3	9	4	19	14	17	6	13	7	13	2	4	.		DE KOODY	MAART
7	7	12	14	12	14	6	15	2	8	2	7	2		EELDE	
3	6	3	7	17	11	5	7	4	9	2	4	2		DE BILT	
3	5	9	9	14	10	5	10	3	14	1	5	3		VLB.TWENTE	
5	11	2	10	18	19	10	14	2	10	1	7	1		VLISSINGEN	
9	7	8	6	15	13	11	11	2	8	3	5	2		BECK L.	
3	4	5	9	11	11	8	9	11	9	8	14	2		DE KOODY	APRIL
5	5	5	10	10	12	8	10	6	11	9	11	2		EELDE	
5	4	4	6	7	9	5	6	5	5	8	5	9		DE BILT	
4	7	4	3	8	9	4	9	5	9	12	7	8		VLB.TWENTE	
2	5	3	9	9	10	10	11	3	7	8	9	3		VLISSINGEN	
3	5	4	6	7	9	6	8	3	7	6	8	5		BECK L.	
5	8	11	13	14	12	11	11	18	10	3	9	2		DE KOODY	MEI
11	8	10	9	13	10	9	9	9	10	3	9	2		EELDE	
3	5	11	6	14	8	13	8	8	7	7	6	7		DE BILT	
3	3	11	7	16	8	9	9	9	9	2	8	4		VLB.TWENTE	
6	9	9	13	19	16	20	15	6	10	8	9	2		VLISSINGEN	
3	6	15	9	20	11	10	10	6	8	3	8	4		BECK L.	
5	5	6	7	12	10	13	9	13	9	13	11	2		DE KOODY	JUNI
3	4	10	7	12	8	9	9	9	10	8	10	8		EELDE	
5	3	6	4	8	6	10	6	9	6	11	5	8		DE BILT	
5	4	6	7	9	7	7	8	10	9	12	8	13		VLB.TWENTE	
3	5	5	11	14	14	14	11	4	8	14	9	1		VLISSINGEN	
5	4	9	7	13	10	8	7	9	7	5	8	5		BECK L.	
2	5	3	11	6	11	4	8	14	10	21	10	1		DE KOODY	JULI
3	5	9	9	10	7	8	6	11	7	11	10	3		EELDE	
2	3	4	4	7	5	8	5	9	4	16	4	6		DE BILT	
3	5	4	6	8	6	6	7	10	8	15	7	8		VLB.TWENTE	
2	7	3	9	10	13	9	14	5	9	14	8	1		VLISSINGEN	
3	7	8	6	15	8	7	6	6	5	11	6	4		BECK L.	
1	3	.	8	3	10	7	13	4	9	6	8	1		DE KOODY	AUGUSTUS
3	5	3	7	8	7	7	7	7	6	8	9	2		EELDE	
.	4	1	5	4	5	5	5	5	5	8	4	4		DE BILT	
.	6	3	6	4	7	5	8	7	7	8	7	6		VLB.TWENTE	
1	8	1	10	3	14	5	12	4	9	6	7	.		VLISSINGEN	
4	4	6	6	5	7	4	6	2	5	3	5	5		BECK L.	
11	6	6	10	8	11	7	10	4	13	6	10	2		DE KOODY	SEPTEMBER
12	5	10	8	9	8	6	8	3	7	4	8	5		EELDE	
5	4	12	7	7	6	4	4	5	4	5	5	12		DE BILT	
15	7	11	9	7	7	6	8	5	6	3	6	11		VLB.TWENTE	
12	14	14	10	6	12	9	14	6	11	6	9	1		VLISSINGEN	
16	7	20	9	9	9	6	5	3	6	3	5	7		BECK L.	
17	12	6	14	5	12	3	12	2	6	1	3	1		DE KOODY	OKTOBER
15	9	9	8	3	10	2	4	1	4	.	5	1		EELDE	
18	7	11	7	8	7	.	5	1	2	1	2	4		DE BILT	
19	9	12	8	3	6	1	4	1	4	1	4	3		VLB.TWENTE	
24	17	21	15	5	13	3	12	1	8	1	4	1		VLISSINGEN	
29	10	19	11	5	3	.	4	1	3	1	5	2		BECK L.	
21	13	8	16	8	14	7	14	7	11	8	15	4		DE KOODY	NOVEMBER
22	10	16	11	8	9	6	9	7	10	3	8	1		EELDE	
17	6	20	10	11	8	7	6	6	5	5	5	3		DE BILT	
21	9	21	10	9	8	6	8	5	10	4	5	5		VLB.TWENTE	
16	18	28	17	8	13	6	13	7	11	8	10	.		VLISSINGEN	
20	10	30	12	10	8	7	8	3	6	3	5	2		BECK L.	
12	11	7	9	11	12	10	12	10	14	6	15	3		DE KOODY	DECEMBER
14	9	16	11	16	8	6	11	4	7	4	11	2		EELDE	
3	7	15	8	20	7	8	5	3	8	5	7	3		DE BILT	
9	9	22	8	18	7	7	7	2	11	5	6	5		VLB.TWENTE	
12	16	18	16	12	15	7	16	7	10	5	10	1		VLISSINGEN	
15	10	29	11	12	9	5	8	2	7	1	6	2		BECK L.	
7	10	6	13	9	13	8	13	10	13	7	12	2		DE KOODY	JAAR
9	8	10	10	11	11	8	12	6	10	5	10	2		EELDE	
7	6	8	7	11	8	8	8	6	7	7	5	5		DE BILT	
8	8	10	8	11	8	7	10	6	10	6	7	6		VLB.TWENTE	
8	14	10	14	12	16	11	15	5	11	6	9	1		VLISSINGEN	
10	9	15	10	13	11	8	9	4	7	3	7	3		BECK L.	

Behandeling open blijven alternatieve vaarroute op jaarvergadering van Schuttevaer

Schipper op jaarvergadering Schuttevaer:
'Vaste brug in nieuwe RW 32 is een ramp voor Friesland'

SNEEK - Als er in de nieuwe Rijksweg 32 bij Akkrum inderdaad een vaste brug over de Boorn komt te liggen, is dat een ramp voor Friesland. Al het mogelijke moet dan ook worden verricht om zo'n catastrofe af te wenden. Er dient een dringend beroep op de Provinciale Staten te worden gedaan zich tegen een vaste oeververbinding op die plaats te keren. Zij hebben het in de hand om hier tot een goede oplossing te komen en zullen op hun stuk moeten staan. Anders gaat het in dit geval straks precies als met de dijk van Ferwerderadeel, namelijk dat Den Haag wel weet hoe het hier in Friesland moet. Dit betoogde Joop Koopmans van de afdeling Leeuwarden van de Koninklijke Schippersvereniging Schuttevaer zaterdagmiddag in Sneek op de jaarvergadering van de afdeling Zuidwesthoek van deze belangenorganisatie in de binnenvaart.

Volgens de Leeuwarder schipper wordt het Friese waterland met een vaste brug te Akkrum in twee stukken gedeeld. Als die oeververbinding er komt, zal het rijk er later wellicht ook geen moeite mee hebben een vaste brug te bouwen over de Geewu in de nieuwe omlegging van de A7 om Sneek. Dat betekent dan opnieuw een grote aantasting van de mogelijkheden van de recreatie in Friesland. Het merengebied ligt dan min of meer in drie stukken. Een dergelijke situatie moet tegen elke prijs vermeden worden, aldus Joop Koopmans.

De Leeuwarder, die als schipper van de zeiklipper De Hoop de situatie in het waterland door en door kent, wees er

verder op, dat een vaste brug bij Akkrum weer meer recreatievaart naar het drukke Prinses Margrietkanaal zal brengen, terwijl het beleid van de provincie er juist op is gericht, de recreatievaart van de beroepsvaart te scheiden. Het gevolg is dat er bij de bruggen te Grouw zich nog grotere opeenhopingen van jachten en schepen zullen voordoen dan nu vaak al het geval is. Die twee bruggen zullen er namelijk wel blijven. Aan een verbetering van de spoorbrug ter plaatse wordt een hoge prioriteit toegedend, hetgeen wil zeggen dat deze oeververbinding er nog jaren in haar huidige vorm zal blijven.

Het zit er bovendien heel dik in, dat de er naast liggende verkeersbrug niet zal worden gesloopt als de tunnel in de nieuwe Rijksweg onder het Prinses Margrietkanaal een feit is. In feite wordt het geld voor het Vaarwegenplan overgeheveld naar het wegverkeer. Het resultaat is nu, dat het rijk een vaste brug bij Akkrum wil, die nog twee meter lager wordt dan de bestaande beweegbare brug. Dit wordt een ramp voor Friesland, aldus nogmaals Joop Koopmans, die het bestuur vroeg er sterk op aan te dringen, actie te ondernemen. Aangesproken werd tenslotte deze zaak aan het hoofdbestuur van Schuttevaer voor te leggen en dit te vragen de overheid tot andere gedachten te brengen.

Kanalen te ondiep

De vergadering bleek verder van oordeel, dat de kanalen in Friesland te ondiep zijn. Dit punt kwam aan de orde bij de behandeling van een verzoek om gedeelten van het kanaal naar Stavoren uit te diepen, te weten te Warns bij de dukdalven en voor de sluis te Stavoren. Een schipper merkte naar aanleiding daarvan op: „We kunnen beter vragen om de kanalen in heel Friesland uit te baggeren”. Een ander zei: „De techniek heeft het Vaarwegenplan volkomen achterhaald. Het lijkt nergens op, dat Friesland kanalen heeft met een diepte van 2,80 meter, dat moet zeker 3,50 meter zijn”.

Voorts bleken de schippers niet tevreden over de enkele jaren geleden in het leven geroepen zogenaamde afroepregeling voor de bediening van bruggen. Volgens deze regeling kan een schipper binnen bepaalde periodes, maar buiten de gebruikelijke bedieningstijden, vragen één of meer bruggen voor hem te bedienen. De algemene conclusie was, dat het

Unaniem was de vergadering van oordeel, dat de minister van verkeer en waterstaat moet worden teruggedrukt, wat haar plannen betreft om het vaarbewijs maar weer af te schaffen. Een vaarbewijs is nodig voor de bescherming van de vaart, aldus de strekking van de betogen. Nederland zou bovendien bij afschaffing een modderfiguur slaan ten opzichte van Duitsland, dat wel een vaarbewijs verplicht heeft gesteld. Het hoofdbestuur zal worden gevraagd de nodige actie te ontketenen.

Ook willen de schippers, dat er wat wordt gedaan tegen het illegale gebruik van de autotelefoon aan boord. Het blijkt technisch een koud kunstje om op andermans kosten met behulp van deze telefoon te bellen. Een schipper, die normaal rekeningen van zo'n 900 moet betalen, werd al eens een nota van ongeveer f. 3500 gepresenteerd. Er wordt op grote schaal 'zwart' gebeld en dat moet maar eens uit zijn, aldus de schippersvergadering.

In zijn jaarverslag leverde secretaris Popke Jongstra kritiek op het feit, dat verleden winter in verschillende gevallen schippers werd verboden verder te varen, terwijl er nog geen vaarverbod van kracht was. Zo trachtte de politie te Franeker het passeren van een convooi te verhinderen en werd er tweemaal voor de radio omgeroepen dat de stationsbrug ter plaatse gestremd was. Ook stelde de IJswegencentrale pogingen in het werk de binnenvaart stil te leggen. De secretaris sprak in dit verband over een schandelijk miskennen van een vervoersbelang.

Bij de bestuursverkiezing werd schipper Gerrit Schouwstra tot bestuurslid gekozen. Hij volgt de 77-jarige Marten Sijbranda op, die vanaf 1970 de afdeling als penningmeester en secretaris en ook enige tijd als vice-voorzitter heeft gedient. In een dankwoord noemde de voorzitter hem een warm pleitbezorger voor de belangen van de binnenvaart.

Bijlage 19.

Uitgevaardigde bepalingen voor de beroepsvaart op het Prinses Margrietkanaal



provinsje fryslân
provincie friesland

**OPLOOPVERBOD PRINSES
MARGRIETKANAAL**

Gedeputeerde Staten van Friesland hebben besloten om op het Prinses Margrietkanaal met ingang van 1 juli 1987 van kilometer 57.9 tot 60.5 bij Grouw (vanaf de invaart De Meer tot 700 m noordoostelijk van de brug in Rijksweg 32) een verbod tot voorbijlopen van motorschepen in te stellen. Het verbod is niet van toepassing op en ten aanzien van kleine schepen.

De maatregel wordt aangegeven door de verkeers-tekens A.2 van bijlage 7 van het Binnenvaartpolitiereglement.

HINDERLIJKE WATERBEWEGING

Voorts hebben Gedeputeerde Staten van Friesland besloten om een gedeelte van het Prinses Margrietkanaal van kilometer 58.4 tot 59.3, zijnde de geul door het Pikmeer, aan te wijzen als een kanaalvak waar vaartuigen hun snelheid zodanig dienen te regelen dat hinderlijke waterbeweging wordt voorkomen, e.e.a. overeenkomstig het bepaalde gesteld in artikel 6.20, lid 1, sub e, van het Binnenvaartpolitiereglement. De maatregel wordt aangegeven door de verkeers-tekens A.9 van bijlage 7 van het Binnenvaartpolitiereglement.

Leeuwarden, juli 1987.

Gedeputeerde Staten van Friesland

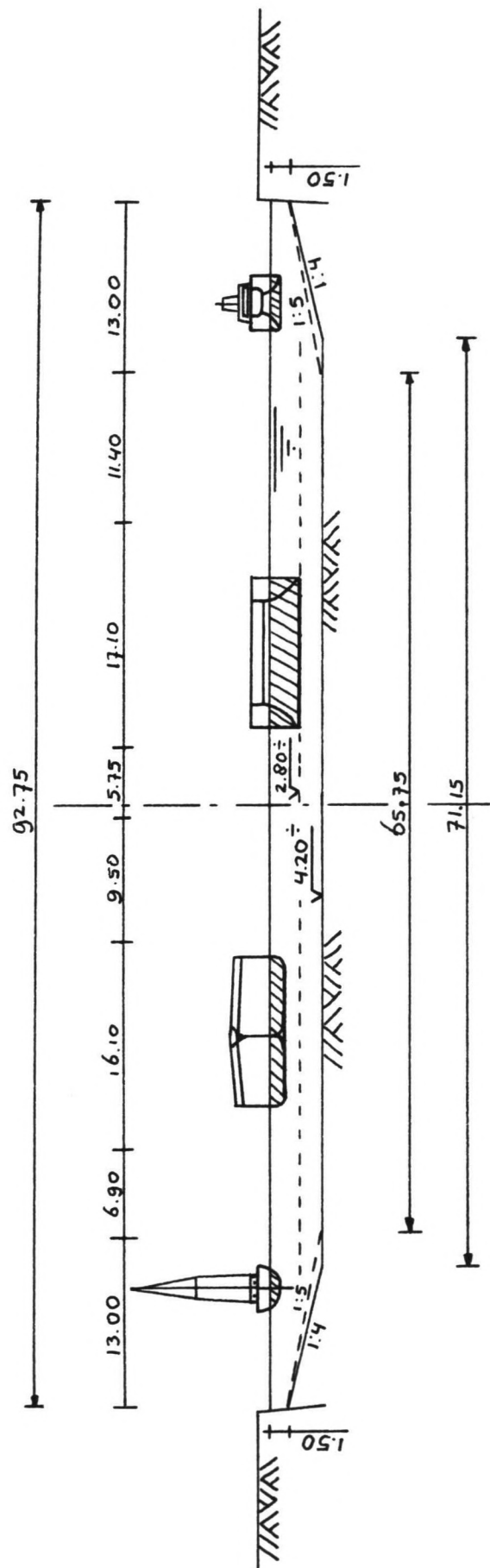
Klasse-indeling pleziervaart

klasse +)	M - route		ZM - route	
	H [m]	Hbr [m]	H [m]	Hbr [m]
1	-	lokale standaard	8.50	bb of *) vb 9.00
2	2.25 #)	2.50	12.00	bb of *) vb 12.75
3	2.75	3.00	12.00	bb of *) vb 12.75
4	3.40	3.75	>>12.00	bb *)

bb = beweegbare brug
vb = vaste brug

M = motorboot
ZM = zeil/motorboot

- +)
- Klasse 1 : schepen/routes (alleen ZM genormaliseerd) voor lokale watersportgebieden en kleinschalige routes.
 - Klasse 2 : schepen/routes op binnenlands "beschut" water, waar voor de doorgaande vaart en het hoofdnet een alternatief van klasse 3 aanwezig is, en/of waar M-routes met Hbr=2.50 m. al veel zijn toegepast. Ook op wateren waar het vaarwegprofiel of de diepte, klasse 3 te royaal maakt.
 - Klasse 3 : schepen/routes op binnenlands "beschut" water, waar geen alternatieven zijn van deze klasse en/of waar voor M-routes Hbr=3.00 m. al veel is toegepast.
 - Klasse 4 : schepen/routes op of in directe relatie met grootschalig water zoals het Deltagebied, IJsselmeer en Waddenzee.
- *) De doorvaarthoogte van een beweegbare brug in gesloten stand is afhankelijk van functie en drukte van het betreffende vaarwater. Drukke meer dan 15.000 passages per jaar, dan hoogte in gesloten stand gelijk aan de brughoogte van de M-route van dezelfde klasse. Druk zeilverkeer op de route, dan in klasse 4 een hoge beweegbare brug met Hbr=17.50; 15.00 of 12.75 m. of eventueel een vaste brug met Hbr \geq 17.50 m. na afzonderlijke afweging al naar gelang de functie (verbindingroute, toerroute, aantakking) en frekwentie van de grootste jachten. In klasse 2 en 3 bij druk zeilverkeer in principe kiezen voor de vaste brug met Hbr = 12.75 m.
- #) Op rustige wateren kunnen onder de bijbehorende doorvaarthoogte (Hbr = 2.50 m.) schepen passeren met H tot circa 2.40 m. Beheerders dienen hiermee rekening te houden.



Figuur 40. Alternatief VIII voor een "gemengd" kanaal

Bijlage 21.

Alternatief VIII voor een kanaal dat geschikt is voor klasse V schepen, duwvaart en pleziervaart

	VIII	
vaarwegdiepte pleziervaart #	2.30	
vaarwegdiepte beroepsvaart 2 baks $\geq 1.5\text{dm}$	4.20	
vaarstrookbreedte klasse V 1.4bV	16.10	
vaarstrookbreedte 2 baksduwstel 1.5b2	17.10	
veiligheidsstrook tussen 2 schepen 0.5bV	5.75	
veiligheidsstrook klasse V-oever 0.6bV	6.90	
veiligheidsstrook 2 baks-oever 1.0b2	11.40	
zijwindtoeslag klasse V 0.11	9.50	
zijwindtoeslag 2 baksduwstel Bw	37.50	
toeslag pleziervaart ## 4Bp + 10m.	26.00	
kanaalbreedte geladen kielvlak Bd	57.25	
kanaalbreedte ongeladen kielvlak	92.75	
kanaalbreedte op de waterspiegel	92.75	
vaarwegdwarsprofiel (voor 2 baks) Ac/As	11.30	11.06
helling onderwatertalud	1:4	1:5

maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]

- # bij de combinatie pleziervaart-beroepsvaart wordt 50 cm. overdiepte toegepast in plaats van de gebruikelijke 30 cm.
 ## normaal profiel + tenminste 5 m. extra per 10.000 passages boven de reeds aanwezige 30.000 ---> hier zijn 50.000 passages van de pleziervaart, dat betekent dan: $(50.000 - 30.000) / 10.000 = 2$ ---> $2 \times 5 = 10$ m. extra.

Maatgevende schepen: - C.E.M.T.-klasse V 95.0x11.5x2.7 m.
 - 2 bakduweenheden 185.0x11.4x2.8 m.
 - pleziervaart (ZM 3) 14.0x4.0x1.75 m.

Bij de bepaling van dit alternatief is uitgegaan van een normaal profiel voor klasse V schepen en duwvaart terwijl voor de pleziervaart een intensiteits profiel in rekening wordt gebracht.

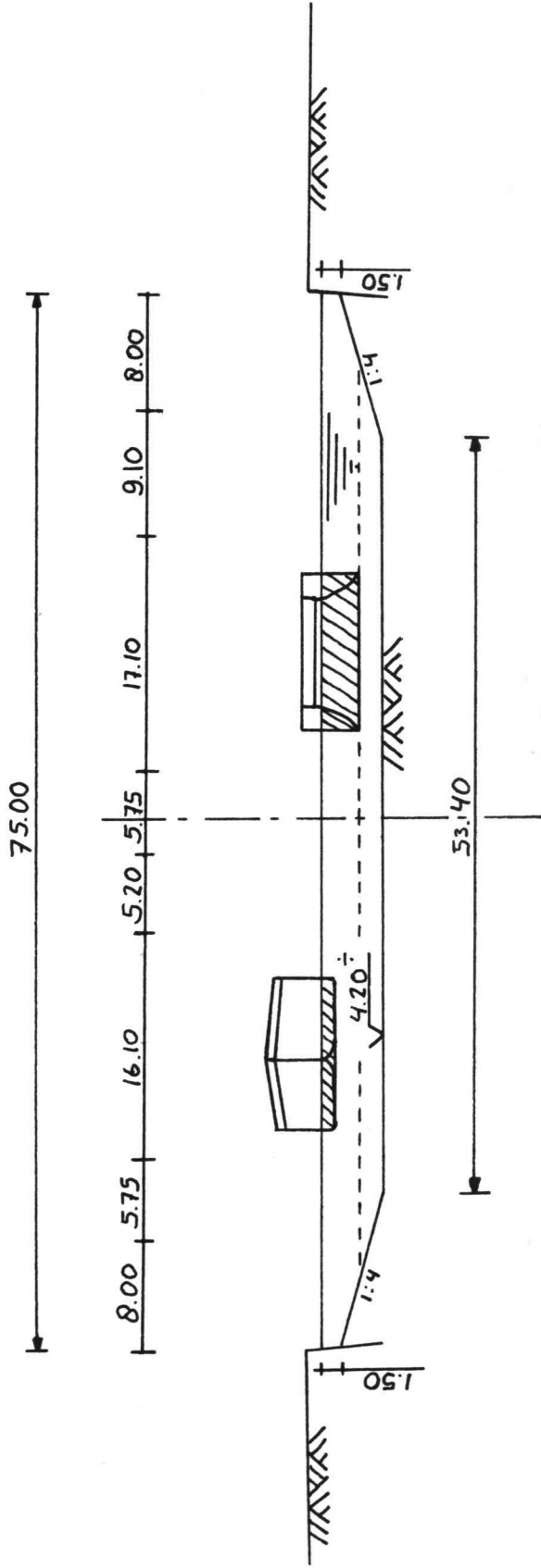
Voor de berekening van de kanaalbreedte is gerekend met de zijwindtoeslag voor een klasse V schip.

Voor een lege duweenheden is er bij harde zijwind hier: $13.00 + 9.50 + 13.00 = 35.50$ m. aanwezig.

van de pleziervaart

Dit is bijna een evenaring van de eis van 37.50 m! Als de pleziervaart hieraan meewerkt is dus ook bij harde zijwind duwvaart mogelijk voor lege duweenheden. Eventueel kunnen in dit geval aanvullende regels voor de pleziervaart worden afgekondigd.

Het dwarsprofiel van alternatief VIII is weergegeven in figuur 40.



Figuur 41. Alternatief IX voor een "gemengd" kanaal

Bijlage 22.

Alternatief IX voor een kanaal dat geschikt is voor klasse V schepen, duwvaart en pleziervaart

	IX
vaarwegdiepte pleziervaart	2.30
vaarwegdiepte beroepsvaart 2 baks $\geq 1.5\text{dm}$	4.20
vaarstrookbreedte klasse V 1.4bV	16.10
vaarstrookbreedte 2 baksduwstel 1.5b2	17.10
veiligheidsstrook tussen 2 schepen 0.5bV	5.75
veiligheidsstrook klasse V-oever 0.5bV	5.75
veiligheidsstrook 2 baks-oever 0.8b2	9.10
zijwindtoeslag klasse V # 0.051	4.75
zijwindtoeslag 2 baksduwstel Bw	37.50
toeslag pleziervaart ## 4Bp	16.00
kanaalbreedte geladen kielvlak Bd	53.80
kanaalbreedte ongeladen kielvlak	74.55
kanaalbreedte op de waterspiegel	74.55
vaarwegdwarsprofiel (voor 2 baks) Ac/As	8.96
helling onderwatertalud	1:4

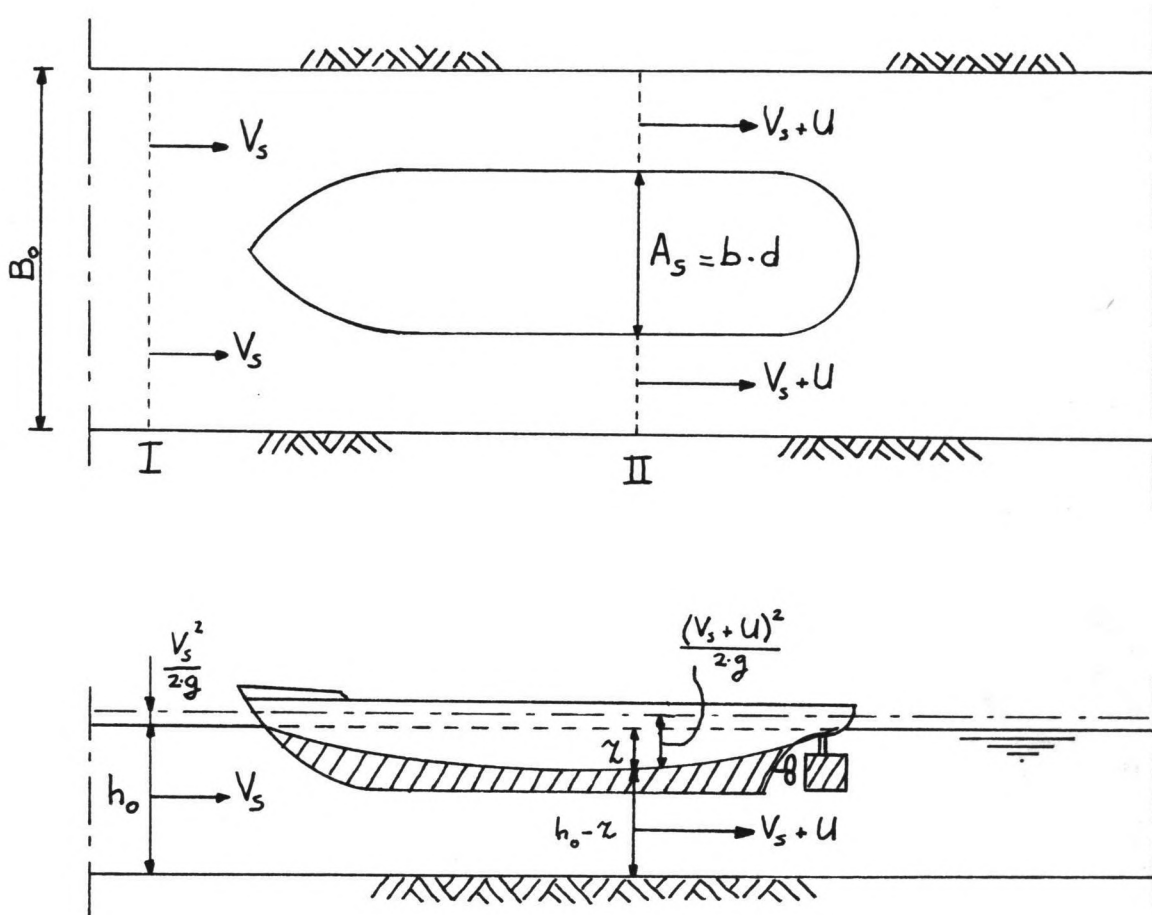
maten in [m] uitgezonderd vaarwegdwarsprofiel in [-]

- # Voor de zijwindtoeslag is rekening gehouden met de ligging van het Prinses Margrietkanaal in een landstreek (in plaats van in een kuststreek).
- ## Voor de pleziervaart is hier het normale profiel toegepast, dat wil zeggen een profiel dat voldoet voor intensiteiten tussen 5.000 en 30.000 pleziervaartuigen per jaar.

Bij de bepaling van dit alternatief is uitgegaan van een normaal profiel voor zowel klasse V schepen, duwvaart als pleziervaart.

Dit alternatief sluit vrij goed aan bij het advies dat in recente studies is gegeven [18].

Het dwarsprofiel van alternatief IX wordt weergegeven in figuur 41. De kanaalbreedte van dit alternatief bedraagt bijna 75.0 m. Deze breedte wordt eveneens verkregen door de benodigde breedte voor twee elkaar ontmoetende duwstellen, inclusief veiligheid (60 m., tabel 7) te vermeerderen met 4 bp (≈ 16 m.) ten behoeve van de pleziervaart.



Figuur 42. Spiegeldaling en retourstroom bij een meebewegend assenstelsel

Bijlage 23.

Inzinking bij een varend schip

Er zal hier een relatie worden afgeleid die iets zegt over de inzinking bij een varend schip. Daartoe wordt er uitgegaan van een schip dat met een eenparige snelheid V_s vaart in een kanaal. Maak daarbij gebruik van een meebewegend assenstelsel dat vast wordt gedacht op het schip (fig.42). ten opzichte van dit assenstelsel staat het schip als het ware stil en stroomt het water met een permanente snelheid V_s . De snelheid naast het schip is dan gelijk aan $(V_s + U)$. Toepassing van het theorema van Bernoulli tussen de doorsneden I en II levert:

$$z = \frac{(V_s + U)^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} = \frac{V_s \times U}{g} + \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

De tweede vergelijking wordt verkregen door ter plaatse van het grootspant aan de continuïteits voorwaarde te voldoen:

$$Q = V_s \times A_c = (V_s + U) \times (A_c - A_s - (B_o \times z)) \quad (2)$$

$$V_s \times (A_s + (B_o \times z)) = U \times (A_c - A_s - (B_o \times z))$$

$$V_s = U \times \frac{(A_c - A_s - (B_o \times z))}{A_s + (B_o \times z)} \quad (3)$$

Substitueren van vergelijking (3) in vergelijking (1) levert:

$$U^2 \times \frac{(A_c - A_s - (B_o \times z))}{g \times (A_s + (B_o \times z))} + \frac{U^2}{2g} = z$$

$$\frac{2U^2 \times (A_c - A_s - (B_o \times z)) + U^2 \times (A_s + (B_o \times z))}{(A_s + (B_o \times z))} = 2gz$$

$$U^2 \times \frac{(2A_c - A_s - (B_o \times z))}{A_s + (B_o \times z)} = 2gz$$

$$U^2 = \frac{2g \times (A_s + (B_o \times z)) \times z}{(2A_c - A_s - (B_o \times z))}$$

$$A_c = B_o \times h \quad (4)$$

$$\frac{U^2}{g \times h} = \frac{2 \times (A_s + (B_o \times z)) \times z/h}{(2A_c - A_s - (B_o \times z))}$$

$$\frac{U^2}{g \times h} = \frac{2 \times (A_s/A_c + z/h) \times z/h}{(2 - A_s/A_c - z/h)} \quad (5)$$

Bijlage 24.

KUNSTWERKEN VAN HET PRINSES MARGRIETKANAAL

plaats	doorvaart hoogte in gesloten stand [m]	doorvaart wijdte [m] in te openen gedeelte	wijdte onder vaste deel [m]	type
Stroobos	2.25+KP	22.00	-	ongelijk armige draaibrug
Blauwverlaat	7.45+KP	16.10	22.30	bascule brug
Kootstertille	7.48+KP	12.00	19.00	bascule brug
Schuilenburg	1.80+KP	2x 16.00	-	draaibrug
Bergumerdam	7.45+KP	12.00	22.00	bascule brug
Fonejacht	7.45+KP	12.00	22.00	bascule brug
Grouw	5.45+KP	16.00	17.25	3 maal een bascule brug naast elkaar
Oude Schouw	7.45+KP	12.00	22.00	bascule brug
Terhorne	sluis	2x 16.00	-	2 groene kolken lengte 260 m. diepte 4.00-KP
Uitwellingerga	7.45+KP	12.00	22.00	bascule brug
	-	60.00	-	aquadukt
Spannenburg	7.45+KP	12.00	22.00	basculebrug
Lemmer	sluis	16.00	-	groene kolk lengte 260 m. #
	7.45+KP	16.00	-	ophaalbrug

schutkolk te verdelen in twee kolken van 108.0 m. en 138.5 m.
drepeldiepte: noordzijde K.P. -3.84 m.
zuidzijde N.A.P. -4.50

