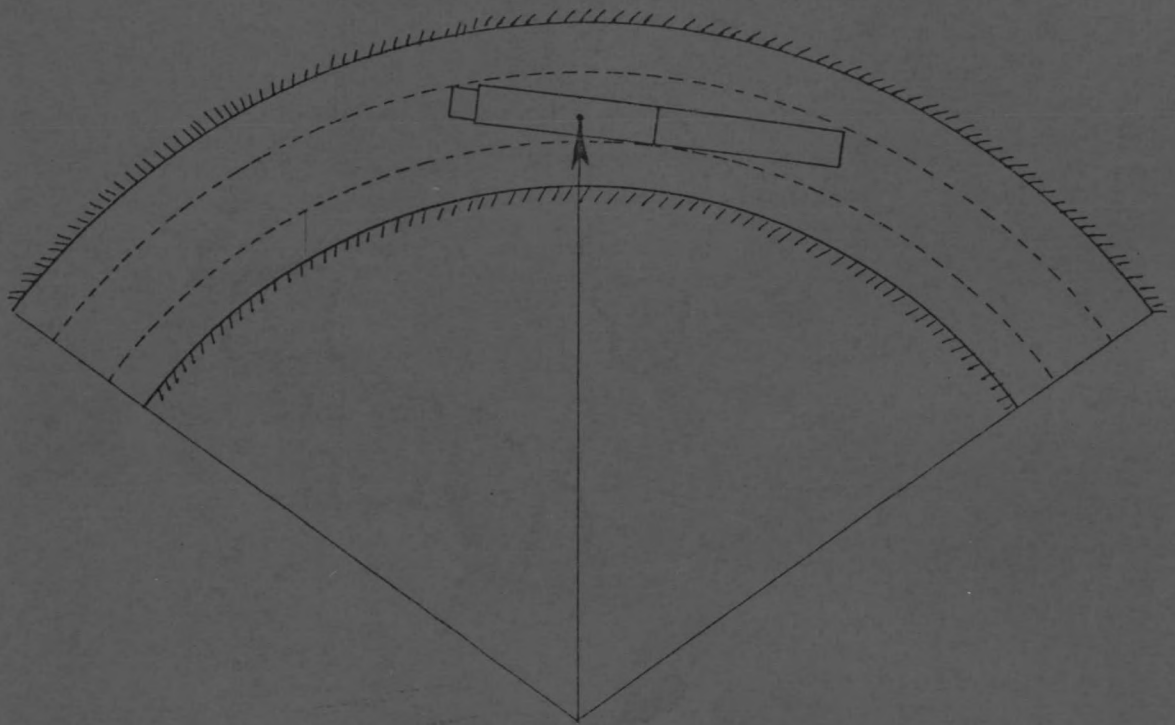


ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN
VAN 2-BAKSDUWWAART OP DE GELDERSE
IJSSSEL: DE BOCHT BIJ GORSSEL



A.A. VAN DER LINDE .

T.H. DELFT .

AFD. CIVIELE TECHNIEK .

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

ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VAN 2-BAKSDUW-
VAART OP DE GELDERSE IJSSEL: DE BOCHT BIJ
GORSSEL.

Verslag van het afstudeerwerk van A.A. van der Linde.
T.H. Delft.
Afdeling Civiele Techniek.
december 1984.

Afstudeerdocenten: Prof. ir. H. Velsink.
ir. J. Bouwmeester.

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

Inhoudsopgave:

	<u>Inhoudsopgave:</u>	pag.
Hoofdstuk	I : Algemene inleiding: doelstelling, randvoorwaarden, probleemstelling.	1
	I.2 : Doelstelling.	1
	I.3 : Randvoorwaarden en uitgangspunten.	1
	I.4 : Probleemstelling.	2
	I.5 : Het vaarwegenbeleid in Nederland.	7
Hoofdstuk	II : De theorie van het bochtvaren.	9
	II.1 : Inleiding.	9
	II.2 : Definities.	10
	II.3 : Resultaten van modelonderzoek.	13
	II.3.1 : Inleiding.	13
	II.3.2 : Resultaten en conclusies.	13
	II.4 : Theoretische afleiding van een formule voor de evenwichtsdrifthoek m.b.v. de "zero-aspect-ratio wing theory".	16
	II.5 : Belangrijkste verwaarlozingen bij de afleiding van β .	24
	II.6 : Toetsing van de theorie aan de modelresultaten.	36
Hoofdstuk	III : Vergelijking van de theorie (en het model) met de praktijk.	38
	III.1 : Toetsing van het modelonderzoek aan de praktijk m.b.v. prototypewaarnemingen.	38
	III.2 : Verklaring van de verschillen tussen modelresultaten en prototypewaarnemingen	40
Hoofdstuk	IV : Interpretatie van prototyperesultaten m.b.v. de theorie; Bochtvaren in de praktijk op basis van ervaringen van duwbootkapiteins.	48
	IV.1 : Interpretatie van prototyperesultaten van dr. ing. E. Schäle m.b.v. de theorie.	48
	IV.2 : Uitbreiding van de theorie m.b.v. Schäle's resultaten. Gevolgtrekkingen.	55
	IV.3 : Bochtvaren in de praktijk; methode van D. Breedveld.	57

vervolg Inhoudsopgave:

pag.

Hoofdstuk IV.4	: Samenvatting bochtvaren als basis voor de dimensionering van vaarwegen; slotconclusie.	60
IV.5	: Consequenties van de vaarmethode volgens Breedveld voor de tangenthoek, bij de dimensionering van rivierbochten.	63
Hoofdstuk V	: Installaties op de duwformaties zelf, ter reductie van de padbreedte en verbetering van de manoeuvreerbaarheid.	65
V.1	: Inleiding.	65
V.2	: Passieve koproeren (passieve kopbesturing).	66
V.3	: Actieve koproeren (actieve kopbesturing).	69
V.4	: Knikbesturing.	70
V.4.1	: Actieve verbindingen.	73
V.4.2	: Passieve verbindingen.	77
V.4.3	: Elastisch-passieve verbindingen.	78
V.5	: Combinatie van geknikte vaart met passieve koproeren.	78
V.6	: Eindconclusie en aanbevelingen.	78
Hoofdstuk VI	: De mogelijkheden voor 2-baksduwvaart in de bocht bij Gorssel.	80
VI.1	: Inleiding.	80
VI.2	: Mogelijke oplossingen ter verbetering van het potentiële knelpunt de bocht bij Gorssel ten behoeve van 2-baksduwvaart	81
VI.3	: Basisgegevens voor de berekeningen.	82
VI.4	: Mogelijkheden van éénstrooksverkeer met 2-baksduwvaart in de bocht bij Gorssel.	84
VI.5	: Mogelijkheden van tweestrooksverkeer met 2-baksduwvaart in de bocht bij Gorssel.	89
VI.5.1	: Bermstroken en veiligheidsstroken	89
VI.5.2	: Ingenomen padbreedtes en totaal ruimtebeslag van schepen die de bocht bij Gorssel passeren.	90
VI.5.3	: Ontmoetingen.	92
VI.5.4	: Oploopmanoeuvres.	96

vervolg Inhoudsopgave:

pag.

Hoofdstuk VI.5.5	: Algemene conclusies ten aanzien van tweestrooksverkeer in de bocht bij Gorssel met 2-baksduwvaart.	100
VI.5.6	: Opheffing van problemen bij tweestrooksverkeer door aanbrenging van bepaalde voorzieningen op de boten.	102
VI.5.7	: Opheffing van problemen bij tweestrooksverkeer door het plegen van ongrepen in de rivier.	103
VI.5.7.1	: Overgangslengte	104
VI.5.7.2	: Het benodigde uitzicht.	104
VI.5.7.3	: Het beschikbare uitzicht.	106

Aantal bijlagen bij hoofdstuk I t/m VI: 59

bijlage 60 t/m 66: Vergelijking duwvaart op de rivier de Moezel en de Gelderse IJssel.

Lijst van gebruikte literatuur:

- [1] Onderzoek naar de mogelijkheden van duwvaart op de Gelderse IJssel. R.M. Korthof. T.H. Delft.
- [2] Wegwijzer voor de binnenscheepvaart. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde.
- [3] Onderzoek naar de toekomstige mogelijkheden van duwvaart in Nederland. Een economische evaluatie. N.V.I.1969.
- [4] Waterloopkundig Laboratorium. Padbreedte van schepen in rivierbochten. Verslag modelonderzoek M 1240, feb. 1978. Deel I.
- [5] Idem. Deel II.
- [6] Idem. Deel III.
- [7] Recent studies on push-towing as a base for dimensioning waterways. Publication 194. November 1977. J. Bouwmeester, E. J. van de Kaa, H. A. Nuhoff and J. van Orden.
- [8] Waterloopkundig Laboratorium. Padbreedte van schepen in rivierbochten. M 1240 deel IV. Maart 1979. Interimnota.
- [9] Padbreedte van duwstellen in rivierbochten. Rijkswaterstaat dienst Verkeerskunde hoofdafdeling Scheepvaart. Nota S 73.3.
- [10] Calculation of turning ship derivatives in shallow water, J. Seibu Zosen Kai, no. 37, feb. 1969. S. Inoue and K. Murayama.
- [11] Overwegingen bij de vaart met duwstellen, bestaande uit 4 en/of 6 bakken, type E-II-A. Rijkswaterstaat, directie Bovenrivieren, afdeling Studiedienst. Nota 73.4.
- [12] Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium. Modelonderzoek naar de windbelasting op een duwvaartcombinatie. C. Leijnse. NLR TR 76144 L. November 1976.
- [13] Modelonderzoek R1396. Ir. W. de Vries, november 1980.
- [14] Blindnavigatie, een methodiek II door D. Breedveld. De Zee, jaargang 12, no. 2, feb. 1983.
- [15] Naturgrosse, experimentelle Untersuchungen zur Ermit-

vervolg lijst van gebruikte literatuur:

- lung der notwendigen Fahrwasserbreite in Krümmungen strömender Gewässer. Dr.-Ing. E. Schäle. Schiff und Hafen, Heft 8 1974, 26.Jahrgang.
- [16] Einige Studien über das Verhalten von Schubverbänden auf dem Main im Berg- und Talverkehr. Dr.-Ing. E. Schäle. Schiff und Hafen, Heft 7 1968. 20.Jahrgang.
- [17] Dimensionering van bochten en nevenaspecten. Concept-deelrapport IV van de werkgroep Vaarwegvakken. Rijkswaterstaat dienst Verkeerskunde hoofdafdeling Scheepvaart Nota S 82.15.2. Augustus 1982.
- [18] Literatuurstudie Knikstelsel van Roon, mei 1984. Marin.
- [19] Economisch onderzoek ten behoeve van zeskantduwvaart met onder meer knikbesturing.
- [20] Knikstelsel van Roon; Hinder en veiligheid. P. Kluytenaar en C. van der Tak.
- [21] Aktive Gelenkverbindung zwischen Schubboot und Leichverband zur Verbesserung des Manövrierverhaltens in allseitig beschränktem Fahrwasser. Zeitschrift für binnenschifffahrt und Wasserstrassen nr. 1/1973.
- [22] Optimalisatiestudie knikstelsel van Roon. Ir. E. R. Dolfin. Marin, juli 1984.
- [23] Möglichkeiten gelenkigen Schubaggregate auf der oberen Donau. Prof. dr. Völker 1964. Schiff und Hafen nr11/1964.
- [24] Selbstausrichtende gelenkige Schubverbände. Melchior. Hansa 1964. S 2021.
- [25] Weerstand en capaciteit van vaarwegen. Dictaat f13c. Ir. J. Bouwmeester. T.H. Delft 1984.
- [26] Onderzoek naar de wenselijkheid van een verruiming van de bocht bij Gorssel. Nota S 81.28. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde. Dordrecht dec. 1983.
- [27] Nota betreffende het verband tussen bodemhelling en kromtestraal bij rivieren. Rapporten en mededelingen van den Rijkswaterstaat nr. 21 - 1922. Dr. C. W. Lely.

vervolg lijst van gebruikte literatuur:

- [28] Duwvaart in kanalen. Verslag modelonderzoek M 782.
Deel IX: Zijwind. W.L. Delft.
- [29] Kurzinformation über die Mosel. W.S.A. Koblenz.
Aufgestellt im Mai 1984.

Lijst van gebruikte symbolen:

- A = zijdelings onderwateroppervlak van een duwstel.
A_{yw} = zijdelings bovenwateroppervlak van een duwstel.
b = padbreedte.
B = breedte van een duwconvooi.
B_{F ϕ} = padbreedte
B_{F ϕ} ^{*} = "extra" padbreedte
B_R = breedte van de rivier
B_R^{*} = afstand van het gewichtszwaartepunt van het duw-
stel tot aan de buitenbocht.
B_{Rmin} = minimaal benodigde rivierbreedte
B_R(OLR-2,00m.) = beschikbare breedte tussen de OLR-2,00m.
dieptelijnen.
c = richtingscoëfficiënt van de lineaire functie
 $\alpha = c \cdot v_a$.
c_D =
c_M = modelconstante.
c_{Mmin} = minimale waarde van c_M.
c_{Mmax} = maximale waarde van c_M.
c_g = coëfficiënt die de weerstand van de scheepsromp
tegen rotatie bepaalt.
c_{yw} = windkrachtcoëfficiënt.
c_{mw} = windmomentcoëfficiënt.
c_{BL} = blokcoëfficiënt.
c _{β} = coëfficiënt van de driftkracht.
c _{ω} = coëfficiënt van de dempingskracht.
c_R = rivierconstante die de helling van de rivierbodem
in dwarsrichting bepaalt.
F_x = kracht in x-richting.
F_y = kracht in y-richting.
F_z = kracht in z-richting.
F_{tan} = kracht in tangentiële richting.
F_{rad} = kracht in radiale richting.
G = plaats van het gewichtszwaartepunt.
g = zwaartekrachtsversnelling.
h = waterdiepte.

vervolg lijst van gebruikte symbolen:

- H_b = hoogte van de duwbakken boven water.
- I_z = traagheidsmoment van het schip om de z-as door het gewichtszwaartepunt.
- i = helling van de waterspiegel van de rivier in dwarsrichting.
- i_D = helling van de rivierbodem in dwarsrichting.
- k = koproerhoek.
- L = lengte van een duwconvooi.
- l' = overgangslengte.
- m = massa van het schip.
- M_z = moment om de z-as.
- n = constante die de minimum kiellijnafstand bepaalt.
- P = padbreedte.
- R = bochtstraal.
- R_b = bochtstraal van de rivier gerekend tot de binnenbocht.
- R_{TD} = bochtstraal van de rivier gerekend tot het tactisch draaipunt van het schip.
- R_G = bochtstraal van de rivier gerekend tot het gewichtszwaartepunt van het schip.
- R_{Gcr} = kritische bochtstraal op grond van de maximale koershoeknelheid van het schip.
- R_{is} = binnenste bochtstraal die raakt aan de duwboot in de situatie waarin "star" gevaren wordt.
- R_{ik} = binnenste bochtstraal die raakt aan de duwboot in de situatie waarin "geknikt" wordt gevaren.
- S = extra stuwkracht als gevolg van het versnellen van het schip in een rivierbocht.
- T = diepgang van het schip.
- T_D = plaats van het tactisch draaipunt.
- u = snelheid in x-richting (algemeen).
- \dot{u} = versnelling in x-richting (algemeen).
- v = snelheid in y-richting (algemeen).
- \dot{v} = versnelling in y-richting (algemeen).
- v_a = absolute snelheid van het schip ten opzichte van de oever.

vervolg lijst van symbolen:

- v_R = relatieve snelheid van het schip ten opzichte van het water.
- v_S = stroomsnelheid van het water.
- v_W = windsnelheid (algemeen).
- v_W = gemiddelde windsnelheid.
- v_{RV} = relatieve snelheid in y-richting ten opzichte van het water.
- v_{RW} = relatieve windsnelheid ten opzichte van het schip.
- v_{RAD} = snelheid van het schip in radiale richting.
- v_{TAN} = snelheid van het schip in tangentiële richting.
- Y_c = centrifugaalkracht in y-richting.
- Y_D, M_D = dwarskracht, giermoment werkend op het schip ten gevolge van het dwarsverhang van het water in een rivierbocht.
- Y_h, M_h = hydrodynamische dwarskracht, giermoment werkend op het schip ten gevolge van de scheepsbewegingen en het roergebruik.
- Y_{h0} = hydrodynamische dwarskracht bij "startcondities".
- Y_R, M_R = roerkracht, roermoment.
- Y_S, M_S = dwarskracht, giermoment veroorzaakt door het stromende water.
- Y_W, M_W = dwarskracht, giermoment veroorzaakt door wind.
- Y, M = driftkracht, driftmoment.
- Y, M = dempingskracht, dempingsmoment.
-
- α = hoek van inval van de wind met de x-as.
- α = constante in de formule van Schäle.
- α_1 = met L vermenigvuldigd is het de afstand van het midden van het duwstel tot aan het tactisch draaipunt.
- α_2 = met L vermenigvuldigd is het de afstand van het hek van het duwstel tot aan het gewichtszwaartepunt.
- β = drifthoek (algemeen).
- β_N = "nieuwe" drifthoek ontstaan door het plotseling versnellen in een rivierbocht.

vervolg lijst van gebruikte symbolen:

- β_0 = "oude" drifthoek, zonder versnellen in een rivierbocht.
- $\beta_{RED.}$ = reductie die ontstaat in de drifthoek wanneer plotseling in een rivierbocht versneld wordt: $\beta_{RED.} = \beta_0 - \beta_N$.
- β_{WIND} = evenwichtsdrifthoek die ontstaat bij varen in een kanaal onder invloed van veel wind.
- $\beta_{GEM.}$ = de gemeten drifthoek in het prototype.
- $\beta_{BER.}$ = de berekende drifthoek met behulp van formule (52).
- \downarrow = aanstroomhoek.
- δ = roerhoek.
- ΔB = "extra" padbreedte als gevolg van het varen in een bocht.
- ΔB_b = mate van bochtverbreding.
- Δm = toegevoegde (meebewegende) watermassa.
- ϵ = tangenhoek.
- ν = hoek die de stroomsnelheidsvector maakt met de negatieve y-as.
- κ = hoek die de stroomsnelheidsvector maakt met de positieve x-as.
- ρ = dichtheid van water.
- ρ_w = dichtheid van water.
- ρ_L = dichtheid van lucht.
- $\sigma_{c.m.}$ = standaardafwijking van de modelconstante.
- τ = hoek tussen de absolute en relatieve snelheidsvector.
- $\varphi_{1;4}$ = "hulphoek" (zie figuur 24).
- ω = koershoeksnelheid.
- $\dot{\omega}$ = koerhoekversnelling.
- ω_R = relatieve hoeksnelheid.
- $\omega_{max.}$ = maximale koershoeksnelheid.

Hoodstuk I - Algemene inleiding: Doelstelling, Randvoorwaarden, Probleemstelling.

I.1 Inleiding

In dit rapport zal worden gekeken naar de mogelijkheden van 2-baksduwvaart op de Gelderse IJssel, waar op het ogenblik alléén éénbaksduwvaart plaatsvindt. Waar in lit. [1] slechts een beschouwing plaatsvond over duwvaart op de Gelderse IJssel tussen Westervoort en Zutphen zal hier worden gekeken naar een onderdeel van het traject Zutphen-Zwolle, waar verschillende knelpunten een belemmering zullen vormen voor de vaart met twee bakken. Aangezien in het kader van dit afstudeerproject de mogelijkheden qua tijd en geld beperkt zijn kunnen niet alle aspecten die bij dit onderwerp een rol spelen de aandacht krijgen. Daarom diende een afbakening van het onderwerp plaats te vinden resulterende in een aantal beperkende randvoorwaarden waarbinnen het probleem benaderd werd.

Om de lezer van dit rapport direct kort en bondig duidelijk te maken wat voor eventueel bruikbare informatie aan dit rapport te ontleen valt volgt hier allereerst een opsomming van resp. doelstelling, randvoorwaarden en uitgangspunten en probleemstelling:

I.2 Doelstelling

Doelstelling: Onderzoek naar de mogelijkheden van 2-baksduwvaart op de gelderse IJssel binnen de te definiëren randvoorwaarden en uitgangspunten.

I.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Onderzocht wordt het traject Zutphen-Zwolle, waar enkele knelpunten slechts genoemd zullen worden. Eén knelpunt: de bocht bij Gorssel, wordt hier uitgelicht en een onderzoek vindt plaats naar de mogelijkheden die er zijn om dit knelpunt op te heffen. De oplossing van dit specifieke knelpunt kan als voorbeeld dienen, wat de aanpak betreft, voor andere bestaande knelpunten (krappe rivierbochten). Het kostenspect wordt volledig buiten beschouwing gelaten.

I-4. Overzicht van de belangrijkste onderwerpen

Allereerst wordt in hoofdstuk II een vrij uitvoerige algemene beschouwing gewijd aan de theorie van het bochtvaren, waarbij niet alleen zal worden gekeken naar 2-baksformaties. Daarna vindt in hoofdstuk III een vergelijking plaats met de praktijk, waarbij de waarde van de theoretische achtergrond kan worden afgeschat.

In hoofdstuk IV worden formules voor de benodigde padbreedte van duwvaartstellen in rivierbochten afgeleid, die in de praktijk zeer goed blijken te kloppen. Eén en ander dient als basis om de benodigde padbreedte van 2-baksduwstellen in de bocht bij Gorssel te kunnen voorspellen.

Daar soms een aanzienlijke beperking van de benodigde padbreedte kan worden verkregen door het aanbrengen van bepaalde voorzieningen op het duwstel, waardoor bovendien het manoeuvreervermogen toeneemt, wordt ook hieraan de nodige aandacht besteed in hoofdstuk V. In dit kader is van belang het modelonderzoek naar de mogelijkheden van zgn. "geknikte vaart", dat op dit ogenblik gaande is in het W.L. de Voorst.

Als ontwerp is gekozen de bocht bij Gorssel, waarbij verschillende alternatieven ter opheffing van dit knelpunt ten behoeve van 2-baksduwvaart nader worden uitgewerkt in hoofdstuk VI. Ook van belang is het zgn. "nulalternatief" d.w.z. kan de bocht bij Gorssel doorgevaren worden m.b.v. technische voorzieningen die het manoeuvreervermogen vergroten (denk aan kopbesturing en/of geknigte vaart) dan wel met een aangepaste vaartechniek.

I.4 Probleemstelling

1-baksduwvaart op de Gelderse IJssel is op dit moment aan de orde van de dag. Deze conclusie kan getrokken worden op grond van tellingen uitgevoerd in opdracht van het C.B.S. (zie bijlage 1). Het gaat hier om 132.000 ton vervoerde lading per jaar met behulp van 1-baksduwconvooien, hetgeen in vergelijking met andere vervoerswegen waarop duwvaart plaatsvindt een zeer bescheiden hoeveelheid is.

Wat hiervan de oorzaken zijn is moeilijk in het kort weer te geven, maar de belangrijkste oorzaak is natuurlijk wel de industrieële ontwikkeling van het afzetgebied van deze regio. Een heel andere beperkingsfactor vormt derivier de IJssel zelf: Omdat met maximaal één bak gevaren mag worden (in verband met de geldende voorschriften) zijn de kosten per ton vervoerde lading ook hoger dan wanneer bv. met twee bakken gevaren zou mogen worden.

Uit veiligheidsoogpunt zijn de volgende maximale scheepsafmetingen vastgesteld:

Traject IJsselkop - Harculo: lengte= 90m., breedte = 9,5m.

Traject Harculo - Ketelmond: lengte=110m., breedte =12,0m.

Als bijzondere bepaling geldt bovendien, dat de vaartuigen uitgerust dienen te zijn met een goed functionerende kopbesturing en dat de duwboot behorende tot een duwstel uitgerust moet zijn met zgn. "flanking roeren", zie lit.

[2]

Wanneer nu de vraag gesteld wordt, of de Gelderse IJssel ook geschikt is, of geschikt gemaakt moet worden voor 2-baks-duwvaart spelen o.m. de volgende factoren een rol:

1. De vervoerskosten.
2. De padbreedte van duwstellen in rivierbochten.
3. De hinder of het gevaar, die de waterbeweging (zuiging) om duwstellen aan andere vaartuigen en op de rivieroeveren c.q. rivierbodems veroorzaakt.
4. De manoeuvreerbaarheid.
5. De doorvaartbreedte van bruggen.
6. Andere factoren zoals de invloed van zijwind op duwvaartstellen. Bovendien kan geschiktmaking van de rivier voor 2-baksduwvaart invloed uitoefenen op factoren als natuur, milieu en recreatie.

ad. 1: De vervoerskosten.

Op bijlage 2 is vermeld het aandeel van het goederenvervoer op de Gelderse IJssel in 1981 uitgedrukt in miljoenen tonnen. Wanneer nu wordt overgegaan op 2-baksduwvaart zullen de kosten per ton vervoerde lading kunnen dalen; echter uit bovengenoemde bijlage blijkt, dat op de Gel-

derse IJssel het goederenvervoer een bescheiden plaats inneemt (minder dan vijf miljoen ton per jaar), waardoor de totale vervoerskosten waarschijnlijk niet zo spectaculair zullen dalen. Toch geven de volgende twee recente ontwikkelingen voldoende reden tot optimisme:

1. Het goederenvervoer op de Gelderse IJssel, gebaseerd op 1982, is fors gestegen: tussen Zwolle en Zutphen 10 tot 25 miljoen ton vervoerde lading per jaar (zie bijlage 3). (Recentere gegevens waren de schrijver van dit rapport niet voorhanden).

2. Er bestaan vergevorderde plannen, om het Prinses Margrietkanaal (zie bijlage 2) geschikt te maken voor 2-baksduwvaart, waardoor de Gelderse IJssel weleens een heel belangrijke schakel zou kunnen vormen in de vervoersketen naar het noorden, omdat dan geen gebruik meer hoeft te worden gemaakt van het Amsterdam-Rijnkanaal!

ad. 2: Padbreedte van duwstellen in rivierbochten.

Het zal in dit rapport duidelijk blijken, dat 2-baksduwstellen in rivierbochten sowieso meer ruimte in beslag nemen dan 1-baksduwstellen. Blijft alleen nog de vraag of 2-baksduwstellen in de lange dan wel brede formatie moeten varen. Op deze vraag wordt in hoofdstuk VI uitvoerig ingegaan evenals op andere factoren die de padbreedte van duwstellen in rivierbochten bepalen.

ad. 3: De hinder die de waterbeweging om (2-baks)duwstellen veroorzaakt aan andere (kleinere) vaartuigen.

Zoals bekend wordt door de schepen bij de boeg water verdrongen, terwijl achter het schip water wordt aangevuld. Langs het schip en onder de kiel ontstaat de retourstroom en bovendien ontstaat naast het schip een "kuil" in de waterspiegel: de spiegel daling (zie fig. 1 en 2).

Kleinere schepen kunnen zowel van de retourstroom als van de spiegel daling veel hinder ondervinden:

- Wanneer een klein schip een groter schip oploopt (in dit geval een 2-baksduwstel) ondervindt het vooral hinder in positie 1 (fig. 2). Het kleine schip moet dan over voldoende kracht bezitten om de retourstroom te overwinnen

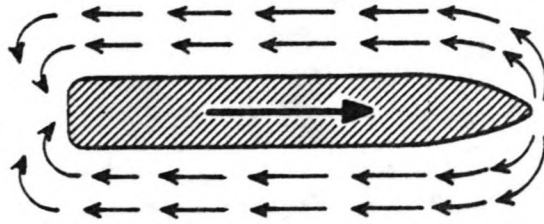


Fig. 1: Waterbeweging rond varend schip.

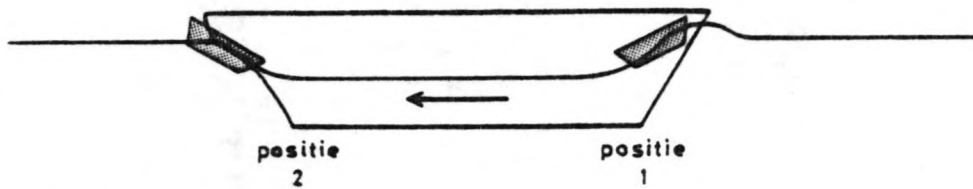


Fig. 2: Oplopen.

en tevens uit de kuil omhoog te klimmen. Vaak lukt dit alleen, indien het grote schip (2-baksduwstel) wat snelheid terugneemt. Conclusie: Oploopmanoeuvres leveren voor het kleine schip altijd reistijdverliezen op en voor het grote schip (2-baksduwstel) soms.

- Wanneer een klein schip door een groter schip wordt opgelopen ondervindt het vooral hinder in positie 2 (fig. 2). Het wordt dan op de hekgolf van het grote schip meegezogen en bovendien naar het grote schip toegezogen en is in die positie minder goed bestuurbaar (zie ook bijlage 4).
- Kleine schepen die op de rivier voor anker liggen, kunnen door de waterbeweging van grote schepen van hun ankers worden gelicht.

Echter de hinder die de waterbeweging om 2-baksduwstellen veroorzaakt aan andere vaartuigen hoeft niet groter te zijn dan van 1-baksduwstellen! Dit is nl. sterk afhankelijk van het aangewend vermogen: Zo is bij hetzelfde aangewend vermogen de vaarsnelheid van 2-baksduwstellen kleiner, dan van 1-baksduwstellen en zo ook de hiermee samenhangende verschijnselen. Wanneer bovenomschreven hinder onaanvaardbaar groot zou worden bestaan er een aantal algemene oplossingen zoals:

- Instellen van wachttijden, of inhaalverboden c.q. ontmoet-

tingsverboden. Dit laatste houdt bv. in, dat de opvaart ruim voor de bocht m.b.v. marifoon en/of radar informeert of er afvaart in aantocht is, opdat voor de bocht gewacht kan worden, dan wel snelheid kan worden teruggenomen, zodat in de bocht geen ontmoeting plaatsvindt.

- Vaarweg verbreden en/of bochtstraal vergroten.
- Eisen stellen aan aflaaddiepte en snelheid van de duwformatie.

Deze maatregelen hebben echter allen tot gevolg, dat de vervoerskosten direct of indirect zullen toenemen!

ad. 3: De schade die de waterbeweging om (2-baks)duwstellen veroorzaakt aan rivieroeveren en -bodems.

Door de waterbeweging van passerende schepen spoelt zand weg uit de vakken tussen de kribben, terwijl de aanval op de kribben en strekdammen zelf versterkt kan worden, vooral wanneer er op de rivier vlak langs de kribkoppen wordt gevaren, bv. in een buitenbocht. De onderhoudskosten kunnen daardoor toenemen bij de invoering van 2-baksduwvaart, die een heftiger waterbeweging zal veroorzaken, vooral wanneer het aangewend vermogen zal toenemen.

ad. 4: Manoeuvrerbaarheid.

Een 2-baksduwstel zal, vooral bij laag water, slechter manoeuvrerbaar zijn dan een 1-baksduwstel. Het aanbrengen van bepaalde technische voorzieningen om de manoeuvrerbaarheid te verbeteren, daar anders varen op de bestaande vaarweg onaanvaardbare risico's met zich mee zou brengen, zal ook weer kostenverhogend werken.

ad. 5: De doorvaartbreedte van bruggen.

De doorvaartbreedte van bruggen is meestal een beperkende factor als de bakken in de brede formatie worden geduwd; echter de lengte van het convoi is ook een belangrijke factor, aangezien ook hierdoor de padbreedte in bochten toeneemt, zodat ook bruggen in rivierbochten voor lange 2-baksformaties een knelpunt kunnen gaan vormen!

ad. 6: De invloed van zijwind.

De invloed van zijwind is zodanig, dat ze drifthoekver-grotend kan werken, waardoor 2-baksduwstellen (door het groter aangrijpingsoppervlak van de wind) een grotere extra padbreedte opeisen dan 1-baksduwstellen.

I.5 Het vaarwegenbeleid in Nederland.

De regering heeft haar beleidsvoornemens met betrekking tot het vaarwegennet beschreven in de vaarwegennota, het structuurschema vaarwegen deel A: Beleidsvoornemen, en het structuurschema vaarwegen deel D: Regerigsbeslissing, die dateren uit 1975, 1977 en 1981.

De hoofddoelstelling van het vaarwegenbeleid luidt: De zorg voor een vaarwegennet, dat is afgestemd op de behoefte aan vervoer te water en bevordering van een veilige en vlotte afwikkeling van het scheepvaartverkeer (beroeps- en recreatievaart), zodanig dat -binnen het kader van het totale overheidsbeleid- een zo groot mogelijke bijdrage wordt geleverd aan het algemeen welzijn.

In de regeringsbeslissing wordt deze hoofddoelstelling nader uitgewekt. Hierbij lijken vooral twee punten van belang, nl.:

1. Het vaarwegenbeleid moet worden afgestemd op:
 - een gewenste economische ontwikkeling.
 - een gewenste ruimtelijke ontwikkeling en de gewenste ecologische condities (=natuurbelang).
 - wensen van andere belangen, zoals die betreffende het leefmilieu van de mens, de waterhuishouding, de recreatie en het landschap.
2. Voor de aanleg of verbetering van een vaarweg dient een analyse van de economische voor- en nadelen te worden gemaakt.

Het moge duidelijk zijn, dat bovenstaande punten wel degelijk van belang zijn, daar ze als het ware de randvoorwaarden van hoger af vormen waarbinnen verbeteringen van het vaarwegennet, in casu de Gelderse IJssel, moeten worden gerealiseerd.

De Gelderse IJssel is benoemd tot zgn. "hoofdvaarweg", d.w.z. het is een vaarweg, die van nationaal belang wordt geacht;

dit in tegenstelling tot de zgn. "overige vaarwegen", die slechts van regionaal belang zijn.

Angezien in Frankrijk en Duitsland een aantal vergelijkbare vaarwegen ingericht worden (of reeds ingericht zijn) voor de vaart met 2-baksduwstellen rijst de vraag, of dit in Nederland ook gewenst is.

In dit kader wordt in de regeringsbeslissing gesteld, dat er onderzoek zal worden verricht naar de mogelijkheden voor de vaart met twee bakken, o.a. op de IJsselroute, daar deze op grond van het vervoerspatroon daarvoor in aanmerking komt (zie ook bijlagen 1 t/m 3). Hierbij kan ook worden verwezen naar een economische evaluatie, die is verricht door het N.V.I. (Nederlands Vervoerswetenschappelijk Instituut) over de toekomstige mogelijkheden van duwvaart in Nederland (lit. [3]). Eén van de conclusies die naar voren komen is, dat de Gelderse IJssel één van de vaarwegen is welke potentieel een grote betekenis hebben voor duwvaart.

Op grond van dit alles is door Rijkswaterstaat een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van 2-baksduwvaart op de Gelderse IJssel, waarvan de uitkomst in zoverre teleurstellendis, dat de voordelen van een vaarwegverbetering niet opwegen tegen de kosten.

Daar in dit rapport het kostenaspect volledig buiten beschouwing blijft (zie onder I.3) wordt door de schrijver van dit rapport een stuk vaarwegverbetering nabij Gorssel uitgewekt met in het achterhoofd de mogelijke bruikbaarheid hiervan in de toekomst wanneer bij gunstige economische ontwikkelingen één en ander toch rendabel wordt.

Hoofdstuk II - De theorie van het bochtvaren.

II.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen wat theoretische beschouwingen worden gewijd aan het bochtvaren van een duwformatie. Wanneer nl. een duwstel een rivierbocht ingaat zal het een zekere "aanpassingstijd vergen, voordat hij zich -bij benadering- in een stationaire draai bevindt. Uitdrukkelijk is vermeld, bij benadering, aangezien in de praktijk natuurlijk nooit sprake kan zijn van een stationaire toestand (denk aan sterk wisselende windkrachten, stromingskrachten, roer- en schroefkrachten etc., om maar niet te spreken van het feit dat een rivierbocht nooit zuiver cirkelvormig is).

Echter om een theoretische beschouwing op te zetten is een schematisatie van de werkelijkheid noodzakelijk. Op deze schematisaties wordt verderop in dit hoofdstuk nader ingegaan.

Ondanks het feit, dat de hier te behandelen theorie gebaseerd is op (grove?) schematisaties, wordt deze toch van groot belang geacht, aangezien dan toch inzicht kan worden verkregen in de belangrijkste grootheden die bij het bochtvaren een rol spelen.

Alvorens op de theorie in te gaan, wordt eerst aandacht besteed aan de belangrijkste parameters die bij het bochtvaren een rol spelen en aan de resultaten van een modelonderzoek, dat nog niet zo lang geleden heeft plaatsgevonden in het W.L. de Voorst. De resultaten van dit onderzoek geven nl. al een belangrijke indicatie over de relatieve invloed van verschillende parameters.

Aan het eind van dit hoofdstuk zullen dan deze resultaten worden gebruikt om de theorie hieraan te toetsen, hetgeen zal leiden tot een formule voor de evenwichtsdrifthoek.

II.2 Definities

De belangrijkste parameters, die tijdens het bochtvaren een rol spelen en die in grote mate invloed uitoefenen op de bepaling van de padbreedte zijn (zie fig. 3):

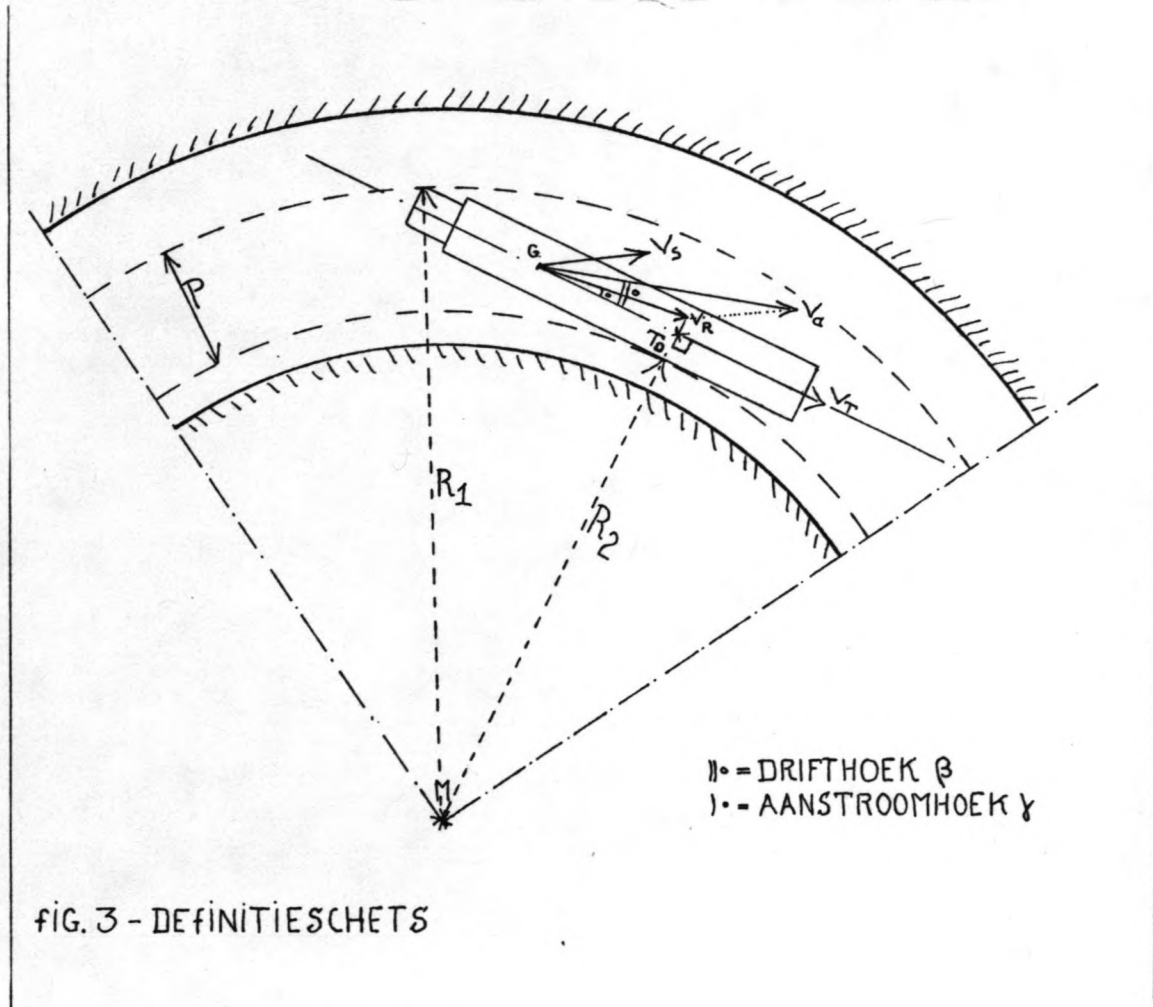


FIG. 3 - DEFINITIE SCHETS

a. absolute snelheid (v_a).

Dit is de snelheid van het statisch zwaartepunt van het gehele duwconvooi t.o.v. de bodem van de rivier. De richting van v_a is evenwijdig aan de raaklijn van de as van het vaarwater.

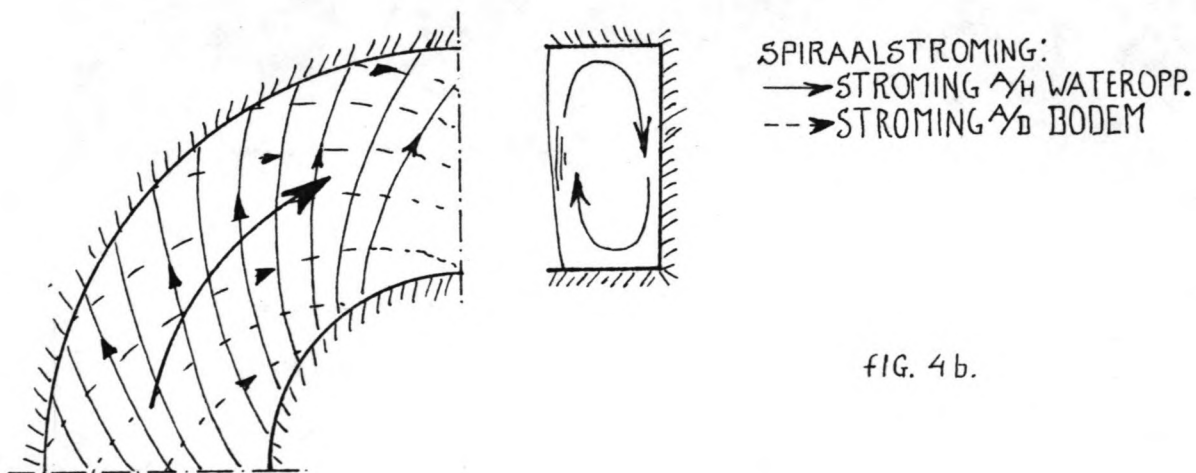
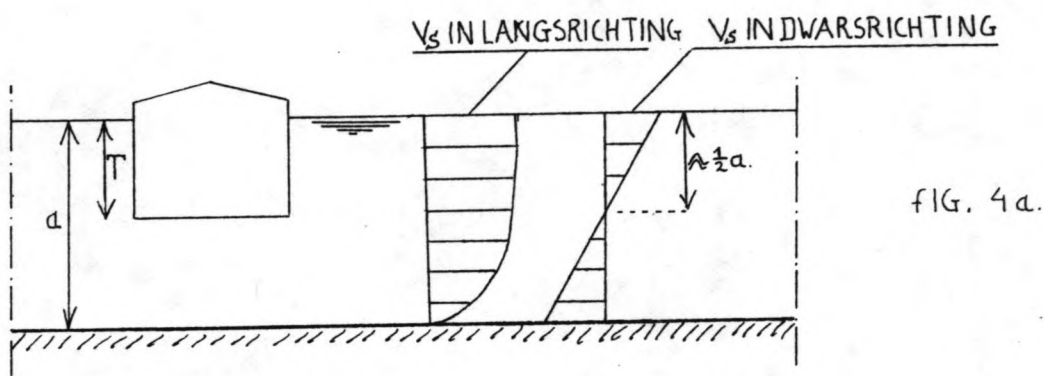
b. stroomsnelheid (v_s).

Dit is de gemiddelde snelheid van het water, die wordt berekend als het quotient van het ingestelde debiet en het natte doorstroomprofiel.

Gemiddeld over het dwarsprofiel is de richting van v_s ongeveer gelijk aan de richting van v_a .

c. relatieve snelheid (v_R).

Dit is het vectoriële verschil van de absolute snelheid en de stroomsnelheid, gemiddeld genomen over het zijdelings onderwateroppervlak van het schip. Omwille van de éénvoud wordt hier een gemiddelde genomen, daar anders deze relatieve snelheid niet éénvoudig bepaald zou zijn. Dit komt doordat ze als gevolg van de in een rivierbocht optredende spiraalstroming, zowel in lengterichting van het schip als in diepterichting varieert. Dit wordt verduidelijkt in fig. 4a en fig. 4b.



Uit deze figuren blijkt, dat er een duidelijke wisselwerking is tussen de diepgang van het schip en de stroming rondom het schip. Volgens bovenstaande definitie van v_R wordt nl. de stroomsnelheid gemiddeld genomen over het zijdelings onderwateroppervlak, dus ook over de diepgang,

waardoor bij geringe diepgang het schip een veel grotere drift naar de buitenbocht krijgt opgedrongen dan bij grote diepgang (zie de snelheidsverdeling over de diepte in dwarsrichting in fig. 4a).

Bij grote diepgang (of liever gezegd grote diepte-diepgang verhouding) is het stromingsproces rond het schip echter zeer ingewikkeld, waardoor er zeer moeilijk een uitspraak te doen is over de gemiddelde stroomsnelheid over het zijdelings onderwateroppervlak, hetgeen onderstaande schets (fig.4c) moge verduidelijken; hierbij kan het schip met grote diepte-diepgang verhouding als een klein dammetje in de rivier worden geschematiseerd.

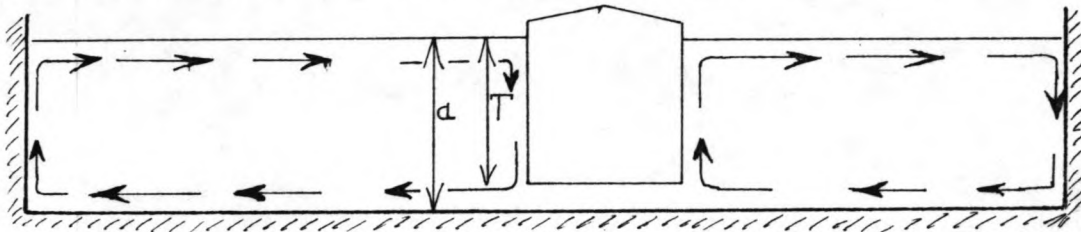


FIG. 4c.

d. drifthoek (β).

Dit is de hoek tussen de absolute snelheidsvector van het statisch zwaartepunt van het schip en de lengteas van het schip.

e. aanstroombhoek (γ).

Dit is de hoek tussen de richting van de relatieve snelheidsvector van het statisch zwaartepunt van het schip en de lengteas van het schip.

f. plaats van het tactisch draaipunt (T_D).

Dit is het punt, gelegen op de as van het schip, waarvan de snelheidsvector samenvalt met de as van het schip. Zou men in ieder punt op de lengteas van het schip de snelheden ontbinden in langsscheepse richting en dwarsscheepse richting, dan zijn natuurlijk de langsscheepse ontbondenen in alle punten gelijk. De grootte van de dwarsscheepse ontbondenen hangt af van de afstand tot het tactisch draaipunt. Voor iemand die zich aan

boord bevindt, draait het schip dus schijnbaar om punt (T_D). Bij een zeer gelijkmatige bochtmanoeuvre ligt het punt veelal op $1/6$ à $1/3 \cdot L$ achter de voorsteven van het schip (vuistregel!), waarbij L de lengte van het schip is.

g. padbreedte (P).

Dit is de breedte van de vaarbaan en wordt bepaald door twee uiterste stralen t.w. R_1 en R_2 . $P = R_1 - R_2$.

II.3 Resultaten van modelonderzoek

II.3.1 Inleiding

In de periode 1974-1978 is in opdracht van Rijkswaterstaat een modelonderzoek uitgevoerd (schaal 1:25) naar de benodigde padbreedte van duwvaartstellen in rivierbochten, waarbij het programma van onderzoek slechts een beperkt aantal variabelen bevatte: vaarsnelheid en -richting, stroomsnelheid, waterdiepte, diepgang en samenstelling van de duweenheid. Er werden twee bochtstralen onderzocht ($R=750$ m. en $R=1250$ m.) met duwstellen met en zonder koproeren, waarbij ook het dwarsprofiel van de vaarweg onveranderd bleef. Voor een gedetailleerde beschrijving van het proevenprogramma en de gebruikte apparatuur wordt verwezen naar de desbetreffende verslagen (lit. [4], [5], [6]). In dit hoofdstuk wordt echter volstaan met een bespreking van de belangrijkste resultaten en conclusies:

II.3.2 Resultaten en conclusies

M.b.v. een dimensie-analyse kunnen tenminste zeven dimensieloze parameters worden gevonden, die de padbreedte van een schip tijdens het bochtvaren beïnvloeden (zie ook lit. [7]). Na de analyse van de proefresultaten is geconstateerd, dat onder omstandigheden waarbij drifthoeken optreden met een waarde van $\beta=5$, de invloed van een vijftal dimensieloze parameters zodanig domineert, dat β beschouwd kan worden als een functie van deze vijf parameters welke achtereenvolgens de revu zullen passeren:

1. v_A/v_R = verhouding absolute snelheid - relatieve snelheid.

Als de overige parameters constant zijn, is het verband tussen de drifthoek β en v_A/v_R lineair, zie fig. 5 op

bijlage 5.

2. h/T = verhouding diepte-diepgang.

De parameter h/T heeft een groter effect op de drifthoek β . De drifthoek bereikt voor toenemende h/T asymptotisch een maximum dat afhankelijk is van de formatie (L, B, T), v_A/v_R en R ; zie fig. 6 op bijlage 5.

3. L/B = verhouding lengte - breedte. B/T = verhouding breedte - diepgang.

Bij een benadering m.b.v. dimensie-analyse ligt de invloed van de formatie opgesloten in de L/B en B/T verhoudingen. De invloed van deze parameters kan niet los van elkaar worden gezien, omdat beide parameters elkaar wederzijds beïnvloeden en in relatie staan met andere parameters als R/L en h/T .

Uit fig. 7 op bijlage 5 kan echter de conclusie worden getrokken, dat een toename van de parameter B/T , door een afname van de diepgang, in een grotere drifthoek resulteert, wanneer de overige parameters onveranderd blijven (zie de discontinuïteit in de $h/T - \beta$ lijnen). Men ziet ook in fig. 7, dat wanneer de breedte van de formatie toeneemt (dus afname van L/B en toename van B/T) en overige parameters onveranderd blijven dit leidt tot een toename van de drifthoek β .

4. R/L = verhouding bochtstraal - scheepslengte.

De drifthoek β neemt af als R/L toeneemt en wel meer naarmate v_A/v_R en h/T groter zijn (zie fig. 8 op bijlage 5).

Van belang zijn ook de volgende conclusies:

- Wanneer een schip tijdens het varen door een rivierbocht de evenwichtsstand heeft bereikt, dient de roerkracht om het aanwezige labiele evenwicht van krachten en momenten te handhaven. De directe bijdrage van de roerkracht aan het krachtenevenwicht en de invloed van de roerkracht op de evenwichtsdrifthoek zijn daarbij van ondergeschikte betekenis.
- De spiraalstroming veroorzaakt een verschil tussen de aanstroomhoek γ en de drifthoek β . Geïntegreerd over het

gehele lateraaloppervlak zal dit verschil niet meer bedragen dan circa vier graden, mits het schip een snelheid ten opzichte van het water heeft, die hoger is dan de stroomsnelheid.

- Uit vergelijking van de modelresultaten met een achttal praktijkproeven met 4- en 6-baksduwconvooien blijkt, dat de gemiddelde padbreedte in de praktijk bij overeenkomstige waarden van de onderscheiden parameters, tot circa 20% af kan wijken van de waarde die uit de geïnterpreteerde modelresultaten volgt. Gemiddeld genomen blijkt, dat de drifthoeken in de praktijk iets groter zijn dan de waarden die in het model werden gevonden.

II.4 Theoretische afleiding van een formule voor de evenwichtsdrifthoek m.b.v. de "zero-aspect-ratio wing theory", lit. [8] en [9].

In het algemeen gelden voor een varend schip de volgende bewegingsvergelijkingen:

$$\Sigma F = m \cdot \dot{v} \quad (1)$$

$$\Sigma M = I \cdot \dot{\omega} \quad (2)$$

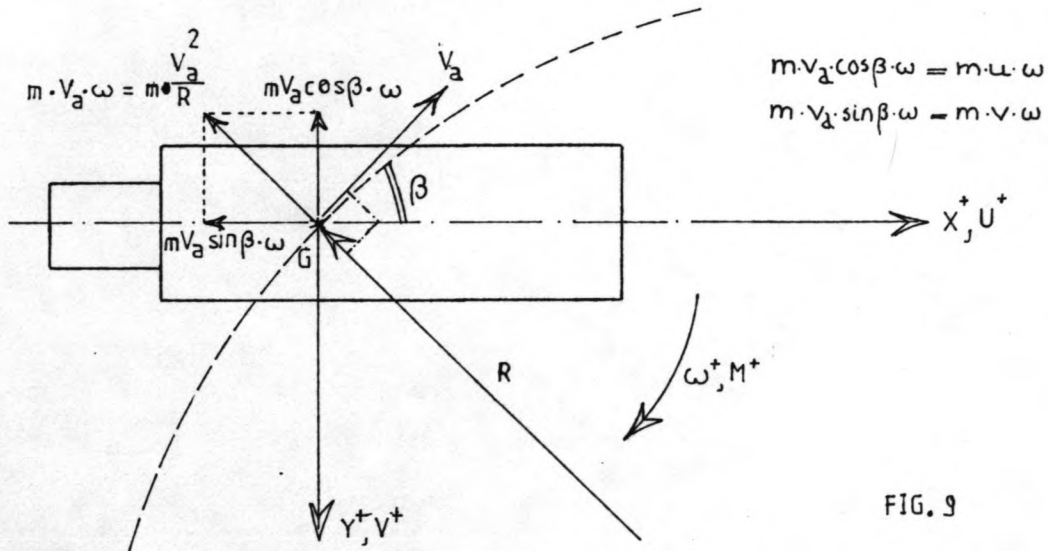


FIG. 9

Wanneer de bewegingen ten opzichte van een aardvast assenkruis worden gedefinieerd en uitsluitend bewegingen in het horizontale vlak worden beschouwd, zijn deze vergelijkingen als volgt uit te splitsen:

$$\Sigma F_{x_0} = m \cdot \dot{u}_0 \quad (3)$$

$$\Sigma F_{y_0} = m \cdot \dot{v}_0 \quad (4)$$

$$\Sigma M_{z_0} = I \cdot \dot{\omega}_0 \quad (5)$$

Hierin zijn x_0, y_0 en z_0 de coördinaten van het aardvaste assenkruis en stellen F_{x_0} en F_{y_0} de krachten en u_0 en v_0 de versnellingen in x_0 resp. y_0 -richting voor. M_{z_0} is het moment om de z_0 -as \perp het vlak van tekening en $\dot{\omega}_0$ de hoekversnelling. Wordt nu overgegaan op een met het schip meebewegend assenkruis (x, y, z) , dan gaan deze vergelijkingen over in:

$$\Sigma F_x = m \cdot (\dot{u} - v \cdot \omega) \quad (6)$$

$$\Sigma F_y = m \cdot (\dot{v} + u \cdot \omega) \quad (7)$$

$$\Sigma M_z = I \cdot \dot{\omega} \quad (8)$$

De linkerleden van deze vergelijkingen stellen de krachten en het moment voor, die op het schip werken, te weten:

$$\Sigma F_y = Y_h + Y_s + Y_D + Y_w \quad (9)$$

$$\Sigma M_z = M_h + M_s + M_D + M_w \quad (10)$$

Hierin is:

Y_h, M_h = hydronamische dwarskracht, giermoment werkend op het schip ten gevolge van de scheepsbewegingen en het roergebruik.

Y_s, M_s = dwarskracht, giermoment werkend op het schip ten gevolge van het stromende water.

Y_D, M_D = dwarskracht, giermoment werkend op het schip ten gevolge van het dwarsverhang van het water in de rivierbocht.

Y_w, M_w = dwarskracht, giermoment werkend op het schip ten gevolge van wind.

Opmerkingen:

1. Voor de beschouwing van de stationaire toestand van een duwstel op een draaicirkel, is de bewegingsvergelijking in x-richting niet van invloed op bepaling van de evenwichtsdrifthoek, zodat deze in het vervolg buiten beschouwing wordt gelaten.
2. Verder zal in deze afleiding de invloed van wind buiten beschouwing worden gelaten, zodat $Y_w = M_w = 0$.
3. Aangenomen wordt, dat de dwarsverhangkracht aangrijpt in het scheepszwaartepunt, zodat $M_D = 0$.

Bovenstaande krachten en momenten zullen nu aan een nadere beschouwing worden onderworpen:

a. De hydrodynamische dwarskracht (Y_h) en het hydrodynamisch giermoment (M_h).

Uit bovenstaande definitie van Y_h volgt bij constant schroeftoerental:

$$Y_h = Y_h(u, v, \dot{u}, \dot{v}, \omega, \dot{\omega}, \delta) \quad (11)$$

$$M_h = M_h(u, v, \dot{u}, \dot{v}, \omega, \dot{\omega}, \delta) \quad (12)$$

Hierbij stelt δ de roerhoek voor (zie fig. 9).

Vergelijking (11) en (12) kunnen ontwikkeld worden in een Taylorreeks met als startwaarden $u = v_a \cdot \cos \beta$ en

$$v = \omega = \dot{\omega} = \dot{u} = \dot{v} = \dot{\delta} = 0.$$

De afhankelijkheid van Y_h van u en \dot{u} komt in de Taylorreeks alleen tot uitdrukking in hogere-orde termen, wat volgt uit symmetriebeschouwingen van de krachten (zie lit. [9]).

Een eerste orde benadering volgens Taylor ziet er dan ook als volgt uit:

$$Y_h = Y_{ho} + \left(\frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v + \frac{\delta Y_h}{\delta \dot{v}} \cdot \dot{v} + \frac{\delta Y_h}{\delta \omega} \cdot \omega + \frac{\delta Y_h}{\delta \dot{\omega}} \cdot \dot{\omega} + \frac{\delta Y_h}{\delta \delta} \cdot \delta \right) \quad (13)$$

Hierin is:

Y_{ho} = hydrodynamische verzetkracht bij genoemde startcondities; $Y_{ho} \cong 0$.

$\frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v$ = driftkracht.

$\frac{\delta Y_h}{\delta \omega} \cdot \omega$ = dempingskracht ten gevolge van het roteren van het schip.

$\frac{\delta Y_h}{\delta \dot{v}} \cdot \dot{v}$ = toegevoegde massakrachten ten gevolge van de driftversnelling.

$\frac{\delta Y_h}{\delta \dot{\omega}} \cdot \dot{\omega}$ = toegevoegde massakrachten ten gevolge van de koershoekversnelling.

$\frac{\delta Y_h}{\delta \delta} \cdot \delta$ = roerkracht.

Opmerkingen:

1. Als $v = v_a \cdot \sin \beta$ voor kleine drifthoeken wordt omgezet tot $v \cong v_a \cdot \beta$ volgt voor de driftkracht:

$$\frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v = \frac{\delta Y_h}{\delta (v_a \cdot \beta)} \cdot v_a \cdot \beta = \frac{\delta Y_h}{\delta \beta} \cdot \beta$$

2. De toegevoegde massatermen ontleen hun naam aan het feit, dat hun coëfficiënten de dimensie van een massa bezitten, Deze termen zijn zodoende direct interpreteerbaar. In de literatuur (zie ook lit. [9]) wordt hier soms de consequentie aan verbonden dat deze toegevoegde watermassa ook invloed zal uitoefenen op de grootte van de centrifugaalkracht. In deze kracht dient de massa dan geschreven te worden als $m + \Delta m$, waarin de toegevoegde massa Δm gelijk is aan $\delta Y_h / \delta \dot{v}$. Dit leidt tot de principieel andere, maar juiste vergelijking: $\Sigma F_y = (m + \Delta m) \cdot (\dot{v} + u \cdot \omega)$.

Dit impliceert weer dat de kracht Y_h geen term $(\frac{\delta Y_h}{\delta \dot{v}} \cdot \dot{v}) \cdot v$ meer bevat, immers deze term is nu overgebracht naar het rechterlid van de vergelijking. Voor de hier te beschouwen afleiding is dit detail echter niet van belang, daar het een effect van tweede- of hogere orde representeert (zie lit. [9]). Ook gezien het karakter van andere verwaarlozingen in de bewegingsvergelijkingen wordt in het hiernavolgende de invloed van de toegevoegde massaterm op de centrifugaalkracht verwaarloosd.

Wanneer een schip zich in een stationaire draai bevindt geldt: $\dot{u} = \dot{v} = \dot{\omega} = 0$, zodat:

$$Y_h = \frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v + \frac{\delta Y_h}{\delta \omega} \cdot \omega + \frac{\delta Y_h}{\delta \delta} \cdot \delta = Y_\beta + Y_\omega + Y_R \quad (14)$$

Op dezelfde manier kan worden afgeleid, dat het hydrodynamisch giermoment tijdens het stationaire bochtvaren kan worden benaderd door:

$$\begin{aligned} M_h &= \frac{\delta M_h}{\delta v} \cdot v + \frac{\delta M_h}{\delta \omega} \cdot \omega + \frac{\delta M_h}{\delta \delta} \cdot \delta = \frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v \cdot a_D + \frac{\delta M_h}{\delta \omega} \cdot \omega + \frac{\delta Y_h}{\delta \delta} \cdot \delta \cdot a_R = \\ &= Y_\beta \cdot a_D + \frac{\delta M_h}{\delta \omega} \cdot \omega + Y_R \cdot a_R = M_\beta + M_\omega + M_R \end{aligned} \quad (15)$$

Waarin:

a_D = afstand aangrijpingspunt van de driftkracht tot het scheepszwaartepunt.

a_R = afstand aangrijpingspunt van de roerkracht tot het scheepszwaartepunt.

Samenvatting:

Voor het geval van het stationaire bochtvaren, kan bij verwaarlozing van hogere orde termen en bij verwaarlozing van de windinvloed, de volgende vergelijkingen worden uitgeschreven op grond van (9), (10), (14) en (15):

$$\Sigma F_Y = Y_\beta + Y_\omega + Y_R + Y_s + Y_D = m \cdot u \cdot \omega = m \cdot \frac{v^2}{R} \cos \beta = Y_C \quad (16)$$

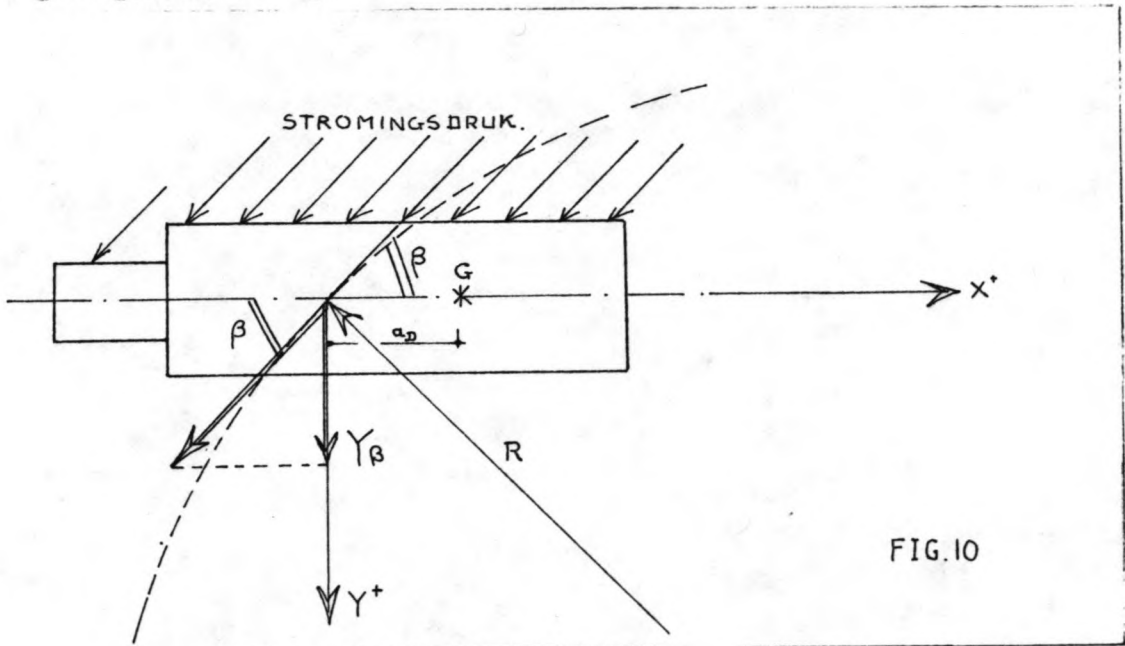
$$\Sigma M_z = M_\beta + M_\omega + M_R + M_s = 0 \quad (17)$$

Hierin stelt Y_C de centrifugaalkracht voor.

De krachten Y_β , Y_ω en Y_R worden nu nader bekeken, evenals de momenten M_β en M_ω :

a1. De driftkracht Y_β en het driftmoment M_β .

Om evenwicht te maken met voornamelijk de centrifugaalkracht dient het schip onder een hoek β te gaan varen in een rivierbocht, waardoor een driftkracht Y_β geïntroduceert wordt. Deze kracht ontstaat doordat het schip als gevolg van die drifthoek een ontbondene van de stromingsdruk in dwarsscheepse richting krijgt opgelegd (zie fig. 10).



Aangezien deze driftkracht in het algemeen niet in het zwaartepunt aan zal grijpen wordt bovendien een driftmoment geïntroduceert: $M_\beta = Y_\beta \cdot a_D$.

Met behulp van de zgn. "zero-aspect-ratio wing theory" (lit. [8]) is een indruk te krijgen van de grootte van deze kracht met bijbehorend moment.

Bovendien wordt in lit. [10] een berekeningswijze gepresenteerd om de invloed van beperkte waterdiepte op de afgeleiden weer te geven. De resultaten van die berekeningen wijzen erop, dat de afgeleiden vrijwel lineair met de ceelclearancefactor $h/h-T$ verlopen, waarbij h de waterdiepte en T de diepgang van het schip voorstellen. Y en M kunnen nu als volgt worden weergegeven:

$$Y_\beta = \frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v = -\frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_a \cdot L \cdot T \cdot v \quad (18)$$

$$M_\beta = Y_\beta \cdot a_D = -\frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_a \cdot L^2 \cdot T \cdot v \quad (19)$$

zie voor de tekenafspraken fig. 9.

a2. De dempingskracht Y_ω en het dempend moment M_ω .

Door de koershoeknelheid van het schip ten opzichte van het water, zal het schip een dempend moment onder- vinden van de gedaante $M_\omega = (\delta M / \delta \omega) \cdot \omega$.

Ter illustratie van dit moment dient onderstaande fi- guur 11 van de drukverdeling rond het schip.

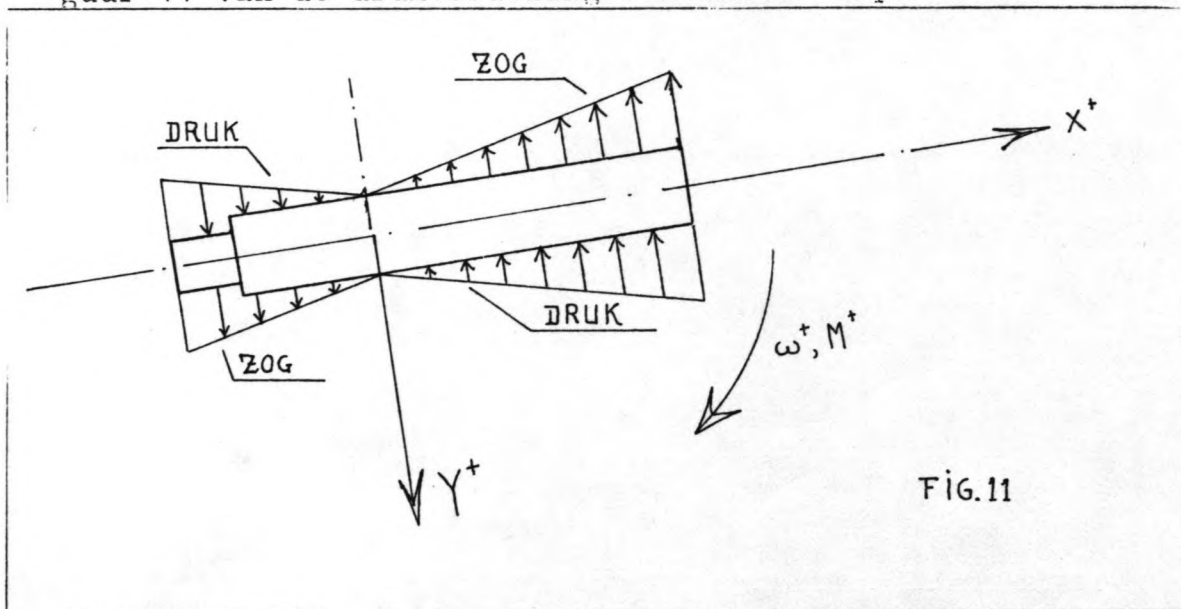


FIG.11

Door de asymmetrie van het schip resulteert uit deze drukverdeling een Y_ω . In het hier te beschouwen geval met een duwstel zal Y_ω door de grote mate van symme- trie rond de y-as, klein zijn.

Met behulp van lit. [8] en [10] is weer een indruk van deze kracht resp. moment te krijgen:

$$Y_\omega = \frac{\delta Y_h}{\delta \omega} \cdot \omega = + \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_a \cdot L^3 \cdot T \cdot \omega \quad (20)$$

$$M_\omega = \frac{\delta M_h}{\delta \omega} \cdot \omega = - \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_a \cdot L^3 \cdot T \cdot \omega \quad (21)$$

b . De dwarsverhangkracht Y_D .

Zoals uit fig. 12 (op de volgende bladzijde) blijkt, is de dwarsverhangkracht Y_D gelijk aan:

$$Y_D = m \cdot i \cdot g \cdot \cos \beta \quad (22)$$

waarin i = dwarsverhang.

Dit dwarsverhang is ongeveer gelijk aan v_s^2 / gR . (zie ook lit. [11]), waardoor formule (22) overgaat in:

$$Y_D = m \cdot \frac{v_s^2}{R} \cdot \cos \beta \quad (23)$$

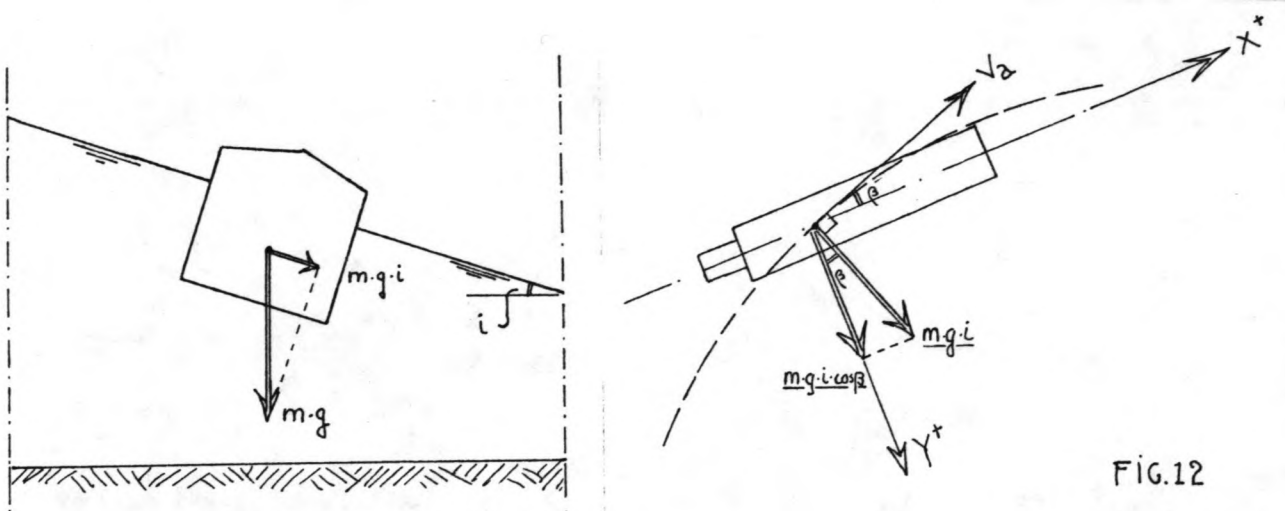


FIG.12

c. De roerkracht Y_R en het roermoment M_R .

In het algemeen zullen de vectoren van de op het schip werkende dwarsscheepse krachten tijdens de stationaire toestand bij het bochtvaren niet alle samenvallen, zodat hierdoor een koppel op het schip resulteert. Door middel van het roer (roeren) en/of koproer(en) wordt een moment gegenereerd, dat tesamen met bovengenoemd moment een momentenevenwicht tot stand brengt.

Voor een gedetailleerde beschrijving van deze roerkracht en dit roermoment wordt verwezen naar de literatuur, waarin formules voor de roerkracht worden afgeleid en waarbij de verschillende effecten, die een rol spelen worden beschreven (zie lit. [9]).

Vermeldenswaard is nog een handzame formule uit lit. [11]

$$Y_R = 2 \cdot c_q \cdot \rho \cdot T \cdot L^3 \cdot \frac{v_R^2}{R} \quad (24)$$

waarin :

c_q = coëfficiënt die de weerstand van de scheepsromp tegen rotatie bepaalt; c_q is voornamelijk afhankelijk van $(h - T)$ en B , terwijl de afhankelijkheid van v_a en v_R relatief zwak is. De orde van grootte van c_q wordt geraamd op 0,03 à 0,25 (voor grote resp. kleine kielspeling).

Voor het hier beschouwde probleem wordt echter uitge-

gaan van de benadering:

$$M = -Y_R \cdot \frac{1}{2}L \quad (25)$$

d. De dwarskracht Y_s en het giermoment M_s .

Deze kracht en het hierdoor veroorzaakte moment, werkend op het schip en veroorzaakt door het stromende water, kunnen verdisconteerd worden in alle bovengenoemde krachten en momenten door de krachten te beschouwen als niet langer evenredig met de in het scheepsvaste assenkruis gedefinieerde scheepsbewegingen, maar met de relatieve bewegingen van het schip ten opzichte van het stromende water.

De consequenties hiervan zijn, dat de in dit betoog gebruikte absolute snelheden vervangen dienen te worden door relatieve snelheden, zodat:

$$v_a \text{ wordt: } v_R = v_a - v_s \quad (26)$$

$$v \text{ wordt: } v_{R,V} = -(v_a - v_s) \cdot \beta \quad (27)$$

$$\omega \text{ wordt: } \omega_R = (v_a - v_s) \cdot (1/R) \quad (28)$$

Hierbij is stroom mee als positief gerekend.

Verder wordt aangenomen, dat de stroomrichting over de scheepslengte niet varieert en dat deze richting samenvalt met de raaklijn aan de bochtstraal ter plaatse van het scheepszwaartepunt en dus met de absolute snelheidsvector. Kortom, de invloed van de in de rivierbocht aanwezige spiraalstroming wordt volledig genegeerd. Wat de invloed hiervan is op de uitkomst van dit betoog, wordt later besproken in hoofdstuk

Wanneer nu de gevonden betrekkingen voor de verschillende op het schip werkende krachten en momenten te weten de vergelijkingen (18) t/m (22) en (25) t/m (28) worden gesubstitueerd in de vergelijkingen (16) en (17) volgt een betrekking voor de drifthoek β in het scheepszwaartepunt:

$$\beta_G = \frac{L \cdot B}{\pi \cdot T \cdot R} \cdot \left(2 \frac{v_a}{v_R} - 1\right) \cdot \left(1 - \frac{T}{h}\right) \quad (29)$$

Daar bovenstaande uitdrukking voor β een nogal belangrijk onderdeel vormt voor het vervolg van dit rapport is het goed nogeens op een rijtje te zetten onder welke voorwaarden en verwaarlozingen bovenstaande betrekking geldig is:

II.5 Belangrijkste verwaarlozingen bij de afleiding van β

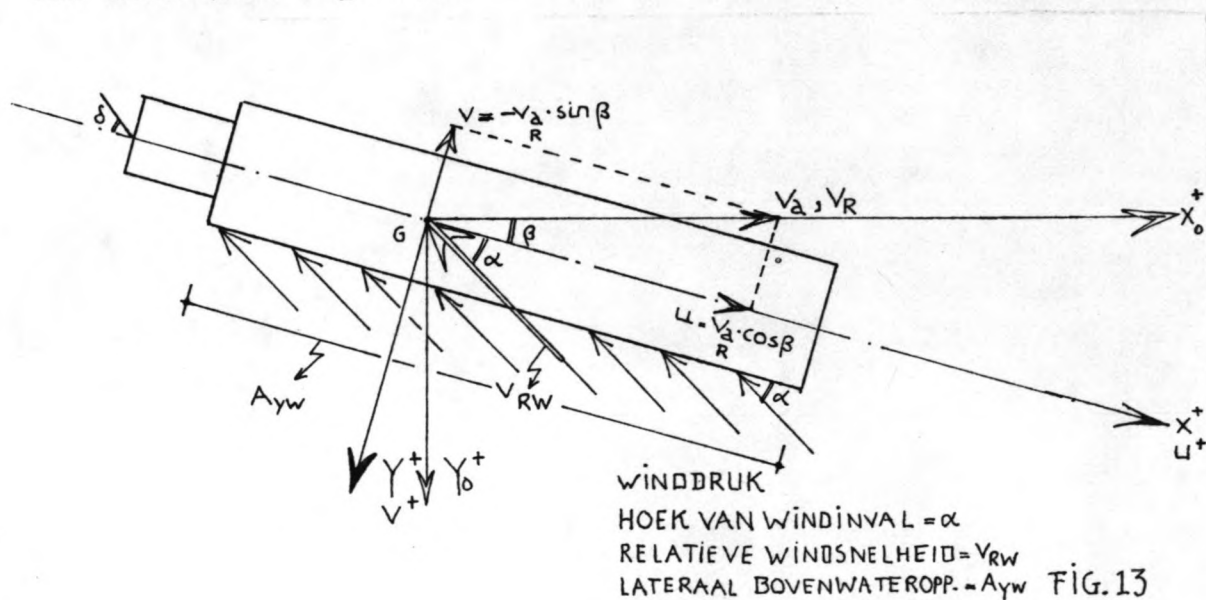
1. Windinvloed.

In formule (29) is de invloed van zijwind op de evenwichtsdrifthoek niet verwerkt, aangezien het tamelijk ingewikkeld is om dit voor duwstellen in rivierbochten exact na te gaan. Dit vanwege de steeds van richting veranderende hoek van inval op het schip en de windkracht zelf die steeds varieert en vaak gepaard gaat met stoten.

Om toch enigszins een indruk te krijgen van het effect van zijwind op de drifthoek β wordt hier zowel kwantitatief als kwalitatief wat nader op ingegaan.

1a. Kwalitatief.

Om een indruk te krijgen van de orde van grootte van β als gevolg van zijwind wordt hier het eenvoudige geval beschouwd van een schip in een recht kanaal onder invloed van wind (zie fig. 13).



De dwarskracht, die de wind uitoefent op de (hoog) boven het wateroppervlak uitstekende lege bakken, kan alleen maar worden gecompenseerd door het schip onder een drifthoek te laten varen, waardoor het scheef aanstromende water een tegenkracht vormt.

Er kan dan weer een evenwichtsbeschouwing worden opgezet voor de krachten in Y-richting en de momenten:

$$\Sigma F_Y = Y_w + Y_\beta + Y_R = 0 \quad (30)$$

$$\Sigma M_z = M_w + M_\beta + M_R = 0 \quad (31)$$

Deze vergelijkingen kunnen als volgt worden uitgeschreven:

$$c_{Yw}(\alpha) \cdot \frac{1}{2} \rho_L v_{RW}^2 \cdot A_{Yw} + \frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v + Y_R = 0 \quad (32)$$

$$c_{Mw}(\alpha) \cdot \frac{1}{2} \rho_L v_{RW}^2 \cdot A_{Yw} \cdot L + \frac{\delta M_h}{\delta v} \cdot v + M_R = 0 \quad (33)$$

waarin:

- $c_{Yw}(\alpha)$ = windkracht coëfficiënt (-)
- $c_{Mw}(\alpha)$ = windmoment coëfficiënt (-)
- ρ_L = dichtheid van lucht (kg/m³)
- L = scheepslengte (m)
- $\frac{\delta Y_h}{\delta v} \cdot v$ = driftkracht (N)
- $\frac{\delta M_h}{\delta v} \cdot v$ = driftmoment (Nm)

Voor kleine drifthoeken overheerst het lineaire gedeelte van de driftkracht en het driftmoment, waardoor de tweede orde termen weer verwaarloosd kunnen worden.

Verder kan de roerkracht geëlimineerd worden door weer aan te nemen $M_R = -Y_R \cdot \frac{1}{2}L$.

Dan volgt

$$v = -\frac{1}{2} \rho_L v_{RW}^2 \cdot \frac{c_{Yw} \left(1 + 2 \cdot \frac{c_{Mw}}{c_{Yw}}\right)}{\frac{\delta Y_h}{\delta v} \left(1 + 2 \cdot \frac{\delta M_h}{\delta v} \cdot L\right)} \quad (34)$$

$$\text{Stel nu: } Y'_v = \frac{\delta Y_h}{\delta v} / \frac{1}{2} \rho_w A \cdot v_R \quad (35)$$

$$\text{en: } M'_v = \frac{\delta M_h}{\delta v} / \frac{1}{2} \rho_w A \cdot v_R \cdot L \quad (36)$$

waarbij:

v_R = relatieve snelheid t.o.v. het water (m/s)

A = lateraaloppervlak van het onderwaterschip (m²)

$$\text{bovendiengeldt: } \sin \beta = -\frac{v}{v_R} \quad (37)$$

Dan volgt uit formule (34) t/m (37)

$$\beta_{wind} = \frac{\rho_L}{\rho_w} \cdot \frac{v_{RW}^2}{v_R^2} \cdot \frac{A_{Yw}}{A} \cdot \frac{c_{Yw} \left(1 + 2 \cdot \frac{c_{Mw}}{c_{Yw}}\right)}{Y'_v \left(1 + 2 \cdot \frac{M'_v}{Y'_v}\right)} \quad (38)$$

Uit deze relatie valt heelduidelijk de afhankelijkheid van de drifthoek β van de factoren A_{Yw}/A en $(v_{RW}/v_R)^2$ af te lezen. De coëfficiënten c_{Mw} en M'_v geven de aangrijpingspunten van de windkracht resp. driftkracht aan.

Wanneer $c_{Mw}/c_{Yw} \gg M'_v/Y'_v$ dan is het schip zgn. lijgierig en moet het opgestuurd worden, hetgeen weer een extra

dwarskracht met zich meebrengt die de drifthoek vergroot. In nov. '76 is door het N.L.R. (Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium) een onderzoek uitgevoerd naar de windbelasting op een ongeladen duwvaartcombinatie (zie lit. [12]). Eén van de resultaten van dit onderzoek was, dat een empirische relatie werd gevonden tussen de coëfficiënten c_{MW} en c_{Yw} als functie van de relatieve hoek van inval van de wind (zie onderstaande figuren 13 en 14).

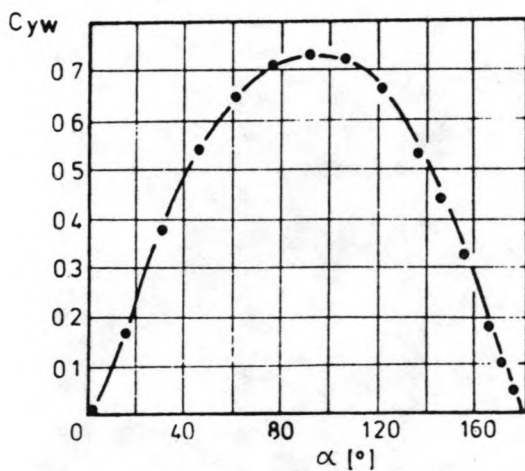


FIG.13

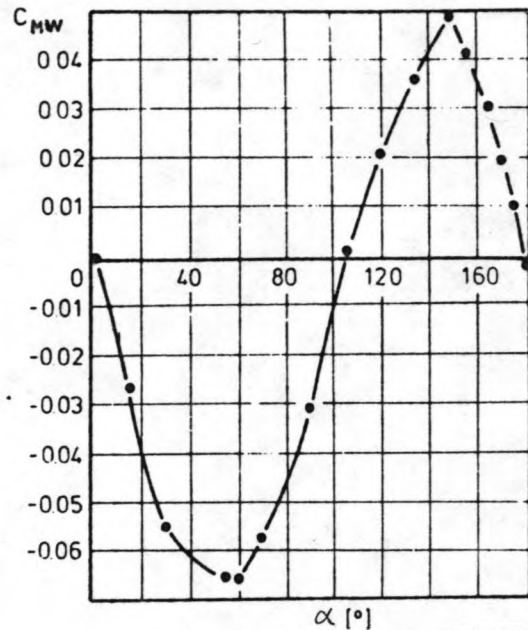


FIG.14

Als men de samengestelde functie $c_{Yw} + 2 \cdot c_{MW}$ beschouwd, dan bereikt deze een maximum van ca. 0,82, voor $\alpha \cong 105^\circ$, wanneer de bakken open zijn.

Verder geldt voor een lege duweenheid: $M'_V/Y'_V \cong -0,2$. (zie lit. [13]). Volgens Duitse gegevens kan Y'_V variëren van 0,5 - 1,5 afhankelijk van onder andere de diepte-diepgangverhouding (lit. [13]).

Wanneer men nu bovenstaande gegevens invult in (38) en men neemt voor $\rho_L = 1,30 \text{ kg/m}^3$ dan volgt:

$$\beta = \frac{1,27}{1000} \cdot \frac{V_{RW}^2}{V_R^2} \cdot \frac{A_{Yw}}{A} \quad (39)$$

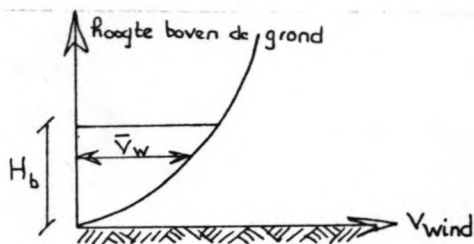
waarin $Y'_V = 1,4$.

Relatie (39) is voor verschillende waarden van de factor A_{Yw}/A uitgezet in figuur 15 op bijlage 6. Op die manier kan een aardige indruk worden verkregen van de relatieve invloed die de verschillende factoren die vergelijking

(39) beheersen.

Bij bovenstaande afleidingen dienen wel de volgende kanttekeningen te worden gemaakt:

- De in het model van het N.L.R. gemeten waarden voor de winddrukcoëfficiënten (voor een leeg 4-bakduwstel!) kunnen natuurlijk afwijken van de waarden in de praktijk. Denk hierbij aan schaaleardeffecten en het feit, dat in het model het verloop van de windsnelheid niet exact kon worden nagebootst.
- Het snelheidsverloop van de wind over de verticaal ziet er ongeveer als volgt uit (fig. 16):



H_b - HOOGTE VAN DE BAKKEN BOVEN WATER
 \bar{V}_w - GEMIDDELTE WINDSNELHEID

fig.16

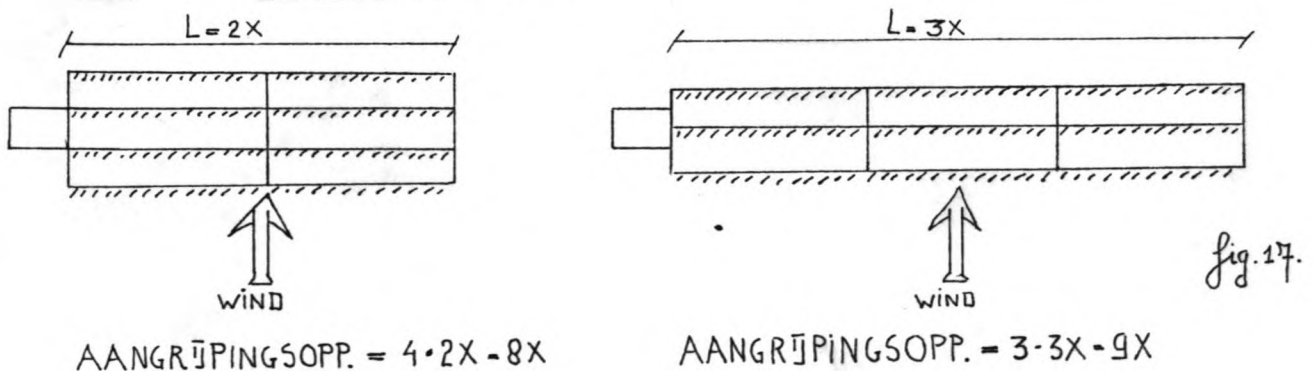
In formule (39) dient nu de gemiddelde windsnelheid over de hoogte H (d.i. de hoogte van de bakken boven water) te worden gesubstitueerd, hetgeen moeilijk in de praktijk valt af te leiden uit de steeds door het K.N.M.I. opgegeven windsnelheid op 10 m. hoogte.

- Wind heeft een zeer turbulent karakter. Korte fluctuaties (bv. met perioden van enkele secondes) zijn voor het gedrag van duwstellen niet maatgevend. Wel belangrijk zijn de fluctuaties met perioden van enkele minuten of meer. Door deze fluctuaties kan de in rekening te brengen windsnelheid hoger uitvallen dan de opgegeven gemiddelde snelheid.

b. Windinvloed kwalitatief.

Nu onder a een indruk is gegeven van de zeer forse invloed die wind kan uitoefenen op de ingenomen drifthoek en de daarmee samenhangende padbreedte van duwstellen, zal hieronder een bespreking plaatsvinden van de belangrijkste hulpmiddelen die de invloed van wind zoveel mogelijk beperken:

1. Het is van groot belang of de (on)geladen duwbakken gesloten dan wel open zijn. Bij een gesloten dek zal de totale winddwarskracht kleiner zijn dan bij een open constructie, omdat in het laatste geval de inkomende wind meer aangrijpingsoppervlak heeft (vergelijk met een wrijvingskracht over een glad of ruw oppervlak). Zoals al eerder is vermeld is door het N.L.R. modelonderzoek gedaan naar de windbelasting op een 4-baksduwconvooi. Als resultaat van het onderzoek komen de volgende conclusies 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 ongeveer op gelijk niveau.
 - Het maximale giermoment als gevolg van wind is bij voorlijke windrichtingen ca. 75% groter bij open bakken. Bij windrichtingen achterlijker dan dwars is het verschil in de orde van 5%.
2. In de praktijk zijn de bakken voor het merendeel open. Het kan dan nog uitmaken of, bij gelijk aantal bakken het convooi in een lange dan wel brede formatie vaart. Voor bv. een formatie van 6 bakken betekent dit, dat de brede formatie een relatief kleinere totale dwarskracht door wind zal ondervinden dan de lange formatie (zie onderstaande fig.17).



Dit is het directe gevolg van het veel grotere aangrijpingsoppervlak bij de lange formatie.

3. Ballasten.

In theorie zou het ballasten van de lege laadruimte van duwbakken een gunstige invloed kunnen uitoefenen op de ingenomen padbreedte; immers de factor $A_{\gamma w}/A$ (zie formule (39)) wordt hierdoor verkleind.

Echter dit ballasten lijkt in de praktijk niet haalbaar wegens:

- de enorme pompcapaciteit die dan per bak beschikbaar moet zijn, om snel te kunnen ledigen of vullen.
- het ontstaan van translatiegolven in de bakken tijdens het varen waardoor de bestuurbaarheid sterk terug loopt.

Men moet eerder denken aan het ballasten van de luchtkasten in de zij, die vele duwbakken hebben. Volgens lit. [28] wordt de situatie duidelijk beter wanneer er reeds één bak wordt geballast, bij voorkeur één van de voorste bakken van het duwstel. Bovengenoemde bezwaren blijven dan echter onverminderd gelden.

4. Zwaarden.

Eveneens volgens lit. [28] zou het gebruik van zwaarden onder of naast de bakken ook tot aanzienlijke verbetering kunnen leiden. Indien men hiertoe zou overgaan kunnen om praktische redenen alleen zijzwaarden in aanmerking komen. Dergelijke voorzieningen zouden vooral in het havenbedrijf aan veel schade onderhevig zijn, waardoor de werkzaamheid tijdens de ongeladen vaart niet gegarandeerd is. Ookal omdat de rederijen van het standpunt uitgaan: "Zo min mogelijk bewegende delen op de bakken", lijkt het voorschrijven van een dergelijke voorziening geen reële zaak.

5. Beschutting vanaf de oevers.

Wanneer bv. dijken, bomen of bebouwing langs de rivier staan zal op de duweenheid een kleinere kracht aangrijpen dan overeenkomt met de heersende windsnelheid op een open vlakte. Het verdient daarom aanbeveling om daar waar de beschutting ontbreekt deze kunstmatig aan te vullen en in ieder geval plotselinge overgangen te

vermijden.

6. Neerlaten van boegankers.

In de praktijk komt het nogal eens voor, dat bij grote windkracht dwars op het schip, de kapitein besluit om de boegankers van de bakken een stuk in het water te laten hangen, om zodoende de weerstand tegen zijdelings uitwijken van de boeg een ietwat te vergroten.

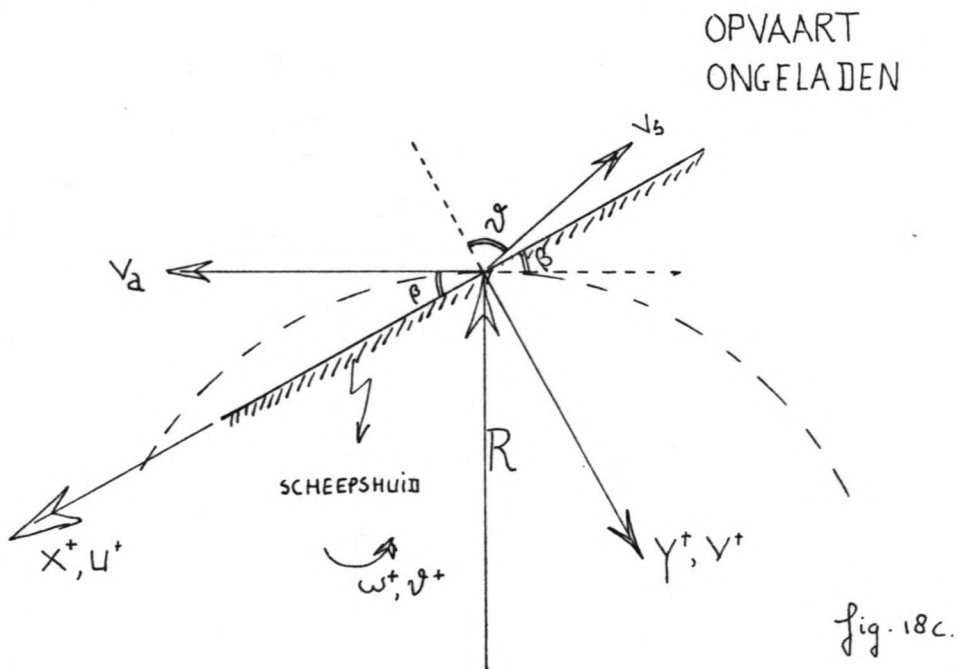
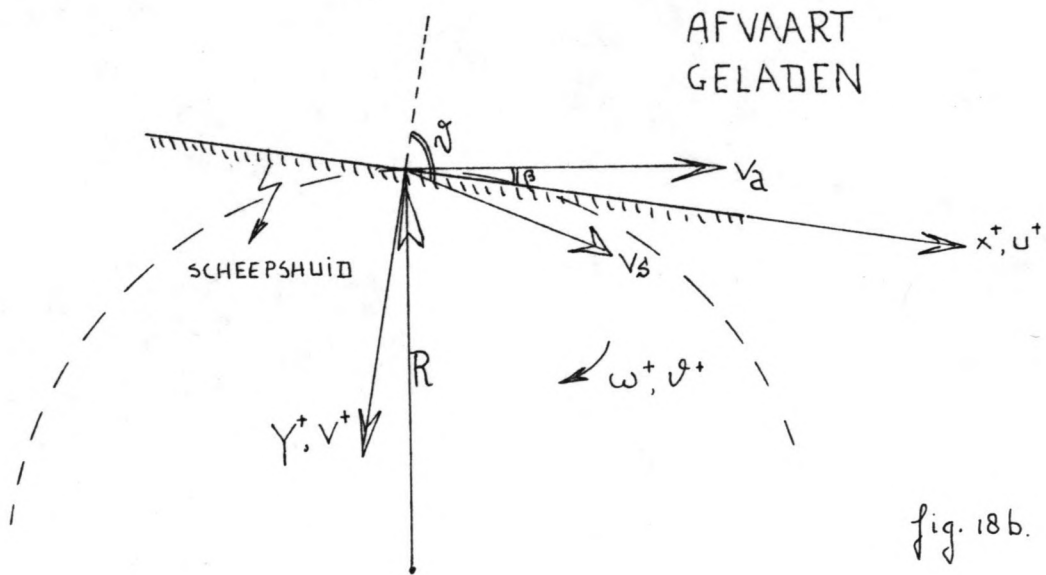
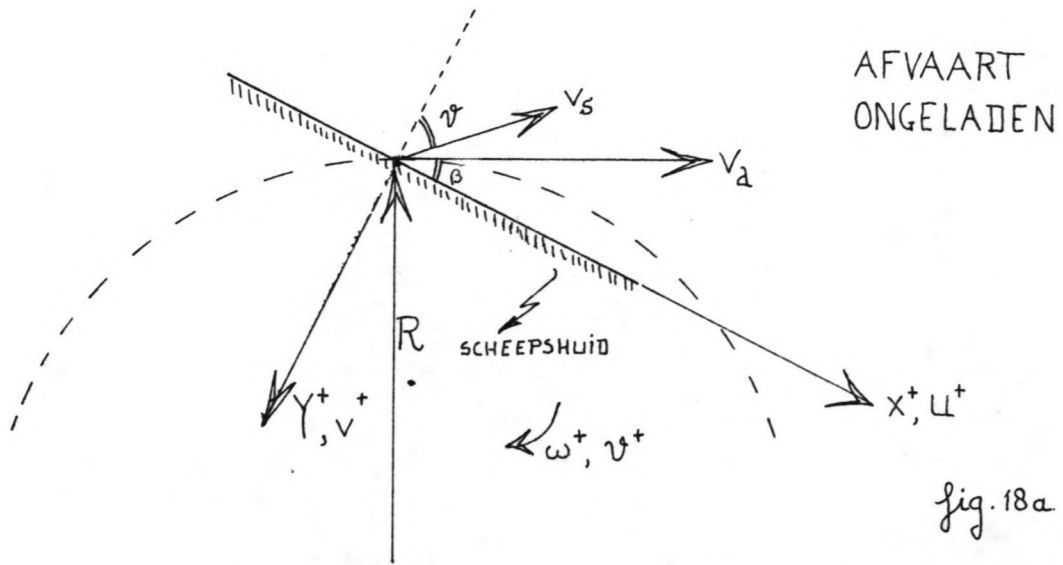
2. Spiraalstroming

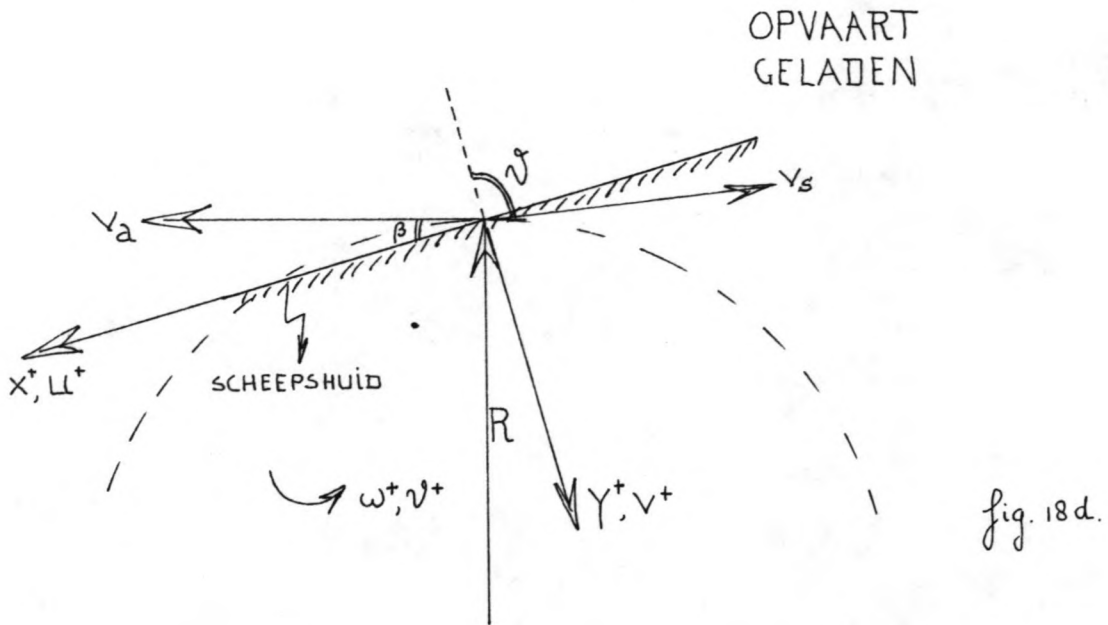
Aangenomen is, dat de stroomrichting van het water samenvalt met de absolute snelheidsvector, waardoor de invloed van de in een rivierbocht aanwezige spiraalstroming niet in formule (29) is verwerkt (zie ook blz.11).

Wordt met die spiraalstroming echter wel rekening gehouden, dan zal de drifthoek β in het algemeen een grotere waarde krijgen, dan op grond van formule (29). Vooral in ongeladen toestand ondervindt het schip voornamelijk invloed van de stroming naar de buitenbocht (zie ook fig. 4), waardoor onder een grotere drifthoek dient te worden gevaren, dan wanneer de stromingsrichting gelijk zou zijn aan die van de absolute snelheidsvector.

In geladen toestand is op grond van het onduidelijke stromingspatroon moeilijk te zeggen of de resulterende stromingsdruk naar de buitenbocht dan wel naar de binnenbocht gericht zal zijn. Hoogstwaarschijnlijk blijft een resulterende stroom naar de buitenbocht gericht, daar het schip vrijwel nooit tot aan de bodem van de rivier is afgeladen. Om duidelijk te maken welke invloed de verschillende resulterende stromingsrichtingen van het water op de uiteindelijke drifthoeken hebben kunnen vier gevallen worden onderscheiden (zie fig. 18a t/m 18d).

Voor het gemak worden de situaties waarin de resulterende stromingsrichting binnen het positieve y-vlak vallen aangeduid met de geladen toestand. Met nadruk wordt er nogmaals op gewezen, dat dit niet het geval hoeft te zijn, maar sterk afhankelijk is van de h/T-verhouding. Aan de andere kant kan laatstgenoemde situatie (zie fig. 18b en 18d) alleen voorkomen bij geladen toestand van de duwstel-





len.

De afleiding uit hoofdstuk II.4 kan nu opnieuw worden opgezet voor de afzonderlijke situaties (18a t/m 18d), waarbij met behulp van de zgn. "zero-aspect-ratio wing theory" [8] de krachten en momenten die van invloed zijn op de drifthoek β aan een meer algemene beschouwing worden onderworpen.

- De driftkracht Y_β en het driftmoment M_β .

Volgens lit. [8] is:

$$Y_\beta = - \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot L \cdot T \cdot u \cdot v = c_\beta \cdot u \cdot v \quad (40)$$

waarin $c_\beta = - \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot L \cdot T$

u = snelheid in langsrichting van het schip

v = snelheid in dwarsrichting van het schip

Wanneer nu de stromingskrachten weer in deze driftkracht worden verwerkt, dan gaat formule (40) - rekening houdend met de spiraalstroming - over in:

situatie a en b: afvaart - $v_s > 0$ - $\nu > 0$

$$Y_\beta = -c_\beta \left[(v_a \cdot \cos \beta - v_s \cdot \sin \nu) \cdot (v_a \cdot \sin \beta - v_s \cdot \cos \nu) \right] \quad (41a)$$

situatie c en d: opvaart - $v_s < 0$ - $\nu < 0$

$$Y_\beta = -c_\beta \left[(v_a \cdot \cos \beta + v_s \cdot \sin \nu) \cdot (v_a \cdot \sin \beta + v_s \cdot \cos \nu) \right] \quad (41b)$$

Deze krachten gaan voor $\vartheta = 90^\circ - \beta$ respectievelijk voor $\vartheta = 90^\circ + \beta$ over in de formule voor de driftkracht zoals die is gebruikt in hoofdstuk II.4:

$$Y_\beta = -c_\beta (v_d - v_s)^2 \cdot \sin \beta \quad (41c)$$

Voor de driftmomenten in afvaart respectievelijk opvaart geldt dezelfde redenatie, zodat:

$$M_\beta = Y_\beta \cdot \frac{1}{2}L \quad (42)$$

- De dempingskracht Y_ω en het dempend moment M_ω .

Volgens lit. [8] is de dempingskracht gelijk aan:

$$Y_\omega = + \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot L^2 \cdot T \cdot u \cdot \omega = c_\omega \cdot u \cdot \omega \quad (43)$$

$$\text{waarin } c_\omega = + \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot L^2 \cdot T$$

Wanneer de stromingskrachten weer worden verwerkt in de dempingskracht Y_ω , dan gaat vergelijking (43) - weer rekening houdend met de spiraalstroming - over in:

situatie a en b: afvaart - $v_s > 0$ - $\vartheta > 0$

$$Y_\omega = +c_\omega \cdot \left[v_d \cdot \cos \beta - v_s \cdot \sin \vartheta \right] \cdot \frac{v_a - v_s \cdot \sin(\vartheta + \beta)}{R} \quad (44a)$$

situatie c en d: opvaart - $v_s < 0$ - $\vartheta < 0$

$$Y_\omega = +c_\omega \cdot \left[v_d \cdot \cos \beta + v_s \cdot \sin \vartheta \right] \cdot \frac{v_a + v_s \cdot \sin(\vartheta - \beta)}{R} \quad (44b)$$

Eveneens gaan deze krachten voor $\vartheta = 90^\circ - \beta$ respectievelijk voor $\vartheta = 90^\circ + \beta$ over in de formule voor de dempingskracht zoals die is gebruikt in hoofdstuk II.4:

$$Y_\omega = +c_\omega \cdot \frac{(v_a - v_s)^2}{R} \quad (44c)$$

En voor het dempingsmoment geldt gewoon weer:

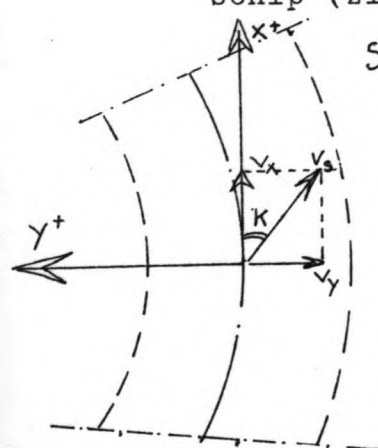
$$M_\omega = -Y_\omega \cdot \frac{1}{2}L \quad (45)$$

- De overige krachten (Y_D en Y_R) en momenten (M_D en M_R) ondergaan geen veranderingen ten opzichte van de situatie waarin geen rekening werd gehouden met de spiraalstroming.

Wanneer nu met de gewijzigde krachten een nieuwe evenwichtsbeschouwing (zie formules (16) en (17)) wordt opgezet, dan resulteert hieruit de volgende betrekking voor de drifthoek β , die rekening houdt met de in een rivierbocht aanwezige spiraalstroming:

$$\sin \beta \approx \beta = \frac{(v_a - v_s)^2}{v_a^2 - v_a v_s \sin \vartheta} \left[1 + \frac{v_a v_s \cos \vartheta - v_s^2 \sin \vartheta \cos \vartheta}{v_a^2 - v_s^2} * \frac{h}{h-T} * \frac{\pi T R}{BL} \right] \quad (46)$$

Gelet op de tekenafspraken dient in afvaart een $v_s > 0$ en $\vartheta > 0$ ingevult te worden en in opvaart een $v_s < 0$ en $\vartheta < 0$! Echter deze betrekking voor de drifthoek β geeft alleen de hoek tussen de absolute snelheidsvector en de lengte-as van het schip. De werkelijke drifthoek wordt bij aanwezigheid van de spiraalstroom bepaald door de hoek tussen de relatieve snelheidsvector en de lengte-as van het schip (zie fig. 19a en 19b).



SPIRAALSTROMING

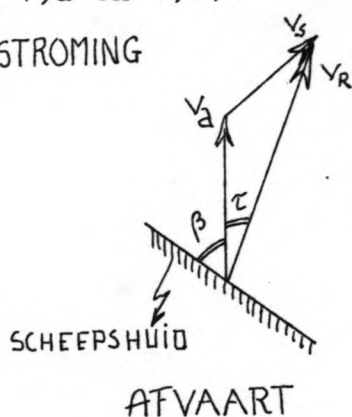


fig 19a.

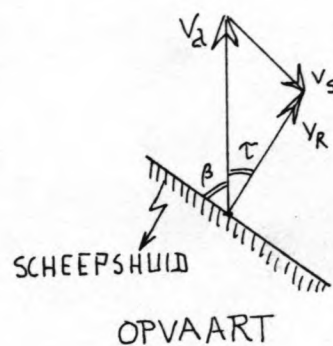


fig 19b

De correctie op de drifthoek volgens (46) wordt dan bepaald door de hoek τ , die wordt berekend uit:

$$\tan \tau = \frac{v_s \cdot \sin \kappa}{v_a \pm v_s \cdot \cos \kappa} \quad (47)$$

De hoeken κ en τ zijn in de praktijk veel kleiner dan 10° (zie lit. [11]). De vergelijking voor τ wordt dan:

$$\tau = \frac{v_s}{v_a \pm v_s} \cdot \kappa \quad (48)$$

Hierbij geldt het + teken voor de opvaart, en het - teken voor de afvaart. De uiteindelijke drifthoek, gecorrigeerd voor de spiraalstroom volgt dan uit:

$$\beta = \frac{(v_a - v_s)^2}{v_a^2 - v_a v_s \sin \vartheta} \left[1 + \frac{v_a v_s \cos \vartheta - v_s^2 \sin \vartheta \cos \vartheta}{v_a^2 - v_s^2} * \frac{h}{h-T} * \frac{\pi T R}{BL} \right] + \frac{v_s \cdot \kappa}{v_a \pm v_s} \quad (49)$$

Duidelijk blijkt hieruit de grote invloed van de spiraalstroom met name bij de afvaart van ongeladen duwstellen!

3. Blokcoëfficiënt

Bij de afleiding van formule (29) is uitgegaan van de benadering:

$$\text{Massa schip} = \rho_w \cdot \text{waterverplaatsing} = L \cdot B \cdot T \cdot c_{BL} = L \cdot B \cdot T$$

waarin c_{BL} = blokcoëfficiënt.

Deze blokcoëfficiënt is gelijkgesteld aan 1.

Wanneer echter met deze blokcoëfficiënt zou worden door-
gerekend zou uit de evenwichtsvergelijkingen de volgende
relatie voor de drifthoek β zijn gerold:

$$\beta = \frac{c_{BL} \cdot L \cdot B}{\pi \cdot T \cdot R} \left(2 \cdot \frac{V_a}{V_R} - 1 \right) \left(1 - \frac{T}{h} \right) \quad (50)$$

(ongecorrigeerd voor de spiraalstroming!)

II.6 Toetsing van de theorie aan de modelresultaten.

Gezien het feit, dat bij de afleiding van formule (29) nogal wat benaderingen en aannames zijn gedaan, is het van belang om nu eens te kijken of bovengenoemde formule (29) zowel kwalitatief als kwantitatief overeenkomt met de reeds in hoofdstuk II.3 besproken resultaten van het modelonderzoek.

II.6.1 Kwalitatieve toetsing aan de modelresultaten.

Het blijkt, dat - kwalitatief - de formule (29) voor de evenwichtsdrifthoek in vrij grote mate overeenkomt met de tijdens het modelonderzoek gevonden tendensen (zie ook hoofdstuk II.3):

- Als de overige parameters constant zijn, is het verband tussen de drifthoek en v_d/v_R lineair.
- De drifthoek bereikt voor toenemende h/T asymptotisch een maximum, dat afhankelijk is van de formatie (L , B , T), v_d/v_R en R .
- De drifthoek neemt af als R/L toeneemt en wel meer naarmate v_d/v_R en h/T groter zijn.
- De drifthoek neemt toe als de formatiebreedte toeneemt en wel meer naarmate v_d/v_R en h/T groter zijn.

II.6.2 Kwantitatieve toetsing aan de modelresultaten.

Ter kwantitatieve toetsing is door het waterloopkundig laboratorium de Voorst, de volgende bewerking uitgevoerd: Voor alle tijdens het onderzoek "Padbreedte van schepen in rivierbochten" (lit. [4], [5], [6]) onderzochte situaties is met behulp van formule (29) de drifthoek uitgerekend; vervolgens is het quotient van de berekende en gemeten drifthoek bepaald.

Om na te gaan of de scheepsvorm invloed op de resultaten had is het quotient van berekende en gemeten drifthoek uitgezet tegen de B/T -verhouding. Uit deze figuur viel te concluderen dat het quotient van gemeten en berekende drifthoek, met een zekere spreiding, lineair van B/T afhankelijk is:

Waarmee de vergelijking voor de drifthoek overgaat in:

$$\beta = c_M \cdot \frac{L}{R} \cdot \left(2 \cdot \frac{V_d}{V_R} - 1\right) \cdot \left(1 - \frac{T}{h}\right) \quad (52)$$

In tabel 1 worden de waarden en standaardafwijkingen van c_M voor de verschillende onderzochte situaties weergegeven:

tabell

Bochtstraal (m)	750		1250	
	c_M (°)	σ_{c_M} (°)	c_M (°)	σ_{c_M} (°)
formatienr.				
1	30,0	9,1	36,2	6,1
2	40,8	20,4	50,1	10,9
3	32,8	9,8	40,6	6,6
4	23,1	5,3	30,1	5,3
5	37,5	10,8	45,5	9,0

De formatienummers komen overeen met de hieronder geschetste formatievormen:

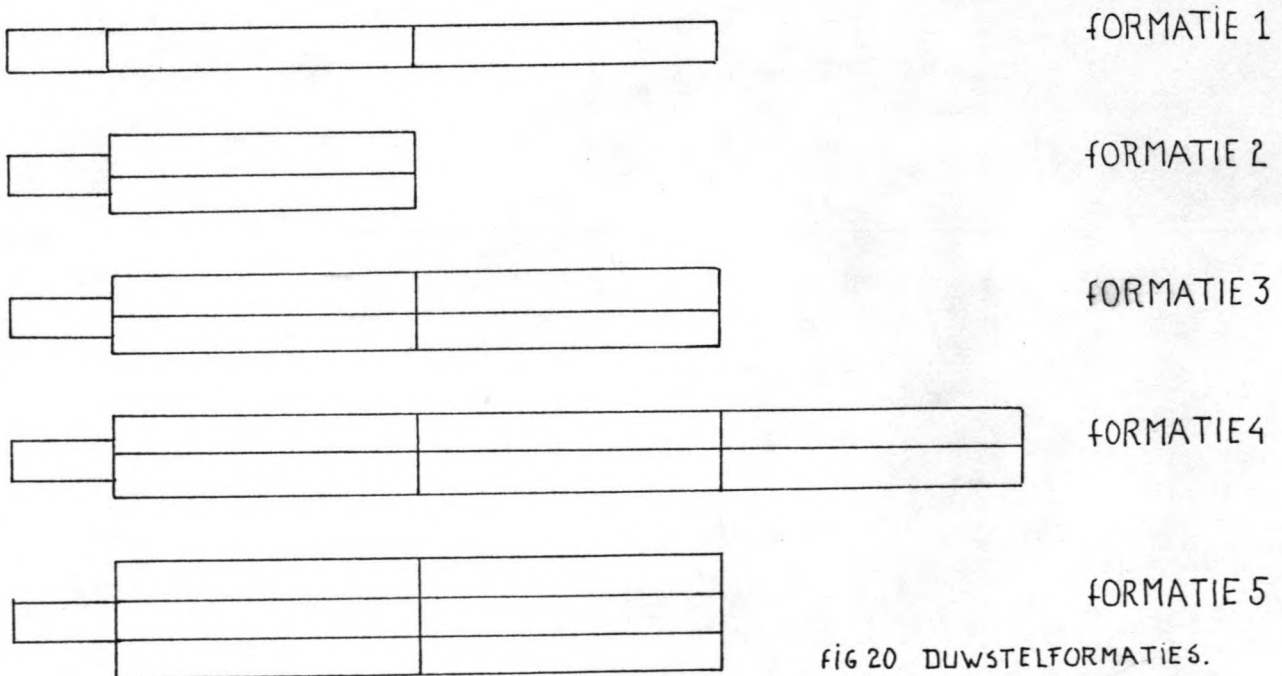


FIG 20 DUWSTELFORMATIES.

Bovendien is op bijlage 7 de gemeten drifthoek voor alle onderzochte situaties uitgezet tegen de berekende drifthoek, waarbij voor c_M een waarde van 37,5 wordt gevonden.

III Vergelijking van de theorie (en het model) met de praktijk.

III.1 Toetsing van het modelonderzoek aan de praktijk met behulp van prototypewaarnemingen.

In de vorige paragraaf is een formule voor de evenwichtsdrifthoek afgeleid, die aangepast is aan de modelresultaten. Een belangrijke vraag is natuurlijk in hoeverre deze formule (52) de bestaande prototypewaarnemingen dekt!

Om deze vraag te kunnen beantwoorden dienen we allereerst de beschikking te hebben over de resultaten van prototypewaarnemingen, dat wil zeggen gemeten drifthoeken dan wel gemeten vaarbaanbreedten als wel exacte omstandigheden die tijdens de proeven aanwezig waren (met andere woorden: alle parameters die voorkomen in formule (52) dienen bekend te zijn).

De moeilijkheid is echter, dat in de jaren '70 zowel in Nederland als in Duitsland wel vele proeven zijn gedaan met betrekking tot de ingenomen padbreedte van duwstellen, maar men was niet altijd geïnteresseerd in al de in formule (52) voorkomende parameters, daar die voor elk specifieke onderzoek niet allemaal benodigd waren.

De schrijver van dit rapport heeft echter een volledig verslag van duwvaartproeven met de duwboot "Mannesmann III" tot z'n beschikking om formule (52) gedeeltelijk te testen. Deze proeven zijn in de periode sept. 1975 - dec. 1976 genomen op de Oude Maas, Waal en de Bovenrijn in de verschillende rivierbochten tussen Heerjansdam en Baerl, tijdens wisselende omstandigheden.

De resultaten van deze proeven zijn samengevat in tabel 2 voor de afvaart (zie bijlage 8 en 9) en tabel 3 voor de opvaart (zie bijlage 10 en 11). De lengte van de duwstellen bedroeg in alle gevallen ca. 185m; de breedte ca. 22,8 m. Aangezien de bochtstraal in elk punt van de bocht verschillend is, is in tabel 2 en 3 de minimum waarde vermeld omdat voor de gemeten waarde van de drifthoek ook de maximum waarde is aangehouden (β_{GEM}). Voor de absolute snelheid ten opzichte van de oevers is dan weer de minimum waarde vermeld, daar deze het kleinst is ter plaatse van het punt met de kleinste bochtstraal.

Op grond van formule (52) is nu de drifthoek berekend met behulp van de gegevens die in tabel 2 en 3 staan vermeld. Deze berekende drifthoek wordt aangeduid met β_{BER} en staat vermeld in tabel 4 voor de afvaart en tabel 5 voor de opvaart (zie bijlagen 12 t/m 15). Bij deze berekeningen dienen de volgende opmerkingen te worden gemaakt:

- De waarden, zoals die voor c_M zijn aangehouden, zijn verkregen via lineaire interpolatie in tabel 1. Rekening houdend met de standaardafwijkingen resulteert dan een minimale- en een maximale waarde waartussen de factor c_M zich bevindt voor formatienummer 3 (4-baksconvooi), waarop de proeven betrekking hebben:

$$c_{M,\text{MIN}} = 0,022 \cdot R + 35,7$$

$$c_{M,\text{MAX}} = 0,009 \cdot R + 6,5$$

De uitkomsten staan in tabel 4 en 5 vermeld voor de verschillende situaties.

- Op grond van deze minimale en maximale waarden van c_M , vinden we ook voor de β_{BER} een minimum en een maximum waartussen de exacte waarde zich moet bevinden.

Ook is in tabel 4 en 5 de gemeten en berekende drifthoek naast elkaar gezet, om een zo goed mogelijke vergelijking te maken. Deze vergelijking is gemaakt door in de ernaast staande kolom een <-teken of een >-teken te vermelden:

Het <-teken geeft aan, dat formule (52) een te kleine waarde berekent; het >-teken geeft aan, dat formule (52) een te grote waarde berekent; als niets staat aangegeven dan geeft formule (52) de juiste waarde van β aan (met een zekere spreiding).

Er blijkt nu het volgende:

- Voor de afvaart geeft formule (52) meestal een te kleine waarde. Opvallend hierbij is, dat de formule meestal wel opgaat of goed in de buurt komt, voor wat grotere T/h-verhoudingen (zie de tabellen 4 en 5).
- Voor de opvaart geeft formule (52) altijd een te kleine waarde

Conclusie:

Opgrond van de beschikbare prototypemetingen kan men concluderen, dat formule (52) géén goede schatting geeft van de drifthoek, die 4-baksduwstellen in rivierbochten innemen! Voor de overige formaties kan geen uitspraak worden gedaan, doch op grond van de afwijkingen die te bespeuren zijn voor de 4-baksformaties mogen geen al te hoge verwachtingen worden gekoesterd.

Op de oorzaken van de geconstateerde afwijkingen wordt ingegaan in de volgende paragraaf.

III.2 Verklaring van de verschillen tussen modelresultaten en prototypewaarnemingen.

Uit de vorige paragraaf is gebleken, dat een aanzienlijk verschil op kan treden, tussen de berekende drifthoek op grond van formule (52) en de in de praktijk gevonden waarde voor de drifthoek. Getracht zal worden in het hiernavolgende stuk een verklaring te geven voor de optredende verschillen, waarbij al snel tot de conclusie kan worden gekomen, dat een formule (52) die afgeleid is op grond van modelresultaten eigenlijk niet gebruikt kan worden om een voorspelling te doen voor de ingenomen drifthoek in het prototype! De verschillen tussen model en prototype hebben betrekking op het volgende:

1. Stationaire toestand

Alle theoretische beschouwingen, die in het voorgaande hebben plaatsgevonden en die geleid hebben tot een betrekking voor de drifthoek β , gaan uit van een stationaire toestand, dat wil zeggen de versnellingen zijn nul en dus de snelheden constant. In werkelijkheid zullen de snelheden van het water en het schip met de tijd variëren. Vooral de laatste is tijdens het bochtvaren aan zulke sterke veranderingen onderhevig, dat zelfs een benadering door de stationaire toestand (bv. het schip heeft één gemiddelde snelheid over de gehele bocht) onmogelijk wordt. Dit is als volgt in te zien (zie ook lit. [14]):

Wordt bv. voor de stroom een binnenbocht ingevaren, dan zal in eerste instantie het schip door de zijdelingse verplaatsing, veroorzaakt door het roergeven, naar de buitenbocht toe bewegen. Deze zijdelingse verplaatsing roept hydrodynamische tegenkrachten op totdat er evenwicht bereikt is, hetgeen slechts mogelijk is als er onder een zekere drifthoek wordt gevaren. Om nu deze zijdelingse verplaatsing als wel de drifthoek zo klein mogelijk te houden, dient de bocht te worden ingegaan met een zo laag mogelijke snelheid! Bovendien blijft het schip dan beter beheersbaar.

In de bocht moet nu plotseling stevig worden versneld, waardoor een versnellingskracht wordt opgeroepen, die de drifthoek kan verkleinen! Dit laat zich als volgt verklaren:

Beschouwt wordt nu een schip in een rivierbocht in een niet-stationaire draai (zie fig. 21).

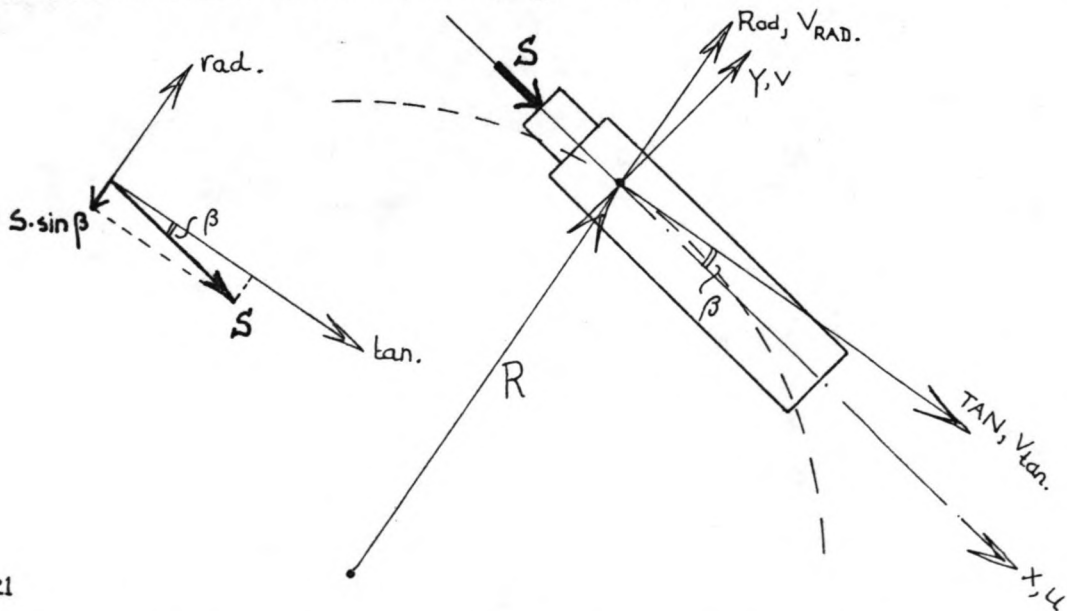


fig. 21

Hiervoor kan men weer de evenwichtsvergelijkingen opstellen zowel in tangentele- als in radiale richting:

$$\Sigma F_{tan} = m \cdot \left[\frac{dv_{tan}}{dt} + \frac{v_{tan} \cdot v_{RAD}}{R} \right] \quad (53)$$

$$\Sigma F_{RAD} = m \cdot \left[\frac{dv_{RAD}}{dt} - \frac{(v_{tan})^2}{R} \right] \quad (54)$$

$$\Sigma M_z = I_y \cdot \left[\frac{d\omega}{dt} \right] \quad (55)$$

waarin v_{tan} en v_{RAD} de snelheid in tangentele- respectieve-

Veronderstel nu, dat de stationaire toestand geldt tot tijdstip $t = t_0$; op $t = t_0$ wordt plotseling versneld, dat wil zeggen er wordt een versnellingskracht S opgewekt, die ontbonden kan worden in tangentiële- en radiale richting. Echter deze kracht S wordt, zoals in het voorgaande al is gesuggereerd, niet gebruikt om bij dezelfde drifthoek een dv_{RAD}/dt op te wekken in radiale richting, maar wordt gebruikt om de drifthoek te verkleinen.

Dit kan hier worden nagebootst door te veronderstellen, dat op $t = t_0$ een kracht S opgewekt wordt en onmiddellijk de drifthoek wordt verkleind, van β_0 tot β_N .

In tangentiële richting wordt een dv_{tan}/dt opgewekt nl.:

$$S \cdot \cos \beta_0 = m \cdot \frac{dv_{tan}}{dt} \quad (56)$$

Vergelijking (55) gaat dan over in:

$$\Sigma M_z = I_z \cdot \frac{dv_{tan}}{R \cdot dt} = I_z \cdot \frac{S \cdot \cos \beta_0}{R \cdot m} \quad (57)$$

hierin stelt dus β_0 de oude drifthoek voor, voordat de versnelling optrad (voor $t = t_0$) en β_N de nieuwe (kleinere) drifthoek na de versnelling (na $t = t_0$).

Vergelijking (53) t/m (55) gaan dan over in:

$$\Sigma F_{tan} = +m \cdot \frac{dv_{tan}}{dt} \quad (58)$$

$$\Sigma F_{RAD} = -m \cdot \frac{(v_{tan})^2}{R} + S \cdot \sin \beta_0 \quad (59)$$

$$\Sigma M_z = I_z \cdot \frac{S \cdot \cos \beta_0}{R \cdot m} \quad (60)$$

Op bijlage 16 is het massatraagheidsmoment I_z van een dw-stel bepaald.

Wanneer we nu weer terugrijpen naar de zgn. "zero-ratio-aspect wing theory" (lit. [8] en [10]) om een indruk van de "nieuwe" drifthoek te krijgen kunnen we de evenwichtsvergelijkingen weer als volgt weergeven:

$$\Sigma F_{RAD} = F_{RAD,\beta} + F_{RAD,\omega} + F_{RAD,D} + F_{RAD,R} \quad (61)$$

$$\Sigma M_z = M_\beta + M_\omega + M_R \quad (62)$$

waarin:

$$F_{RAD,\beta} = - \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_d - v_s)^2 \cdot L \cdot T \cdot \cos^2 \beta_N \cdot \sin \beta_N \quad (63)$$

$$F_{RAD,\omega} = - \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_d - v_s)^2 \cdot \frac{L^2 \cdot T}{R} \cdot \cos^2 \beta_N \quad (64)$$

$$F_{RAD,D} = \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot \frac{V_s^2}{R} \quad (65)$$

$$M_{\beta} = - \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \rho (V_a - V_s)^2 \cdot L \cdot T \cdot \cos^2 \beta_N \cdot \sin \beta_N \quad (66)$$

$$M_{\omega} = + \frac{h}{h-T} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot \frac{2T}{L} \cdot \frac{1}{2} \rho (V_a - V_s)^2 \cdot \frac{L^2 \cdot T}{R} \cdot \cos^2 \beta_N \quad (67)$$

$$M_R = - F_{RAD,R} \cdot \frac{1}{2} L \quad (68)$$

Als we vergelijking (58) t/m (68) samenvegen krijgen we de betrekking voor β_N :

$$\beta_N = \frac{BL}{\pi TR} \cdot \left(2 \frac{V_a}{V_R} - 1 \right) \cdot \left(1 - \frac{T}{h} \right) - \left\{ \left(1 - \frac{T}{h} \right) \cdot \left(\frac{S \cdot \sin \beta_0}{\pi \cdot \rho \cdot T^2 \cdot V_R^2} - \frac{2 \cdot S \cdot \cos \beta_0 \cdot I_z}{\pi \cdot \rho^2 \cdot L^2 \cdot T^3 \cdot V_R^2 \cdot BR} \right) \right\} \quad (69)$$

De reductie die dus ontstaat wanneer in de bocht versneld wordt bestaat uit (vergelijk ook formule (29)):

$$\beta_{RED} = \frac{S}{\rho \pi T^2 \cdot V_R^2} \cdot \left(1 - \frac{T}{h} \right) \cdot \left(\sin \beta_0 + \frac{2 \cdot I_z \cdot \cos \beta_0}{\rho L^2 T BR} \right) \quad (70)$$

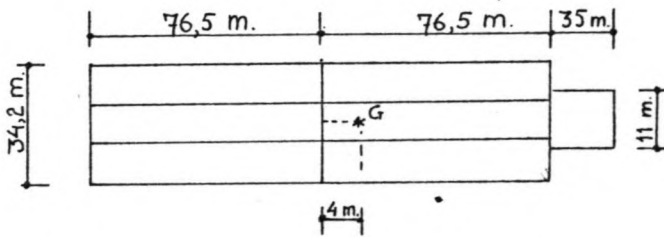
Het blijkt, dat deze reductie afhankelijk is van een hoop factoren:

- de reductie is recht evenredig met de T/h-verhouding.
- de reductie is omgekeerd evenredig met de relatieve snelheid in het kwadraat.
- de reductie is recht evenredig met de versnellingskracht S.
- verder spelen de afmetingen (L, B en T) van het duwstel een belangrijke rol, evenals traagheidsmoment en dichtheid van het water.

Bij bovenstaande afleiding kunnen de volgende los van elkaar staande opmerkingen worden geplaatst:

- Het versnellen in een rivierbocht van een schip is te vergelijken met een auto die vòòr de bocht ook gas terug dient te nemen en in de bocht ook wat versneld om die bocht het beste door te komen!
- Bovenstaande afleiding is door de vele aannames vrij onbetrouwbaar in kwantitatief opzicht, echter in kwalitatief opzicht kan een goede indruk worden verkregen van de belangrijkste parameters die in het proces van versnellen een rol spelen.
- De ervaring, die verschillende kapiteins hebben opgedaan met deze wijze van "bochtvaren" wordt verwoord door dHr. D. Breedveld in lit. [14].

Ter illustratie volgt hier een voorbeeld voor een 6-baks-duwstel in brede formatie (geladen) in opvaart: (fig. 22)



GEGEVENS DUWSTEL:

$T_{\text{bakken}} = 3 \text{ m.}$
 $T_{\text{boot}} = 1,7 \text{ m.}$
 $V_a = 3 \text{ m/s}$
 $L = 188 \text{ m.}$
 $B = 34,2 \text{ m.}$
 $I_z = 3,3 \cdot 10^{10} \text{ kgm}^2$

GEGEVENS RIVIERBOCHT:

$R = 1000 \text{ m.}$
 $V_s = -1 \text{ m/s}$
 $V_R = 4 \text{ m/s}$
 $h = 6 \text{ m}$
 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

fig.22

Voor de versnellingskracht S , kan een schatting gemaakt worden op grond van de volgende gegevens:

- stopproeven geven aan, dat een gemiddelde vertraging van $0,023 \text{ m/s}^2$ gehaald kan worden in een vergelijkbare situatie (zie bijlage 17).
- acceleratie van een duwformatie is meestal groter dan de vertraging, omdat bij vooruit varen meer vermogen aangewend kan worden.
- acceleratieproeven met behulp van een Kempenaar op het Twentekanaal geven een gemiddelde versnelling vanuit stilstand van $0,030 \text{ m/s}^2$ (zie bijlage 18)

Als verder aangenomen wordt, dat het aanwezige vermogen evenredig is met de hoeveelheid te vervoeren lading, kan voor bovenstaand duwstel een acceleratievermogen worden aangehouden van $\pm 0,030 \text{ m/s}^2$.

De versnellingskracht S wordt dan voor bovenstaand voorbeeld: $S = 490 \text{ kN}$.

Met behulp van formules (69) en (70) volgt dan voor de nieuwe drifthoek :

$$\beta_N = \beta_0 - \beta_{\text{RED.}} = 9,8^\circ - 5,8^\circ = 4,0^\circ$$

Hetgeen verhoudingsgewijs een reductie van ca. 60% zou betekenen, echter zoals eerder is gezegd dient aan de kwantitatieve invulling van formule (69) niet te veel waarde te worden gehecht vanwege de nogal ruwe aannames!

De conclusie daarentegen is overduidelijk: Doordat in de theorie c.q. model wordt uitgegaan van een stationaire toestand zal de overeenkomst met de praktijk niet al te groot zijn aangezien versnellings- en vertragingskrachten een belangrijke rol spelen in het gehele proces van bochtvaren.

Een volgend punt, dat de overeenkomst van theorie en praktijk in de weg staat en samenhangt met bovenstaande, is:

2. Menselijk handelen.

In tegenstelling tot de theorie c.q. model wordt het varen van een rivierbocht bepaald door het inzicht van een kapitein, die voortdurend correcties uitvoert op de zojuist afgelegde vaarbaan. Deze correcties gebeuren door toetsing van de afgelegde weg aan een ideaal vaarplan en zijn nodig als gevolg van veranderingen in stroomsnelheden, windsnelheden en overige scheepvaart en bestaan uit roercorrecties en snelheidsaanpassingen.

3. Windsnelheid en windrichting.

In de afleiding van formule (29) zowel als de aanpassing van deze formule aan de modelresultaten is geen rekening gehouden met de invloed van wind, die, zoals in hoofdstuk II.5 is gezien, een enorme invloed kan uitoefenen op het ruimtebeslag (of drifthoek) van duwstellen. Dit kan één van de verklaringen zijn waarom in hoofdstuk III.1 de waarde van de drifthoek in het prototype zo ten ongunste afweek van die op grond van de theorie (of model).

4. Spiraalstroming.

Zoals al in hoofdstuk II.5.2 is besproken kan de spiraalstroming voor een aanzienlijk verschil in drifthoek zorgen tussen in de praktijk en o.g.v. de theorie gevonden waarden. Vooral voor de lege afvaart kan dit grote verschillen op-

leveren.

5. Waterdiepte en diepgang.

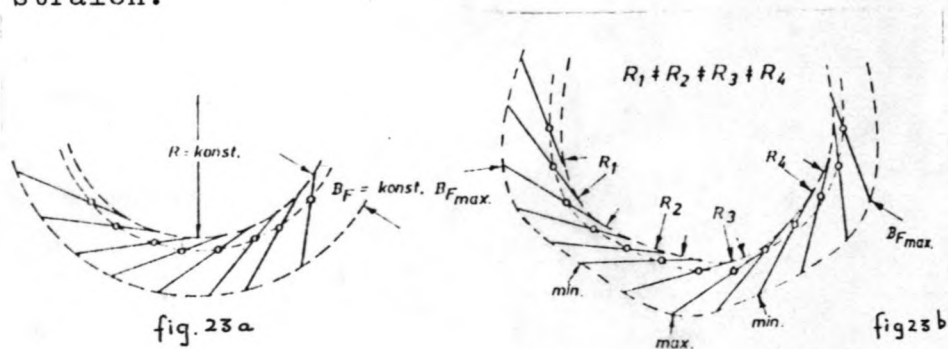
Ook de waterdiepte is over de gehele bocht zowel in tangentele- als in radiale richting niet constant, hetgeen z'n invloed doet gevoelen in afwijkingen van de theoretisch berekende drifthoek. De grootste afwijking in de T/h -verhouding wordt echter bepaald door de variatie in diepgang tussen duwboot en duwbakken, die niet goed is verwerkt in formule (29).

6. Overige vaart.

In theorie en model is geen rekening gehouden met de overige vaart, die zeker invloed kan hebben (middels z'n waterbeweging en spiegeldaling) op de ingenomen drifthoek of padbreedte.

7. Bochtstraal.

Figuur 23a geeft aan hoe een ideaal doorlopen boog er in theorie (of model) uit zou zien. Door allerlei factoren zoals de invloed van de bodem, de overige vaart, de wind, de stroming, het onderwaterprofiel van de boot, de roerwerking, het anticipatievermogen van de kapitein, het zicht en de vaarsnelheid zal in werkelijkheid de vaarbaan in een bocht er uitzien als in figuur 23b. De doorlopen vaarbaan bestaat uit een aaneenschakeling van verschillende boogstralen.



Op grond van alle bovengenoemde punten 1 t/m 7 kan de conclusie worden getrokken, dat het door allerlei "onberekenbare" factoren nauwelijks mogelijk is om o.g.v de theorie c.q. model een voorspelling te doen hoe groot voor een be-

paald geval de benodigde vaarbaanbreedte is of zal zijn!
Daarom wordt in het volgende hoofdstuk wat dieper ingegaan
op de praktijk van het bochtvaren, waarbij, toch weer met
behulp van wat theorie, op grond van vele prototypemeting-
en een betere voorspelling omtrent de ingenomen padbreedte
van duwvaartstellen kan worden gedaan.

Hoofdstuk IV - Interpretatie van prototyperesultaten m.b.v. de theorie;
Bochtvaren in de praktijk op basis van ervaringen van duwbootkapiteins.

IV.1 Interpretatie van prototyperesultaten van dr.-ing. E. Schäle met behulp van de theorie.

Eén van de belangrijkste onderzoekers, die baanbrekend werk hebben verricht op het gebied van de duwvaart is wel dr.-ing. E. Schäle. Zijn resultaten voor de dimensionering van vaarwegen zijn min of meer door iedereen aanvaard, vooral ook, omdat ze gebaseerd zijn op een groot aantal prototypewaarnemingen onder zeer uiteenlopende omstandigheden. Deze resultaten zijn vastgelegd in een aantal grafieken (zie bijlage 19), waarbij opvalt, dat niet meer de drifthoek β , maar direct de benodigde padbreedte valt af te lezen, als functie van de bochtstraal, de formatievorm en de stroomsnelheid van het water. Immers voor de dimensionering van vaarwegen is het niet zozeer de drifthoek β als wel de benodigde padbreedte waarin we geïnteresseerd zijn.

Verder dienen deze grafieken, die uitgaan van een snelheid van 14km/h t.o.v. het water, geïnterpreteerd te worden als een soort "gemiddelden", daar andere parameters die van invloed zijn op de padbreedte (denk bv. aan de waterdiepte) hierin niet expliciet zijn verwerkt. Een ander belangrijk punt is, dat de grafieken alleen geldig zijn voor de geladen toestand van de bakken!

De grote vraag die zich hier opdringt is natuurlijk of deze in grafiekvorm samengevatte prototypemetingen ook theoretisch verklaarbaar zijn, waardoor ze eventueel aan betrouwbaarheid kunnen winnen! Op dit aspect nu, zal in deze paragraaf nader worden ingegaan:

In de figuren 24.1 t/m 24.4 worden een aantal situaties voorgesteld van een duwconvooi in een stationaire draai (constante vaarsnelheid, constante boogstraal dus constan-

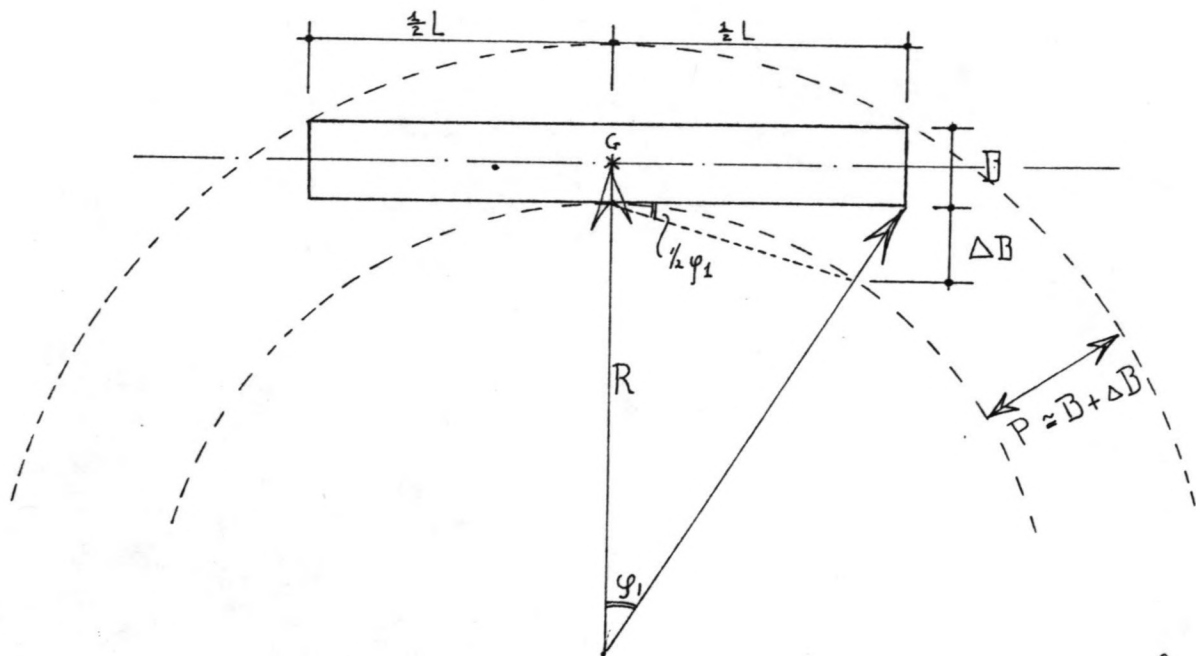


fig. 24-1
(geval 1)

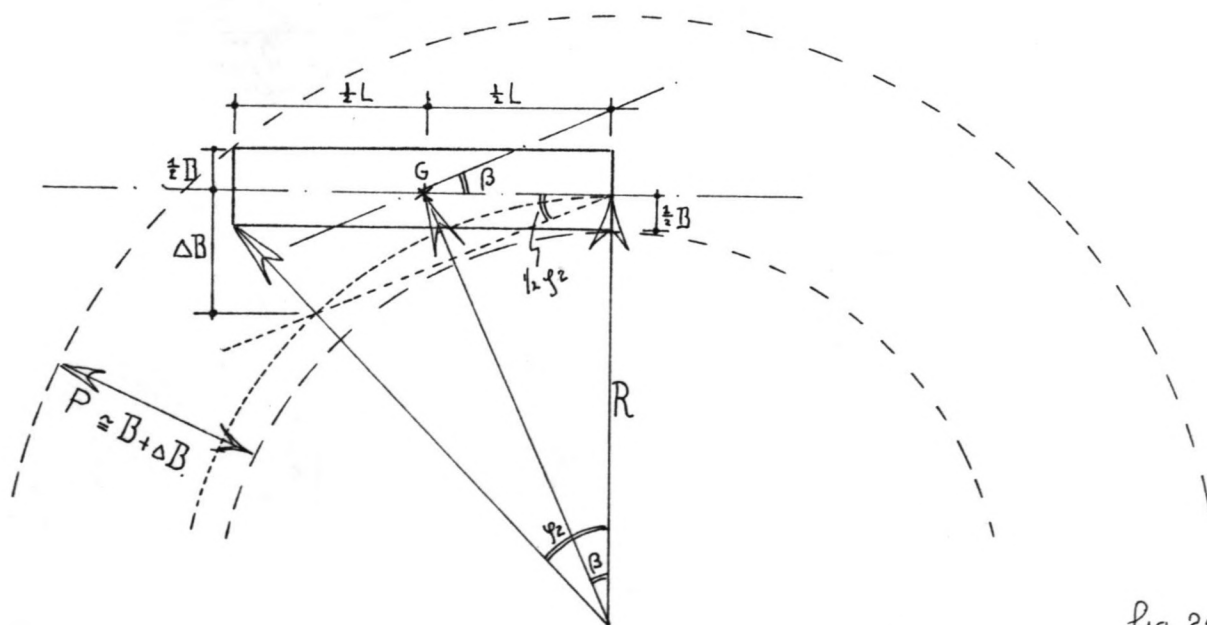


fig. 24-2
(geval 2)

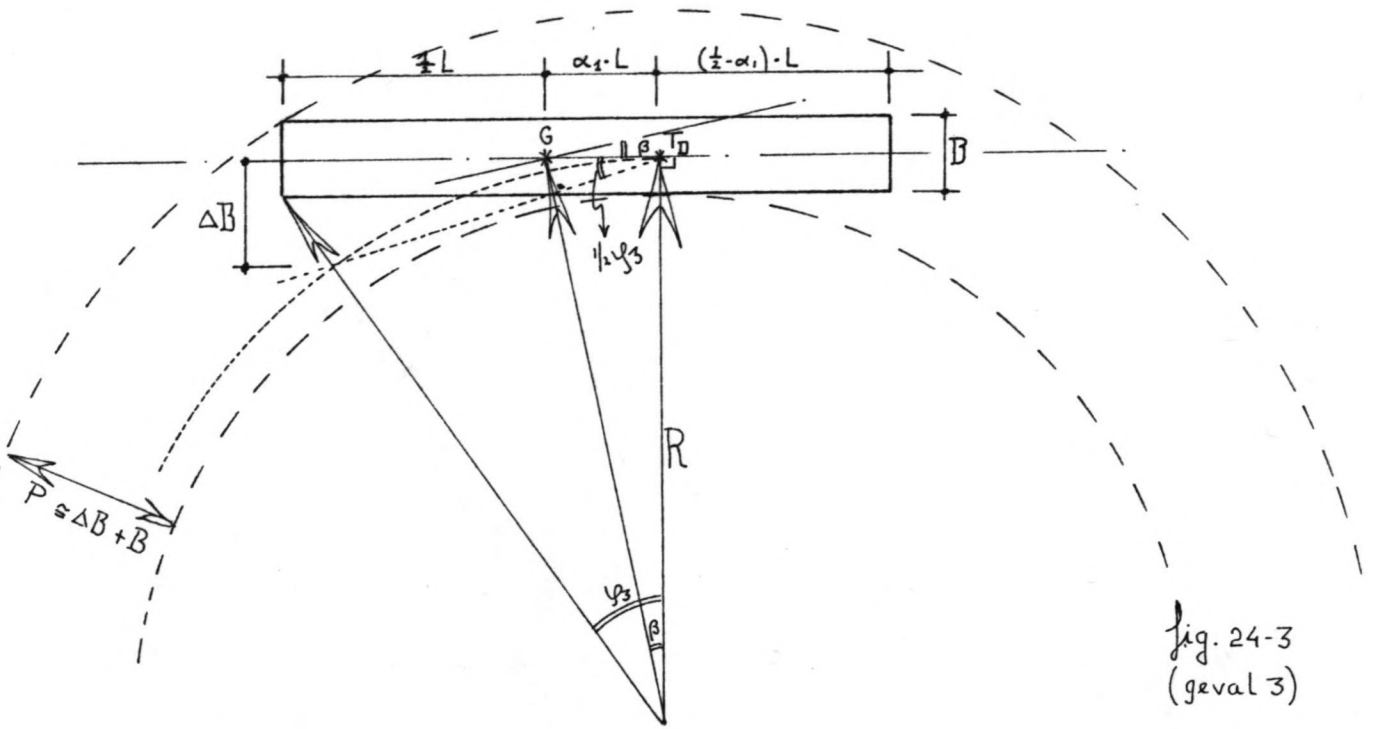


fig. 24-3
(geval 3)

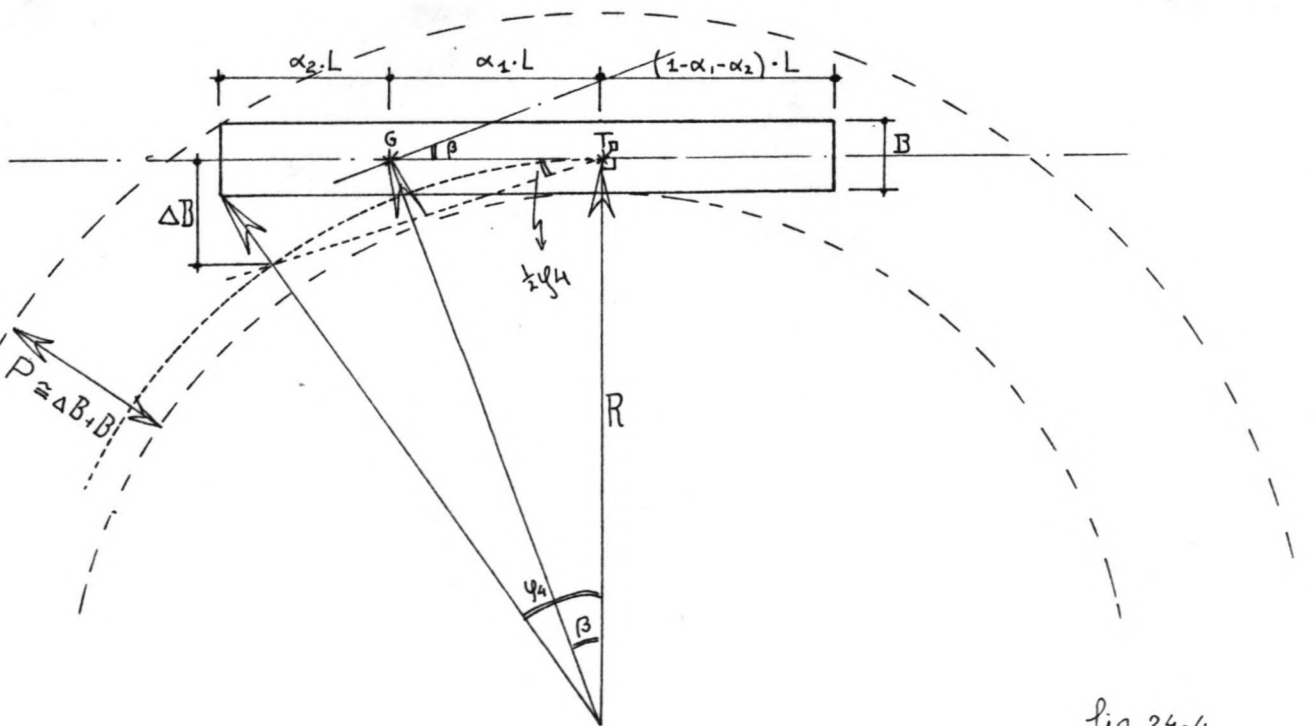


fig. 24-4
(geval 4)

te hoeksnelheid) in een rivierbocht, naar opklimmende algemeenheid. Daar deze figuren, op grond van de geometrie, stuk voor stuk inzicht geven in de belangrijkste grootheden, die de padbreedte bepalen, wordt aan alle figuren een aparte beschouwing gewijd, temeer daar ze een goede onderbouwing zullen blijken te zijn van vele prototypewaarnemingen.

Geval 1 (zie fig. 24.1).

De situatie is hier als volgt:

- drifthoek $\beta = 0$.
- het gewichtszwaartepunt bevindt zich in het midden van de duweenheid.
- waaruit volgt, dat het tactisch draaipunt zich eveneens in het midden van de duweenheid bevindt.

Voor deze specifieke situatie geldt:

$$\tan \varphi_1 = \frac{\frac{1}{2}L}{R - \frac{1}{2}B} \quad (71)$$

$$\tan \frac{1}{2}\varphi_1 = \frac{\Delta B}{\frac{1}{2}L} \quad (72)$$

Bij benadering geldt:

$$\tan \varphi_1 \approx 2 \cdot \tan \frac{1}{2}\varphi_1 \quad (73)$$

Uit (71) t/m (73) volgt dan, als $B \ll R$:

$$\Delta B \approx \frac{L^2}{8R} \quad (74)$$

$$P \approx B + \frac{L^2}{8R} \quad (75)$$

Hierin is ΔB de zgn. "extra" padbreedte als gevolg van het bochtvaren.

Geval 2 (zie fig. 24.2)

De situatie is hier als volgt:

- drifthoek $\beta \neq 0$
- het gewichtszwaartepunt bevindt zich in het midden van de duweenheid
- het tactisch draaipunt bevindt zich op de boeg.

Voor deze specifieke situatie geldt:

$$\tan \varphi_2 = \frac{L}{R - \frac{1}{2}B} \quad (76)$$

$$\tan \frac{1}{2}\varphi_2 = \frac{\Delta B}{L} \quad (77)$$

Bij benadering geldt weer:

$$\tan \varphi_2 = 2 \cdot \tan \frac{1}{2} \varphi_2 \quad (78)$$

Uit (76) t/m (78) volgt dan voor $B \ll R$:

$$\Delta B \cong \frac{L^2}{2R} \quad (79)$$

$$P \cong B + \frac{L^2}{2R} \quad (80)$$

Geval 3 (zie fig. 24.3)

Dit is een meer algemeen geval en vat de eerste twee gevallen samen. De situatie is dan ook als volgt:

- drifthoek $\beta \neq 0$
- het gewichtszwaartepunt bevindt zich in het midden van de duweenheid.
- het tactisch draaipunt bevindt zich op $\alpha_1 \cdot L$ vanaf het midden van het convooi gerekend ($0 \leq \alpha_1 \leq \frac{1}{2}$).

Voor deze specifieke situatie geldt:

$$\tan \beta = \frac{\alpha_1 \cdot L}{R} \quad (81)$$

Deze relatie is tevens in grafiek gebracht en bevindt zich op bijlage 20. Hier kan men dus, gegeven de lengte van de duweenheid en de bochtstraal, direct de drifthoek β aflezen als functie van de plaats van het tactisch draaipunt! Verder geldt:

$$\tan \varphi_3 = \frac{(\frac{1}{2} + \alpha_1) \cdot L}{R - \frac{1}{2}B} \quad (82)$$

$$\tan \frac{1}{2} \varphi_3 = \frac{\Delta B}{(\frac{1}{2} + \alpha_1) \cdot L} \quad (83)$$

Bij benadering geldt weer:

$$\tan \varphi_3 \cong 2 \cdot \tan \frac{1}{2} \varphi_3 \quad (84)$$

Uit (82) t/m (84) volgt dan:

$$\Delta B \cong \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + \alpha_1 \right)^2 \cdot \frac{L^2}{R} \cong \frac{L^2}{8R} + (\alpha_1 + \alpha_1^2) \cdot \frac{L^2}{2R} \quad (85)$$

Ook deze relatie is in dezelfde figuur op bijlage 20 uitgezet; men leest nu onmiddellijk de benodigde padbreedte af als functie van de plaats van het tactisch draaipunt, gegeven weer de lengte van de duweenheid en de bochtstraal.

Immers:

$$P = B + \frac{L^2}{8R} - (\alpha_1 + \alpha_1^2) \cdot \frac{L^2}{2R} \quad (86)$$

Hierin zijn onmiddellijk de eerste twee gevallen te herkennen, wanneer men voor α_1 invult $\alpha_1 = 0$ respectievelijk $\alpha_1 = \frac{1}{2}$.

De voorwaarde, dat bovenstaande relaties geldig zijn, wanneer het gewichtszwaartepunt zich in het midden van het duwstel bevindt is belangrijk. Immers in de praktijk is dit alleen (bij benadering) het geval, als we te maken hebben met geladen duwstellen!

Geval 4 (zie fig. 24.4).

Dit geval behandelt de meest algemene situatie, waardoor onderstaande formules zowel voor geladen als ongeladen duwstellen toepasbaar zijn. De situatie laat zich nu als volgt beschrijven:

- drifthoek $\beta \neq 0$
- het gewichtszwaartepunt bevindt zich op een afstand van $\alpha_2 \cdot L$ van het hek van de duweenheid.
- het tactisch draaipunt bevindt zich op een afstand $\alpha_1 \cdot L$ gerekend vanaf het gewichtszwaartepunt richting boeg.

Voor deze algemene situatie geldt nu:

$$\tan \varphi_4 = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot L}{R - \frac{1}{2}B} \quad (87)$$

$$\tan \frac{1}{2} \varphi_4 = \frac{\Delta B}{(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot L} \quad (88)$$

Bij benadering geldt weer:

$$\tan \varphi_4 \cong 2 \cdot \tan \frac{1}{2} \varphi_4 \quad (89)$$

Waardoor uit (87) t/m (89) volgt:

$$\Delta B = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot L^2}{2R} \quad (90)$$

$$P = B + \frac{(\alpha_1 + \alpha_2) \cdot L^2}{2R} \quad (91)$$

Stel nu:

$$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (92)$$

Dan gaat formule (90) over in:

$$\Delta B = \alpha \cdot \frac{L^2}{R} \quad (93)$$

Wanneer we nu de grafieken van Schüle op bijlage 19 aanschouwen kan men tot de ontdekking komen, dat de lijnen met gelijke snelheid (ten opzichte van de oever) "gevangen"

kunnen worden met formule (93), zodat er een duidelijk verband bestaat tussen de theorie en Schäle's prototypere-sultaten! Er is hierbij als volgt te werk gegaan:

Voor elke combinatie van R, L en ΔB ($= B_{F\phi}^*$ in Schäle's grafieken) is bij één vaste snelheid ten opzichte van de oever een α te bepalen met behulp van formule (93) en de grafieken van Schäle..Zo vindt men per lijn van gelijke snelheid een aantal, niet veel van elkaar afwijkende α 's, waarvan de minimale en maximale uitgezet zijn tegen die snelheid ten opzichte van de oever (zie bijlagen 21, 22 en 23 voor verschillende L/B-verhoudingen).

Het blijkt nu, dat α bij benadering lineair afhankelijk is van v_a , de snelheid ten opzichte van de oever, hetgeen bepaald is met behulp van het computerprogramma "curve-fitting", dat bij een gegeven aantal roosterpunten de best bijpassende grafiek zoekt. Dit is weergegeven op de bijlagen 24, 25 en 26, waarbij voor elke (eventueel) bijpassende grafiek de correlatiecoëfficiënt is vermeld: De best bijpassende grafiek heeft de grootste correlatiecoëfficiënt.

Kortom er kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

$$\text{Voor } L/B = 5,4: \quad \alpha = 0,03 \cdot v_a - 0,04$$

$$\text{Voor } L/B = 8,1: \quad \alpha = 0,03 \cdot v_a - 0,04$$

$$\text{Voor } L/B = 16,2: \quad \alpha = 0,03 \cdot v_a - 0,11$$

De waarde van de richtingscoëfficiënt $c = 0,03$ blijkt na afronding vrijwel onafhankelijk van de formatievorm (L/B-verhouding) en het snijpunt met de α -as is zoklein t.o.v. de factor $0,03 \cdot v_a$, dat deze vrijwel verwaarloosd kan worden. Het uiteindelijk resultaat voor de voorspelling van de ingenomen padbreedte van duwvaartstellen in rivierbochten, dat zowel vanuit de theorie als uit de praktijk onderbouwd is, is nu:

$$\Delta B = 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{L^2}{R} \quad (94)$$

en dus voor de padbreedte:

$$P = B + \Delta B = B + 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{L^2}{R} \quad (95)$$

N.B. In bovenstaande uitdrukking heeft v_a de dimensie [km/h] en L en R de dimensie [m]. Voor deze dimensies is hier gekozen, aangezien dit ook gedaan is in de publicaties van Schüle zodat een beter vergelijk mogelijk is.

Vergelijking (95) heeft een aantal gevolgen:

IV.2 Uitbreiding van de theorie m.b.v. Schüle's resultaten. Gevolgtrekkingen:

1. Uit de vorige paragraaf is gebleken, dat bij geladen duwstellen de grafieken van Schüle de werkelijkheid goed benaderen, waardoor de ingenomen padbreedte van geladen duwstellen goed benaderd kan worden met behulp van formule (95). Volgens de theorie geldt voor geladen duwstellen ook geval 3 uit de vorige paragraaf. Wanneer we nu vergelijking (95) combineren met vergelijking (86) volgt een relatie tussen de absolute snelheid en de plaats van het tactisch draaipunt:

$$v_a = 100/24 + 100/6 \cdot (\alpha_1 + \alpha_1^2) \quad (96)$$

Deze relatie is ook weer grafisch vastgelegd op bijlage 27, zodat voor geladen duwstellen, wanneer de absolute snelheid bekend is, direct de plaats van het tactisch draaipunt afgelezen kan worden.

Een bijzonder punt van de grafiek is het punt, waar $\alpha_1 = 1/6$, zodat het tactisch draaipunt op ongeveer $1/3 L$ van de boeg ligt. Uit de praktijkervaring is bekend dat voor geladen duwconvooien in opvaart dit meestal de plaats is waar het tactisch draaipunt is gelegen. De absolute snelheid volgens formule (96) is dan ca. 7,4 km/h, hetgeen in de praktijk voor deze gevallen inderdaad zeer reëel is.

2. Deze tweede gevolgtrekking geeft de relatie tussen de padbreedte en de drifthoek β .

Een combinatie namelijk van formule (86) en (81) geeft de volgende betrekking:

$$P = B + L \cdot \left[\frac{L}{8R} + \frac{\tan\beta + \frac{R}{L} \cdot \tan\beta}{2} \right] \quad (97)$$

Ook deze figuur is grafisch vastgelegd in fig. 25 op de volgende bladzijde en geldt slechts voor geladen duwstellen, aangezien uitgegaan is van formules (86) en (81) die be-

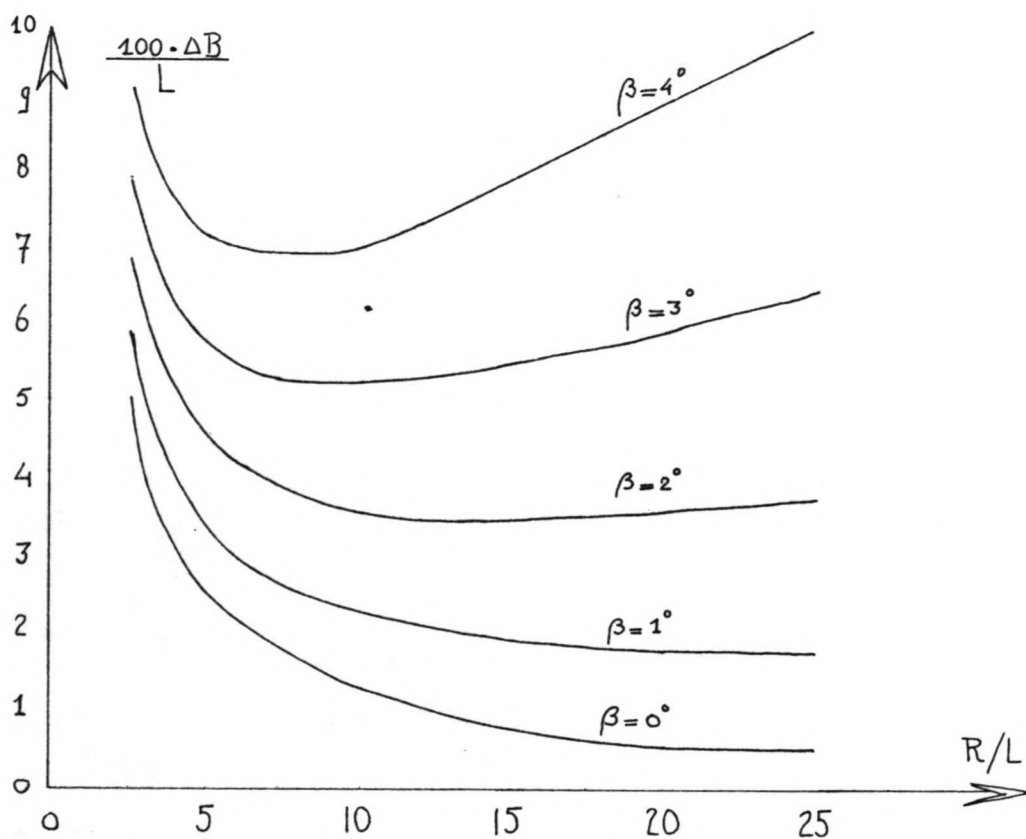


fig. 25 - relatie padbreedte - DRIFTHOEK.

trekking hadden op geval 3. En bovendien waren (86) en (81) slechts geldig voor kleine drifthoeken.

Aangezien we verderop in het rapport, bij de dimensionering van de bocht bij Gorssel, een exacte relatie nodig hebben tussen de drifthoek β en de padbreedte P , is alvast op bijlage 28 en 29 de uitwerking hiervan gegeven.

IV.3 Bochtvaren in de praktijk; methode van D. Breedveld.

In dit hoofdstuk zal nader worden ingegaan op het bevaren van rivierbochten in de praktijk, waarbij als uitgangspunt wordt genomen een publicatie in het tijdschrift "de Zee", door kapitein D. Breedveld (zie lit. [14]). Alvorens in te gaan op de consequenties van dit artikel, wordt eerst de essentie nog even in 't kort weergegeven.

Onder de veiligheidsruimte van een schip wordt verstaan, een ovaal- of eivormige ruimte rondom het schip met een grootste lengte van $4 \text{ à } 5L$ naar voren gericht en ca. $1L$ aan beide zijden dwars erop en naar achteren gericht (zie fig. 26), waarbij aan de lengteafmeting ook wel de naam minimum kiellijnafstand wordt gegeven.

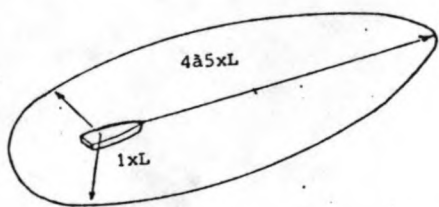


fig. 26

De veiligheidsruimte.

Nu is bij onderzoek tijdens varen overdag bij helder zicht gebleken, dat bochten gevaren worden door het aanhouden van een constante kiellijnafstand in de bocht; dat wil zeggen, dat de afstand tot de oever (dit is hier de scheidinglijn tussen water en land) in de buitenbocht constant wordt gehouden (zie fig. 27), waardoor het schip op eenvoudige wijze onder controle kan worden gehouden in het voor haar bestemde deel van het vaarwater.

Immers in een rivierbocht is lang geen sprake van een stationaire toestand waardoor het schip aan steeds wisselende krachten blootstaat. Wanneer men nu gebruik maakt van een constante kiellijnafstand om door de bocht te varen wordt de resultante van al die wisselende krachten steeds merkbaar in veranderingen in de kiellijnafstand en kan op basis daarvan de gewenste correctie worden aangebracht, met behulp van roer en/of snelheidsveranderingen.

Wanneer nu een schip in een rivierbocht vaart zal zij dat echter niet doen op de manier beschreven in fig. 27, maar

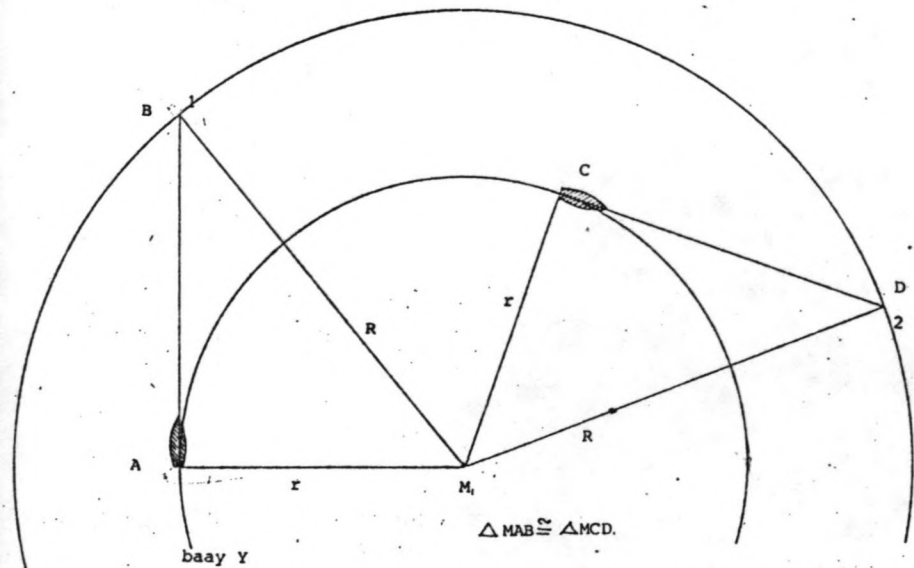


fig. 27

Wanneer $AB = CD$ blijft en hoek $B1 = \angle D2$ dan volgt het schip baan Y. Wordt $\angle B1$ kleiner of groter of wordt AB groter of kleiner dan gaat het schip van baan Y af.

bg X
(oever)

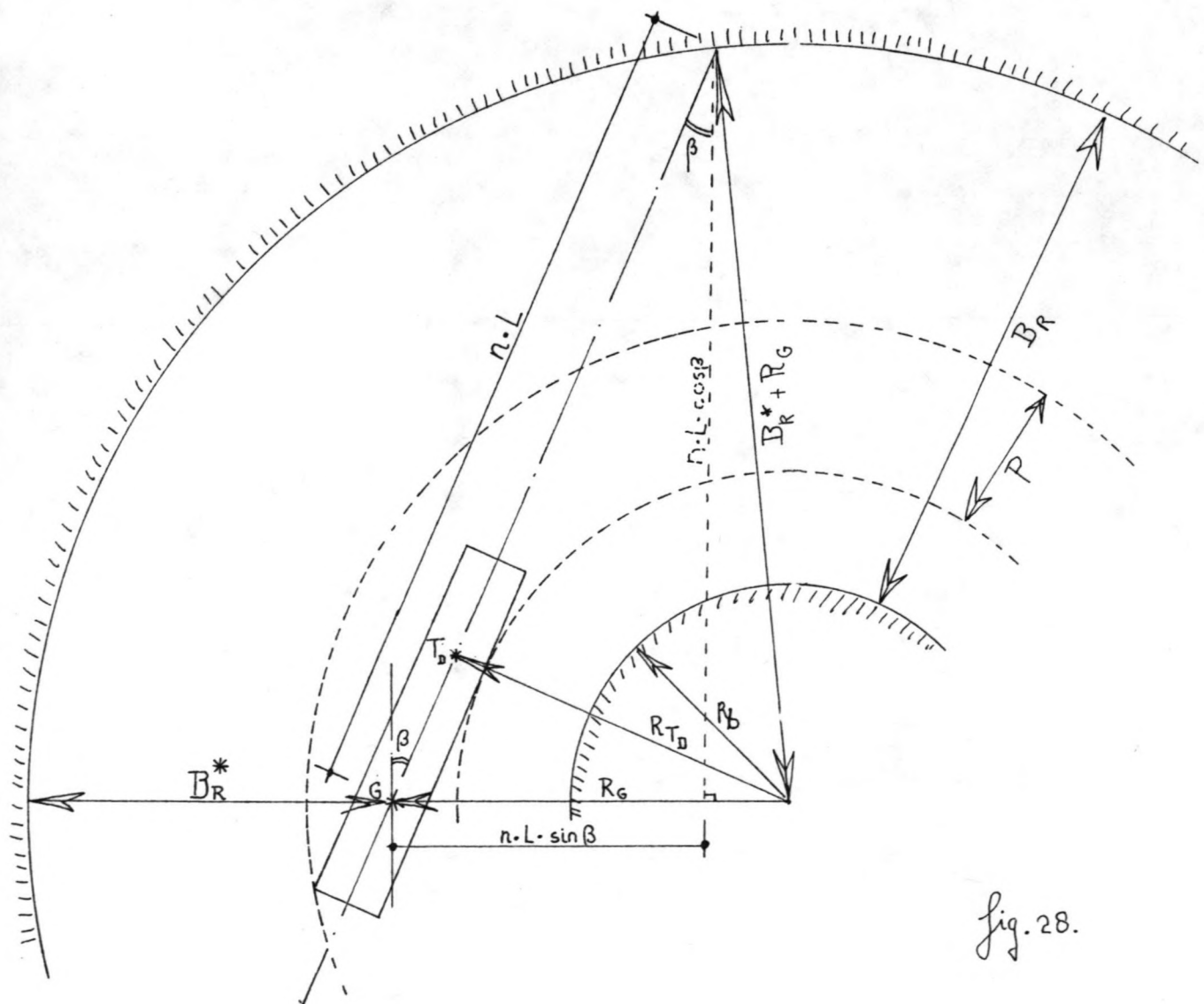


fig. 28.

maar zal zij dat doen onder een zekere drifthoek β (zie fig. 28).

In deze figuur is de zgn. kiellijnafstand aangehouden op $n \cdot L$, gemeten vanaf het gewichtszwaartepunt. Op grond van fig. 28 is nu met behulp van wat algebra een relatie te leggen tussen enerzijds de rivierbreedte en anderzijds de drifthoek β , de bochtstraal R_G en de kiellijnafstand.

Voorwaarde is wel, dat de plaats van het schip in de rivier gegeven is; met andere woorden: De afstand $R_G - R_b$ dient bekend te zijn.

Met de stelling van Pythagoras vindt men:

$$(R_G + B_R^*)^2 = (R_G - n \cdot L \cdot \sin \beta)^2 + (n \cdot L \cdot \cos \beta)^2 \quad (98)$$

waaruit volgt:

$$\frac{B_R^*}{L} = \left[\left(\frac{R_G}{L} \right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot R_G \cdot \sin \beta}{L} + n^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{R_G}{L} \quad (99)$$

Voor de betekenis der symbolen zie figuur 28. Als dus inderdaad de afstand $R_G - R_b$ bekend is, dan vindt men de rivierbreedte $B_R = B_R^* + R_G - R_b$.

Als men in formule (99) voor $R_G = R_b$ dan vindt men de minimaal benodigde rivierbreedte, gegeven de bochtstraal R_b , de drifthoek β en de minimum kiellijnafstand:

$$\frac{B_{R, \text{MIN}}}{L} = \left[\left(\frac{R_b}{L} \right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot R_b \cdot \sin \beta}{L} + n^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{R_b}{L} \quad (100)$$

Dit verband is grafisch vastgelegd op bijlage 30 voor $n = 5$ en op bijlage 31 voor $n = 4$. Wat voor duwstellen de minimale kiellijnafstand is, is afhankelijk van de situatie, maar in het algemeen zal deze liggen in het gebied $2 < n < 5$. Echter waarden van $n = 1,5$ komen ook voor, hetgeen is te zien als men de radarplots van prototypeproeven met 2-baksduwvaart op de Main analyseert (zie lit. [16]).

Voor het bepalen van de drifthoek β in formule (100) kan verwezen worden naar het resultaat van het modelonderzoek in het waterloopkundig laboratorium de Voorst: zie formule (52). Een andere mogelijkheid om de drifthoek β te vinden voor de toepassing van formule (100) is, gebruik te maken van de grafieken van Schüle (bijlage 19) waarmee men de benodigde padbreedte kan bepalen; Op bijlage 28 en 29 staat dan weer vermeld hoe deze padbreedte kan worden vertaald

de ingenomen drifthoek β .

IV.4 Samenvatting bochtvaren als basis voor de dimensionering van vaarwegen; slotconclusie.

Op grond van alle voorgaande beschouwingen is nu in het kort weer te geven, de wijze waarop een schipper (duwvaartkapitein) in theorie het best op voorhand een rivierbocht kan bevaren met als uitgangspunten:

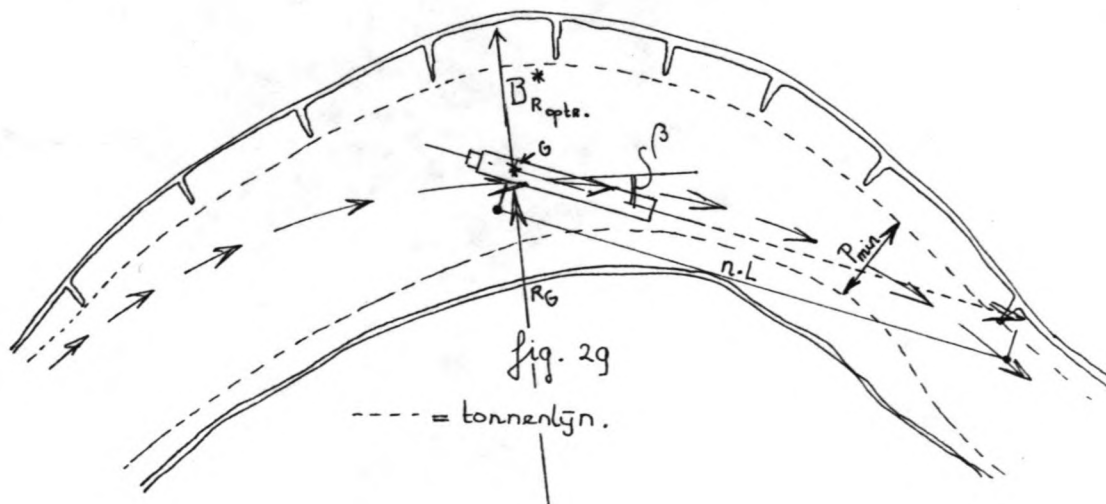
- Geometrie van de rivierbocht (oeverlijn, tonnenlijn)
- Afmetingen en eigenschappen van de duwvaartcombinatie (B, L, T, ω_{max} , n).

Het doel is te weten te komen met welke snelheid en welke te varen baan het schip de rivierbocht door kan komen op grond van bovenstaande uitgangspunten. Dit is mogelijk als men bedenkt, dat bij het bochtvaren het schip (duwvaartcombinatie) aan een drietal criteria dient te voldoen:

1. $P \geq B + 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{L^2}{R_G}$
2. $\frac{B_R^*}{L} \geq \left[\left(\frac{R_G}{L} \right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot R_G \cdot \sin \beta}{L} + n^2 \right] - \frac{R_G}{L}$
3. $R_{G,CR} = 57 \cdot \frac{v_a}{\omega_{max}}$; $R_{G,CR}$ = kritische bochtstraal

(zie ook figuur 28). De eerste twee criteria zijn bekend, het derde criterium volgt uit het feit, dat een duwconvooi, afhankelijk van de specifieke eigenschappen, gebonden is aan een maximale koershoeknelheid ω_{max} die zal liggen in het gebied: $0,3 \% < \omega_{max} < 0,6 \%$.

Gegeven nu een rivierbocht, stel als volgt; (zie figuur 29).



Het schip zal nu trachten de bocht af te snijden om de gevaren bochtstraal zo groot mogelijk te houden (zie de pijltjeslijn in figuur 29); dit omdat volgens criterium 1, dan de snelheid v_a bij gelijkblijvende padbreedte zo groot mogelijk kan zijn en ook op grond van criterium 3, omdat bij grote bochtstraal de snelheid zo groot mogelijk is, gegeven de ω_{max} van het schip..

Er ontstaat nu een iteratieproces om de gevraagde vaarbaan en snelheid te vinden:

1. Bepaal de gevaren baan, gegeven de vaarweggeometrie, opdat R zo groot mogelijk is (zie de pijltjeslijn in figuur 29).
2. Bepaal op grond van criterium 3 de maximale vaarsnelheid $v_{a,max}$.
3. Controleer criterium 1:

$$P_{min} \geq B + 0,03 \cdot v_{a,max} \cdot \frac{L^2}{R_G} \quad ?$$

zo ja: $v_a = v_{a,max}$

zo nee: bepaal v_a uit :

$$v_a = \frac{(P_{min} - B) \cdot R_G}{0,03 \cdot L^2}$$

4. Controleer criterium 2:

Uit iteratie 3. volgt P, waarna men met behulp van de bijlagen 28 en 29 de drifthoek β kan bepalen.

Gegeven n volgt nu uit criterium 2: $B_{R,min}^*$. Is $B_{R,min}^* \leq B_{R,optR}^*$?

($B_{R,optR}^*$ = de optredende B_R^*)

zo ja: dan O.K.: het schip vaart met bovenberekende waarden voor v_a , P, β door de bocht.

zo nee: schat nieuwe $\beta = \beta_{nieuw} < \beta_{oud}$ zodat net aan criterium 2 wordt voldaan met $B_R^* = B_{R,optR}^*$. Bepaal nu weer P uit de formules op de bijlagen 28 en 29 en bereken daarna v_a uit:

$$v_a = \frac{(P - B) \cdot R_G}{0,03 \cdot L^2}$$

opdat alles weer bekend is.

Bovenstaand iteratieproces is nogeens overzichtelijk samengevat in een stroomschema, dat te vinden is op bijlage 32.

Aan het gebruik van dit iteratieproces voor de berekening van de optimale vaarbaan en vaarsnelheid kleven de volgende bezwaren:

- Het schip wordt geacht de bocht door te varen met een constante snelheid, zodat een eventuele vaarbaanbreedtebeperking met behulp van een versnelling in de bocht, zoals beschreven in hoofdstuk III.2 niet meegenomen wordt in de berekening.

Als het iteratieproces gebruikt wordt voor de dimensionering van een te verbreden rivierbocht dan zijn de uitkomsten te beschouwen als een soort bovengrensbenadering.

- Het schip wordt geacht geen hinder te ondervinden van overige scheepvaart die voor de bocht te wachten ligt totdat de duwvaart de bocht heeft gepasseerd. De beschreven berekeningsmethode kan in geval van overige scheepvaart toch toegepast worden door een passende reductie aan te brengen in de gegeven toegestane padbreedte of de te varen bochtstraal te verkleinen.
- De bepaalde R_G in het iteratieproces zal een gemiddelde zijn daar in de praktijk de vaarbaan uit een aaneenschakeling van boogstralen bestaat (zie hoofdstuk III.2.7)
- Het gehele proces is op grond van de gehanteerde formules alleen geldig voor geladen duwstellen, zodat het proces voor de dimensionering van rivierbochten niet zo waardevol is aangezien ongeladen duwstellen hiervoor meestal maatgevend zijn.

IV.5 Consequenties van de vaarmethode volgens Breedveld voor de tangenthoek, bij de dimensionering van rivierbochten.

Vooraf bij de dimensionering van kanalen en de bepaling van de lay-out is het begrip tangenthoek van bijzonder belang. In lit. [17] wordt gesteld, dat voor kanalen geldt, dat bij bochten met een tangenthoek $\epsilon < 20^\circ$ en $R/L > 10$ géén bochtverbreding behoeft te worden toegepast. Het begrip tangenthoek wordt duidelijk aan de hand van onderstaande figuur 30:

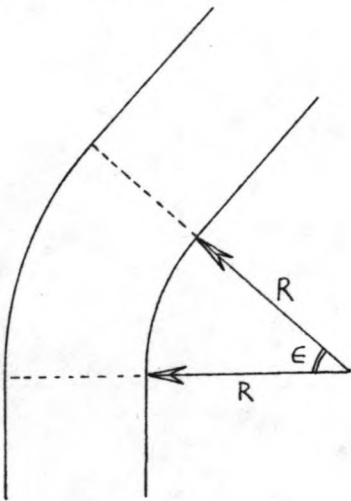


fig. 30

ϵ = tangenthoek.

Zo kan men ook voor rivieren de vuistregel opvatten, dat een schip c.q. duwvaartcombinatie in een bocht géén noemenswaardige toename van het breedtebeslag in vergelijking met de rechtstand vraagt als de tangenthoek $\epsilon < 20^\circ$ en $R/L > 10$ is. Wanneer men hieraan toevoegt de conclusie van D. Breedveld in lit. [14] dat de zichtafstand in rivierbochten groter dient te zijn dan n maal de lengte van de formatie in verband met een veilige verkeersafwikkeling, dan heeft men dus twee voorwaarden, waaronder géén noemenswaardige toename van het breedtebeslag in rivierbochten ontstaat (zie figuur 31):

1e voorwaarde: $\tan \epsilon = \frac{n \cdot L}{R}$ (101)

2e voorwaarde: $\frac{R}{L} \geq 10$ (102)

Uit vergelijking (101) en (102) volgt dan voor:

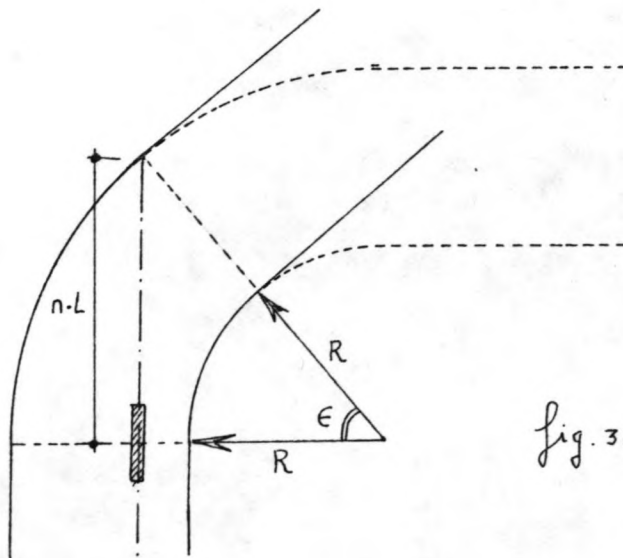


Fig. 31

- $n = 0 : \epsilon = 0$
- $n = 1 : \epsilon = 5,7$
- $n = 2 : \epsilon = 11,3$
- $n = 3 : \epsilon = 16,7$
- $n = 4 : \epsilon = 21,8$
- $n = 5 : \epsilon = 26,5$

Dus de conclusie in lit. [17], dat zowel $R/L > 10$ als $\epsilon < 20^\circ$ dient te zijn, wanneer men geen bochtverbreding toepast wordt dus gestaafd door het artikel van D. Breedveld (lit. [14]) wanneer $n < 4$, waardoor de voorwaarden in lit. [17] die theoretisch niet onderbouwd zijn, meer waarde krijgen op grond van zuiver praktische waarnemingen van duwvaartkapiteins!

Eén en ander is grafisch weergegeven op bijlage 33, waarin zowel de norm $R/L > 10$ als de "ervaringsnorm" volgens D. Breedveld tegen de tangenhoek ϵ is uitgezet. De gearceerde gebieden geven aan voor welke waarde van ϵ geen bochtverbreding hoeft te worden toegepast voor verschillende waarden van n .

Op bijlage 34 is uitgezet het extra breedtebeslag in de bocht: $\Delta B = 0,03 \cdot v_d^2 \cdot L^2 / R$ tegen de bochtstraal R . Ook hierin is aangegeven de grens $R/L = 10$, waarboven men het extra breedtebeslag ΔB mag verwaarlozen (zie de stippellijn).

Hoofdstuk V - Installaties op de duwformaties zelf, ter reductie van de padbreedte en verbetering van de manoeuvreerbaarheid.

V.1 Inleiding.

Zoals bekend vereist een duwconvooi in een rivierbocht een zekere extra padbreedte in vergelijking met het varen op de rechte rakken. Daar nu de laatste jaren voor wat betreft de duwvaart een schaalvergroting heeft plaatsgevonden (meer bakken, grotere snelheid) is het gevolg, dat bepaalde rivierbochten hier niet meer op berekend zijn (denk aan de problemen rond de invoering van de zesbakduwvaart en de gevolgen voor de bocht bij Nijmegen), zowel ten aanzien van de capaciteit als bv. de aantasting van oeverbeschermingen.

De oplossing voor deze problemen splitst zich in twee hoofdalternatieven:

1. Zorgen, dat de benodigde padbreedte verkregen kan worden, waarbij gedacht wordt aan vaarwegverbetering of een betere begeleiding van de schepen. Het eerste leidt vaak tot enorme kosten in verband met bochtverbreding of bochtafsnijding wat weer grote gevolgen kan hebben voor het zandtransport en de evenwichtsligging van de rivierbodem alsmede de aanpassing of vernieuwing van de bestaande oeverbeschermingen.
Het tweede leidt vaak tot onplezierige wachttijden en dus economische verliezen.
2. Zorgen, dat de duwconvooien minder padbreedte nodig hebben, door hun manoeuvreerbaarheid te vergroten. Deze oplossing kan leiden tot lagere gekapitaliseerde kosten dan de oplossing onder 1. Daarom zal in het hiernavolgende wat dieper worden ingegaan op de mogelijkheden die er zijn om met behulp van installaties op het duwconvooi de benodigde padbreedte, met name in rivierbochten, te verkleinen.
De bedoelde hulpmiddelen zijn onder te verdelen in:
 - a. passieve koproeren.
 - b. actieve koproeren.
 - c. knikbesturing.
 - d. combinatie van a. en c.

V.2 Passieve koproeren (passieve kopbesturing)

Onder passieve koproeren worden zwaarden verstaan, die draaibaar om een as, aan één van de voorste bakken worden bevestigd en te besturen zijn vanuit de stuurhut van de duwboot (zie fig. 32).

Het doel is een reductie van de drifthoek, en dus van de padbreedte te verkrijgen en om de beheersbaarheid van de duwformatie als geheel te vergroten (denk aan sterke zijwind op een ongeladen formatie).

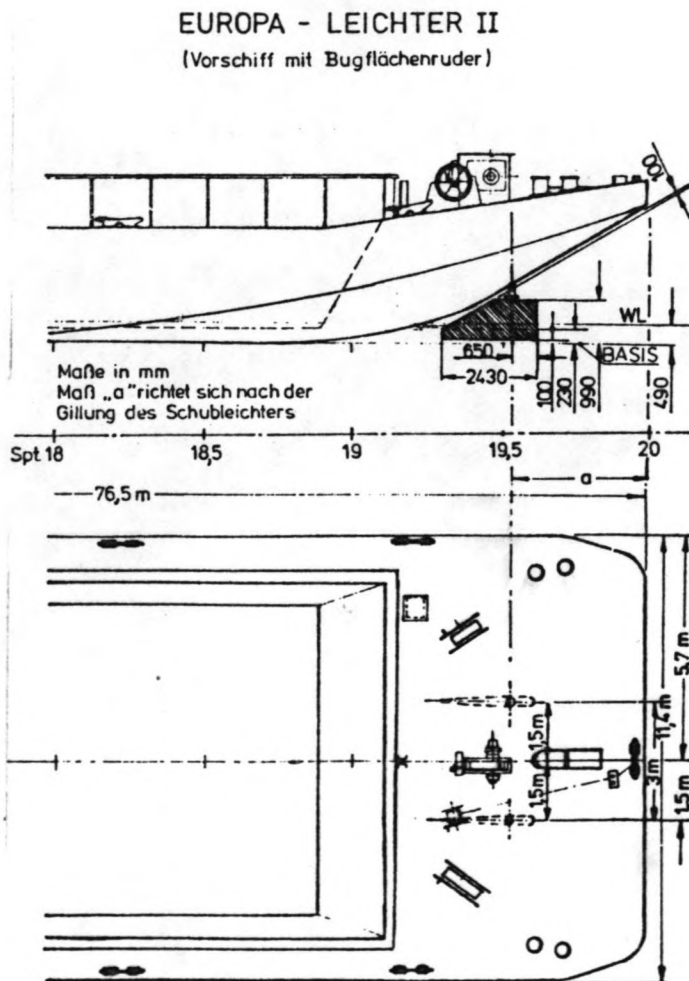


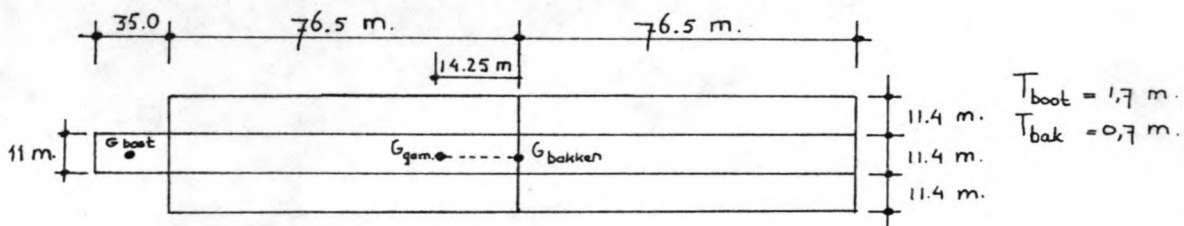
fig. 32

Uit onderzoek door het Waterloopkundig Laboratorium de Voorst (zie lit. [6]) blijkt, dat bij toenemende waarde van de koproerhoek k , niet alleen de drifthoek β afneemt, maar ook de roerhoek δ . Zie bijlage 35.

zich in eerste instantie tot de onderzochte gevallen vermeld op bijlage 35. Aangezien echter de effectiviteit van de koproeren overwegend door v_R wordt bepaald, lijkt het aannemelijk dat ook bij waarden van v_s die afwijken van de onderzochte ($v_s = 2$ m/s.) en overigens overeenkomstige condities ($T \leq 0,7$ m, $h \geq 3$ m en $v_R \geq 4$ m/s.) ongeveer een zelfde afname van de drifthoek β mag worden verwacht bij gebruik van de onderzochte koproeren.

6. Uit onderzoek blijkt tevens, dat de invloed van de koproeren slechts zeer gering is voor diepgangen $T > 1,0$ m. De proeven zoals beschreven in bijlage 35 zijn genomen bij een $T = 0,7$ m. In de praktijk hebben de lege duwbakken soms een diepgang van slechts 0,5 m, waardoor het effect van de koproeren waarschijnlijk nog groter is; echter dit is misschien een suggestie voor nader onderzoek.

Aangezien men niet zozeer is geïnteresseerd in de afname van de drifthoek β als wel in de afname van de benodigde padbreedte P , zal met behulp van bijlage 35 worden nagegaan wat voor formatie 5 uit deze bijlage de afname van de padbreedte is:



Gewichtszwaartepunt van de bakken en de boot in het midden aangenomen.

Gewicht bakken: $0,7 \cdot 2 \cdot 76,5 \cdot 34,2 \cdot 10 = 36628,2$ kN.

Gewicht boot: $1,7 \cdot 11 \cdot 35 \cdot 10 = 6545,0$ kN.

Het gemeenschappelijk zwaartepunt bevindt zich dan op 14,25 m vanaf het zwaartepunt van de bakken.

Zie nu weer bijlage 35 en bijlagen 28 en 29:

Zonder koproeren: $\beta = 8,2^\circ \longrightarrow P = 57$ m.

Met koproeren: $\beta = 4,5^\circ \longrightarrow P = 44$ m. ($k = 45^\circ$)

Met andere woorden, voor dit geval een afname in de padbreedte van maar liefst 22,8%!

Dit laatste is te verwachten, omdat de koproeren niet alleen het evenwicht in dwarsrichting beïnvloeden, maar ook het rotatieevenwicht (gierbeweging). Bij schepen zonder koproeren wordt de gierbeweging in stand gehouden door het roer, dat op het achterschip een dwarskracht uitoefent. Een koproer, dat bv. recht onder het schip staat (koproerhoek $k = 0^\circ$) wordt als gevolg van de drift toch scheef aangestroomd en zal dus een dwarskracht op het voorschip geven, gericht naar de binnenbocht. Deze kracht vormt uiteraard ook een koppel, met als gevolg, dat voor het rotatieevenwicht de bijdrage van de hoofdrollen (achter) kleiner worden. Dit uit zich in een afname van .

Verdere resultaten van het onderzoek zijn:

1. De aanwezigheid van koproeren ($k = 0^\circ$) heeft op zichzelf al tot gevolg dat de drifthoek β in de orde van 1° kleiner wordt, terwijl δ 2 à 3° afneemt.
2. De grootste effectiviteit wordt bereikt voor $k = 30$ à 45° . De maximale afname (ten opzichte van een formatie zonder koproeren) van de drifthoek β bedraagt ongeveer 6 à 7° .
3. De invloed van de koproeren lijkt bij de grote formatie iets zwakker te zijn dan bij de kleinere.

Andere belangrijke punten die uit het onderzoek naar voren komen zijn van meer algemene aard en laten zich als volgt samenvatten:

4. De grootte van de meest effectieve roerhoek is mede afhankelijk van de drifthoek, aangezien de aanstroomhoek van het roer globaal gelijk is aan de som van de drifthoek en de koproerhoek.

Het onderzochte geval ($v_R = 4$ m/s. stroomafwaarts en $v_S = 2$ m/s.) is tamelijk extreem (zie ook bijlage 35). Op stilstaand water of bij vaart stroomopwaarts zullen de drifthoeken in de orde van 5° kleiner zijn. Te verwachten is dan, dat in die situatie de meeste effectieve waarde van de koproerhoek k dientengevolge ongeveer 5° groter zal zijn.

5. De geldigheid van de hier genoemde resultaten beperkt

De conclusie op grond van bovenstaand onderzoek is dan ook, dat koproeren een aanzienlijke reductie teweeg kunnen brengen in de benodigde padbreedte in rivierbochten. Rijst natuurlijk de vraag waarom deze koproeren in de praktijk nog zo weinig worden toegepast. De verklaring hiervoor is, dat de installatiekosten van deze koproeren tamelijk hoog zijn en men nog steeds het principe aanhangt van de volledige uitwisselbaarheid van de bakken.

V.3 Actieve koproeren (actieve kopbesturing).

Onder actieve kopbesturing wordt verstaan, het aanwezig zijn van een gemotoriseerde, vrij draaibare stuurinrichting in de vorm van een schroef aan de kop van één van de voorste bakken (zie figuur 33).

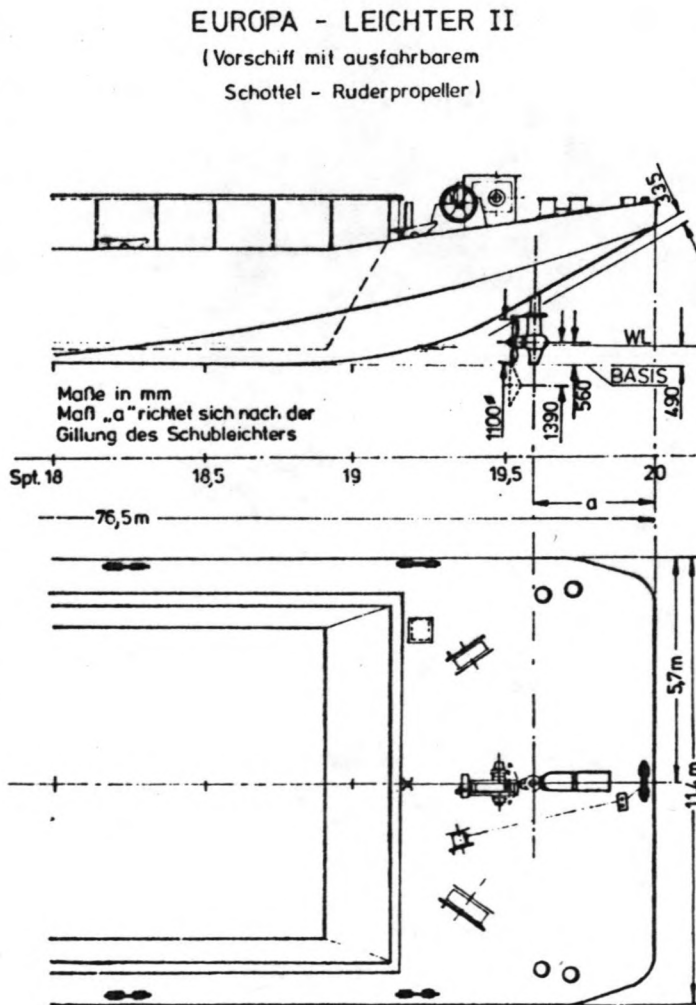


fig. 33

Hoewel deze stuurinrichting in de praktijk goed blijkt te werken, vooral bij zeer sterke wind, zeer krappe bochten en daar waar een goede manoeuvreerbaarheid vereist is, wegen de voordelen toch niet op tegen de nadelen, zoals:

- de zeer kostbare installatie
- de grote kwetsbaarheid van deze stuurinrichting
- er wordt niet voldaan aan de eis van volledige uitwisselbaarheid van de bakken.

V.4 Knikbesturing.

Het onderzoek naar de reductie van het ruimtebeslag in bochten, door middel van de zgn. "geknikte vaart" staat momenteel zeer in de belangstelling (men denke aan het onderzoek in het waterloopkundig laboratorium de Voorst). Behalve het reduceren van het ruimtebeslag in bochten heeft de geknikte vaart nog een aantal belangrijke voordelen (zie ook lit. [18]):

1. De duweenheid volgt beter de stroomlijnen en dieptelijnen van de rivier en ondervindt daardoor minder weerstand dan de starre duweenheid.
2. Er kan (bv. bij de 6-baksduwvaart) in alle omstandigheden in de lange formatie gevaren worden, zodat minder weerstand ondervonden wordt in vergelijking met het varen in de brede formatie, dat vaak noodzakelijk zou zijn in verband met de betere manoeuvreerbaarheid.
3. De betere manoeuvreerbaarheid als gevolg van knikbesturing wordt niet ontleend aan een groter motorvermogen. Dit heeft consequenties voor het brandstofverbruik.
4. De zgn. "flanking" roeren zijn niet nodig.
5. Er kan eventueel brandstof bespaart worden doordat het aantal roeruitslagen beperkt kan worden, omdat de duwboot in veel gevallen op dezelfde wijze wordt gebruikt als een buitenboordmotor.
6. De beperking van de aflaaddiepte is niet zo groot bij knikbesturing omdat de duweenheid veel beter de stroomlijnen en de dieptelijnen van de rivier volgt.
7. Het koppelen van de bakken gaat sneller.

Dat de duwvaart tot op heden nog geen gebruik maakt van knikbesturing is mede te danken aan de hiernavolgende nadelen:

1. Dure investering die waarschijnlijk nog niet terugverdiend kan worden. Anders zou het worden als bv. in Nederland alleen 6-baksduwvaart zou worden toegestaan met het gebruik van knikbesturing. Voor deze interessante doch hier verder niet ter zake doende materie wordt verwezen naar de literatuur [19].
2. Enorme knikkrachten en momenten in de scharnieren van de knikbesturing.
3. De aloude eis, dat alle mechanische onderdelen zich zoveel mogelijk op de duwboot bevinden, waardoor de bakken volledig uitwisselbaar blijven.
4. De waterbeweging van het knikduwstel is bij aanwending van hetzelfde vermogen groter dan van het starre verband. Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in de voor het knikduwstel grotere vaarsnelheid bij gelijk vermogen. Ter illustratie het volgende tabelletje, dat afkomstig is uit literatuur [20].

tabel 6.

Formatie	(vermogen) (pk)	snelheid v_d (m/s.)	retourstr. (m/s.)	spiegel­daling (m.)
2x2 star	(3125)	2,8	0,50	0,23
3x2 star	(3750)	2,7	0,47	0,21
3x2 knik	(3750)	2,8	0,53	0,25
3x2 knik	(3125)	2,6	0,45	0,20

5. De hinder die de overige vaart als gevolg van de "onbekendheid" met het vòòrkomen van knikduwvaart heeft. Ook al zou er sprake zijn van een uniform gebruik van het knikken, hetgeen bevorderd zou kunnen worden door enerzijds gebruik te maken van een stuurautomaat, welke naast de roeren ook de scharnieren bedient en anderzijds door het trainen van de duwvaartkapiteins met behulp van een manoeuvreersimulator, dan nog zou het mogelijk geruime tijd kunnen duren voor de knikduwstellen enigszins in het verkeersbeeld zijn geassimileerd.

Verwacht mag worden, dat vooral tijdens deze "geweningsperiode" de neiging zal bestaan om op grond van de onbekendheid een grotere "schrikafstand" te handhaven, welke gevolgen zal hebben voor de al beperkte ruimte in rivierbochten.

Dit over de eventuele voor- en nadelen die in het algemeen zullen gelden bij de invoering van de geknikte vaart.

Nu iets over de theorie die er achter zit: Op bijlage 36 is aangegeven hoe het krachtenspel eruit ziet vij toepassing van geknikte vaart: De middelpuntvliegende kracht, die anders in evenwicht dient te worden gehouden, door een tamelijk grote drifthoek in acht te nemen, kan nu deels in evenwicht worden gehouden, door de ontbondene van de stuwkracht van de duwboot en de extra stromingsdruk van het water, waardoor de drifthoek β en dus de padbreedte P kan worden verkleind.

In het algemeen kan de geknikte vaart worden onderverdeeld naar toepassing van:

1. Actieve verbindingen. Dit zijn vanuit de stuurhut te bedienen verbindingen, waarbij de krachtsoverdracht mechanisch (door middel van spullen of lieren), hydraulisch, pneumatisch of door een combinatie hiervan kan plaatsvinden (zie figuur 34).

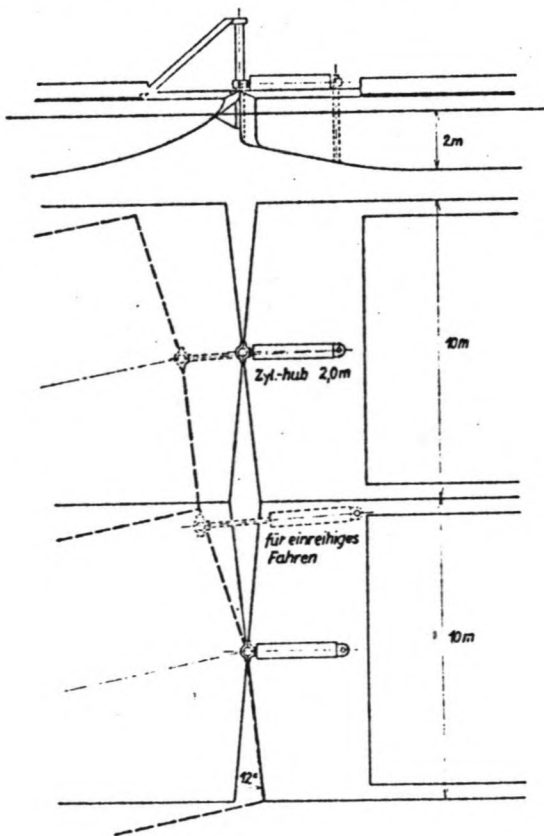


fig. 34
afknikken middels
hydraulische cylind-
ders op de bakken.

2. Passieve verbindingen. Dit zijn vrij draaibare verbindingen, waarbij één of meer bakken met behulp van kabels en lieren niet alleen ten opzichte van elkaar verdraaien maar ook een verplaatsing ondergaan (zie bv. figuur 35).

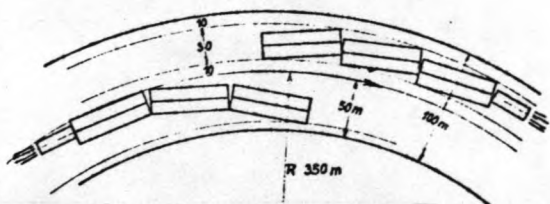


fig. 35 boven:
passieve knikvaart.
fig. 35 onder:
actieve knikvaart.

3. Elastisch-passieve verbindingen. Deze verbindingen zijn uitgerust met behulp van veren, die bij terugkomst van het schip in de rechtstand een terugkoppelingsmoment veroorzaken, opdat de terugkoppelingskrachten gereduceerd worden.

V.4.1 actieve verbindingen.

Uit diverse onderzoeken blijkt (zie lit. [21] en [22]), dat aan actieve verbindingen tot nu toe het grootste vertrouwen mag worden gegeven voor de toekomst, daar aan andere vormen van knikbesturing grote bezwaren kleven (hierover later meer). De grote vraag blijft echter welke bakken het gunstigste kunnen worden uitgeknikt bij het bochtvaren. Als we bv. een systeem beschouwen waarbij de mogelijkheid bestaat zowel de bakken die net voor de duwboot liggen uit te knikken als de bakken die de boeg vormen (zie ook bijlage 36), wat is dan de optimale combinatie ter verkrijging van de gewenste reductie van de padbreedte? Het blijkt, dat er in de literatuur nogal uiteenlopende meningen bestaan ten aanzien van die optimale combinatie. In lit. [18] en [23] wordt aan het uitknikken van alleen de voorste bakken weinig waarde gehecht om de volgende twee redenen:

- 1e Op grond van de geometrie zal het afknikken van de voorste bakken de padbreedte alleen maar vergroten (zie bijlage 37 en 38). Hierbij dient echter wel te worden opgemerkt, dat de drifthoek door het uitknikken van de voorste bakken kleiner zal worden dan bij het starre verband, als gevolg van de door de extra stromingsdruk

opgewekte dwarskracht die de trifugaalkracht tegenwerkt. De verkleining van de drifthoek, die dus weer een verkleining van de padbreedte teweeg brengt, moet echter relatief te grote waarden bereiken om bovengenoemde negatieve invloed op grond van de geometrie teniet te doen (zie lit. [18] en bijlage 37 en 38).

2e Door het afknikken van de voorste bakken ontstaan grote knikkkrachten; dit komt doordat na het afknikken, de bakken verder willen draaien als gevolg van de zijdelingse aanstroming. Onderzoekingen van prof. Völker in Wenen (zie lit. [23]), waarbij deze knikkkrachten gemeten werden, bevestigen dit en tonen aan, dat de hydraulische krachten in de voorste knikverbindingen nadat de maximale knikhoek is bereikt, zéér groot zijn. De maximale kracht treedt echter op wanneer de bakken worden teruggedraaid in de rechtstand, nadat de bocht is beëindigd. Voor bv. een onderzocht 6-baksduwstel van 227 m. in de lange formatie bedroeg de bij het afknikken benodigde kracht ongeveer 600 kN. Ter illustratie hiervan is nog de uit deze literatuur overgenomen kracht-tijddiagram weergegeven (zie figuur 36).

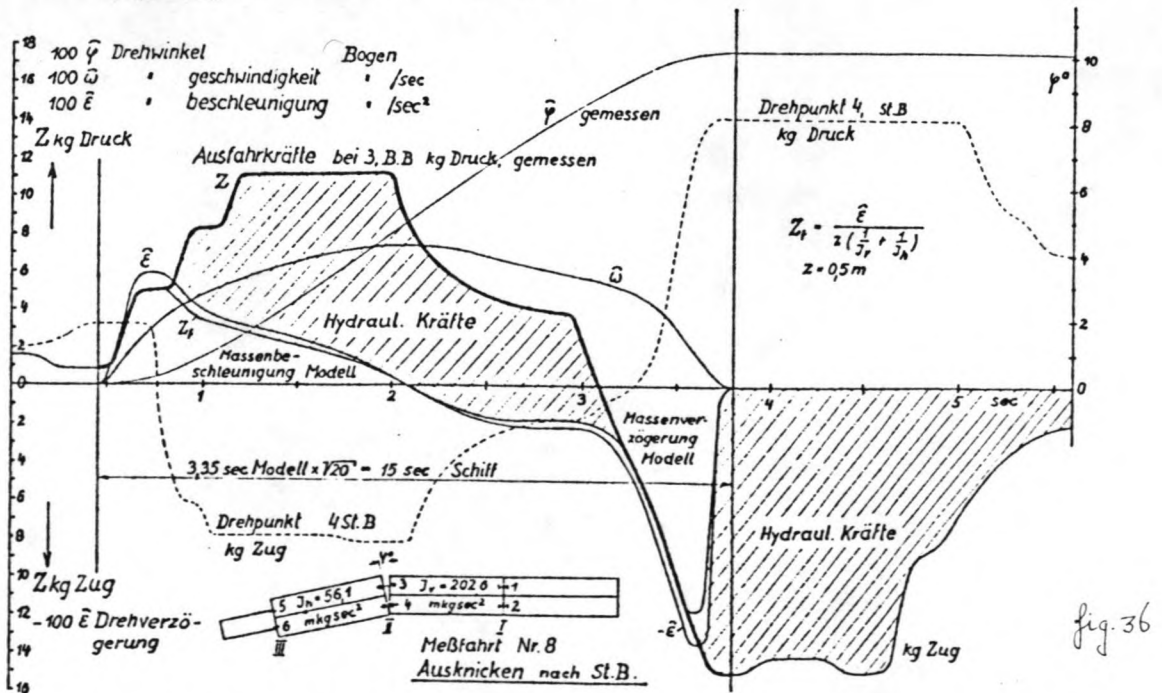


Abb. 36 Abknicken am Gelenk II bei 14 km/h. Aus dem Anwachsen des Knickwinkels φ sind die Massen-Drehbeschleunigungskräfte des Modells errechnet, ihre Differenz gegen die gemessenen Gesamtkräfte gibt (schraffiert) die hydraulischen Kräfte an. Diese sind nach Beendigung des Abknickvorganges besonders groß, noch größer aber beim Zurückknicken in die gerade Ausgangslage

In lit. [22] wordt echter bij toepassing van het zgn. knikstelsel " van Roon" (zie figuur 37) het tegendeel aangetoond.

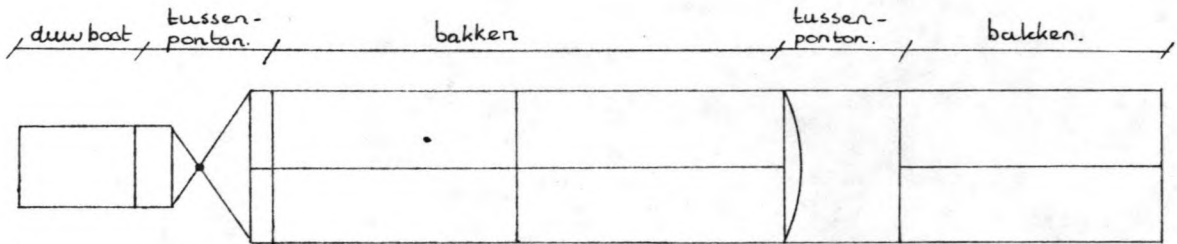


fig. 37: "knikstelsel van Roon"

bakken worden verbonden d.m.v. een tussenponton.

Eén van de conclusies is namelijk, dat slechts het gebruik van de voorste knik een reductie van de padbreedte geeft. Kennelijk zorgt de stromingsdruk dan voor een zodanige reductie van de drifthoek, dat het negatieve effect op grond van de geometrie wel méér dan teniet wordt gedaan!

Om het beeld van tegenstellingen die in de literatuur te vinden zijn compleet te maken wordt vermeld, dat in lit. [21] blijkt, dat voor bv. 2-baksduwvaart in de lange formatie de padbreedte behoorlijk gereduceerd wordt, wanneer alleen de achterste bak afgeknikt wordt. Dit is goed te zien in figuur 38a en 38b uit [21], waar de benodigde pad-

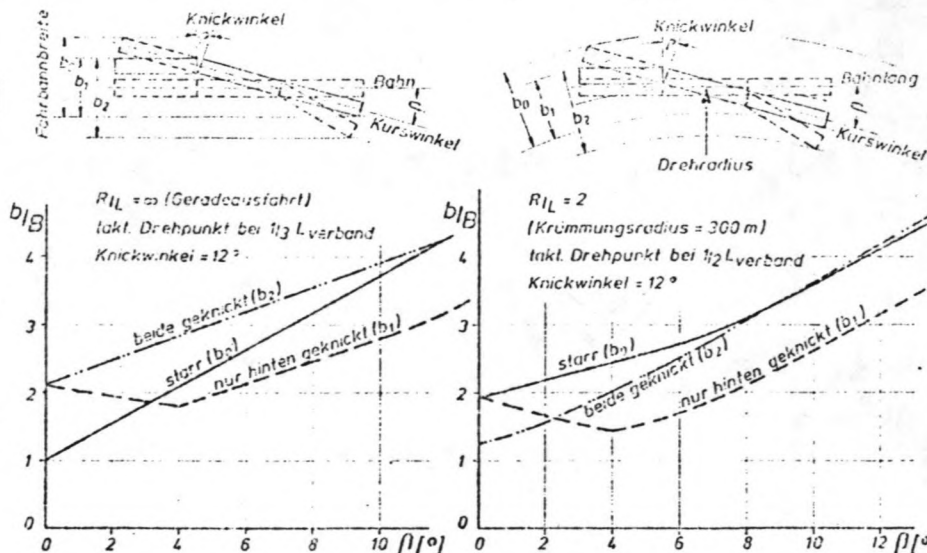


fig. 38a

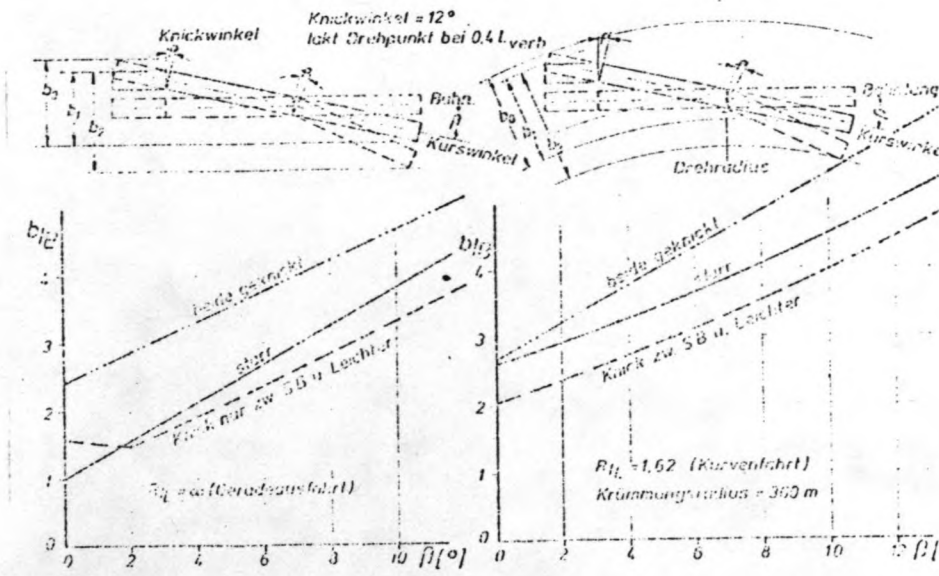


fig. 38b

breedte voor een 2-baksformatie is uitgezet tegen de drift-hoek. In deze figuren stelt b de ingenomen padbreedte voor, die dimensieloos wordt gemaakt met de breedte B van de bakken. Het linkerdiagram is voor de vaart in de rechtstand, terwijl rechts de situatie tijdens bochtvaren is geschetst. De knikhoeck bedraagt 12° . Echter bij proeven, waarop deze figuren betrekking hebben, is gebleken, dat de gemeten drifthoek niet langer vergelijkbaar is met die in de starre situatie. De metingen van de drifthoeken bij verschillende knikvarianten tonen namelijk aan, dat de alleen achter geknikte formaties een grotere drifthoek innemen, maar desondanks een kleinere padbreedte vereisen. Dit is natuurlijk vanuit de theorie ook verklaarbaar aangezien door het achter afknikken de stuwkracht van de duwboot naar de buitenbocht is gericht waardoor de drifthoek moet toenemen, echter op grond van de geometrie mag worden verwacht, dat de padbreedte wordt verkleind.

De drifthoek zoals die zich bij het bochtvaren instelt is door Schüle gemeten voor bv. een starre 2-baksformatie (afmetingen $160 \times 9,5$ m².) op het Main-Donau-kanaal, waarbij ook de invloed van de vaarsnelheid en kromtestraal van de bocht worden gemeten. Dit is weergegeven in figuur 39, waar nu ook ter vergelijking de achter geknikte formatie is weergegeven. De ingenomen padbreedtes zijn als een band

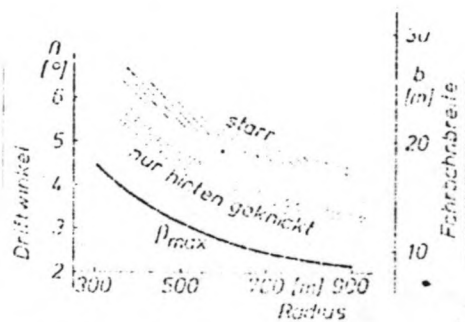


fig. 39

getekend om de invloed van de plaats van het tactisch draaipunt weer te geven. Een belangrijke conclusie, die op grond van deze figuren kan worden getrokken is, dat bij afnemende bochtstraal de invloed van afknikken op de reductie van de padbreedte ook afneemt. Een andere net zo belangrijke gevolgtrekking is, dat bij een bochtstraal van bv. 600 m. de ingenomen padbreedte voor de starre formatie ca. 20 m. is terwijl die voor de geknikte formatie ca. 16 m. bedraagt. Kortom een reductie van 20%! Bij dit optimistische geluid dient wel de kanttekening te worden gemaakt, dat bovenstaande hoofdzakelijk geldig is voor de omstandigheden, zoals die zich met bovengenoemde 2-baksformatie op kanalen of gekanaliseerde rivieren voordoen.

Om nu de invloed van het afknikken op de grote rivieren bij 4-baksformaties na te gaan is door de V.B.D. onderzoek verricht in een model. Het resultaat is te zien op bijlage 39. Er werden twee extreme gevallen onderzocht: rechtuitvaart ($R/L = \infty$) en bochtvaart ($R/L = 1$). Bij vergelijking van de starre en de geknikte 4-baksformatie valt op te maken, dat de drifthoek van de geknikte formatie 7% groter is, maar de ingenomen padbreedte daarentegen 8% kleiner! Een nog niet genoemd voordeel van het alleen achter afknikken ten opzichte van het voor afknikken, is dat aan de wens van "centralisering" van de machines wordt voldaan (namelijk alles op de boot).

V.4.2 passieve verbindingen

De overweging om met kleinere afknikkrachten te kunnen volstaan heeft geleid tot de ontwikkeling van een alter-

natieve constructie. Hiertoe worden de bakken niet meer om vaste punten afgeknikt, maar wordt het hek van iedere voorliggende bak met sterke trossen ten opzichte van de boeg; van de betreffende bak verschoven, zodat behalve een verdraaiing de bakken ook een verplaatsing ten opzichte van elkaar ondergaan (zie ook fig. 35 boven). Bij het terughalen van de voorliggende bak kan nu een grotere arm gebruikt worden, dan bij de actieve verbinding het geval was waardoor de benodigde krachten kleiner worden.

Het grote nadeel is echter, dat de bakken met passieve knikverbinding een actief boegroer vereisen (zie lit. [21]) terwijl ze bovendien door de oncontroleerbare stromingskrachten van het water en door zijwind niet goed beheersbaar blijven (zie lit. [21]). Een ander nadeel is weer, dat niet voldaan kan worden aan de eis van centralisering van de machines.

V.4.3 Elastisch-passieve verbindingen.

Elastisch-passieve verbindingen zijn de laatste decennia met veel succes beproefd. Niettemin bestaat er twijfel of deze toepassing ook voor rivieren met sterkere stroming geschikt is. Voor dit type verbinding wordt verder verwezen naar de literatuur [24].

V.5 Combinatie van geknikte vaart met passieve koproeren. Dit is een combinatie waar in de toekomst waarschijnlijk nog veel onderzoek naar zal worden gedaan. De gedachte hierbij is om een duwvaartcombinatie volgens het type "van Roon" te gebruiken waarbij het zgn. tussenpontoon wordt uitgerust met een passief koproer.

De verwachtingen van deze combinatie van zowel knikbesturing als kopbesturing zijn hoog gespannen aangezien het mes van twee kanten zal snijden.

V.6 Eindconclusie en aanbevelingen.

De belangrijkste conclusie die op grond van het voorgaande getrokken kan worden is, dat de verschillende resultaten die in de literatuur zijn gepubliceerd elkaar dikwijls tegenspreken. Zo is het telkens onduidelijk of het afknik-

ken van de voorste bak voldoende afname van de drifthoek teweeg brengt om de toegenomen padbreedte op grond van de geometrie te compenseren. Zoiets is kennelijk sterk afhankelijk van de situatie.

Anderzijds veroorzaakt het afknikken van alléén de achterste bak een afname in de padbreedte op grond van de geometrie. Maar is dit voldoende om de toegenomen padbreedte als gevolg van de toegenomen drifthoek te compenseren?

In sommige situaties wel zoals we gezien hebben, doch een algemene uitspraak is niet te doen.

Onduidelijk is ook het effect van het afknikken van zowel de voorste als de achterste bakken.

De schrijver van dit rapport komt dan ook tot de aanbeveling om, daar waar eventuele behoefte zou ontstaan geknikte vaart in te voeren, uitvoerige testen in het prototype te ondernemen. Naar mijn mening is het resultaat dan veel tastbaarder, dan wanneer in het model proeven worden genomen. Vertaling van modelresultaten naar het prototype is to dusverre niet succesvol geweest, aangezien de specifieke omstandigheden in het prototype moeilijk naar het model kunnen worden vertaald!

Hoofdstuk VI - De mogelijkheden voor 2-baksduwvaart in de bocht bij Gorssel.

VI.1 Inleiding.

Op grond van de in hoofdstuk II t/m V besproken theorie kan nu uitwerking worden gegeven aan de in hoofdstuk I besproken doelstelling en randvoorwaarden. Dit komt neer op een onderzoek naar de mogelijkheden van 2-baksduwvaart in de bocht bij Gorssel. Het onderzoek op zich kan dan weer model staan voor eventuele andere knelpunten zoals de bochten bij Olst, Wilsum en Zalk. Deze deelonderzoeken dragen stuk voor stuk bij tot het hoofdonderzoek naar de mogelijkheden van 2-baksduwvaart op de Gelderse IJssel. Bij Gorssel maakt de rivier kort na elkaar een bocht naar links (van km. 934.350 tot km. 943.775) en daarna twee keer naar rechts (van km. 934.800 tot 935.300 en van km. 936.150 tot km. 936.850); zie bijlage 40.

De bochtstraal gemeten in de vaarwegas bedraagt thans achtereenvolgens 500m, 355m en 500m.

Zoals bekend treedt in rivierbochten aan de binnenzijde aanzanding op, waardoor de bevaarbare breedte bij lage rivierafvoeren wordt beperkt. Op bijlage 41 en 42 is weergegeven hoe groot thans de breedte is tussen de lijnen O.L.R.(1972)-2,50m. Ter plaatse van km. 934.750 is dat ca. 42m (weliswaar over zeer korte lengte). Tussen km. 935.100 en km. 935.300 is die breedte ca. 50m. en bij km. 936.450 ca. 60m. Op een niveau van O.L.R.(1972)-2,00 m. is de kleinste breedte in deze drie bochten ca. 75m. De grote vraag is allereerst of een 2-baksduwconvooi, ook bij lage rivierafvoeren met een onderschrijdingskans van 5 % (=O.L.R.), de bocht bij Gorssel kan passeren en zo ja onder welke voorwaarden?(onbedingt, met aanpassing van z'n snelheid en/of aflaad diepte, met gebruik van kop- en/of knikbesturing etc.). Wanneer de mogelijkheden hiervoor ruim aanwezig zouden zijn kan men een stapje verder gaan en zich afvragen of eventueel tweestrooksverkeer met 2-baksduwvaart mogelijk is, en zo ja onder welke voorwaarden. Als bovenstaande mogelijkheden ongewenst zouden zijn

kan men als uiterste oplossing aandragen: het verbeteren van de rivier zelf, zoals een verbreding van de bocht of een eventuele bochtafsnijding. Op al deze mogelijke oplossingen of combinaties hiervan zal in het hiernavolgende wat dieper worden ingegaan.

VI.2 Mogelijke oplossingen ter verbetering van het potentiële knelpunt de bocht bij Gorssel ten behoeve van 2-baksduwvaart.

Om een zo goed mogelijk overzicht te krijgen is op bijlage 43 een boomdiagram getekend, waarin de primair mogelijke oplossingen kort zijn samengevat. Hieronder wordt verstaan de mogelijke oplossingen, die nog geen ingreep in de bestaande situatie inhouden zowel met betrekking tot de rivier als tot de duwformatie (aanbrengen van bepaalde voorzieningen als kop- en/of knikbesturing).

Immers de oplossing van het probleem splitst zich in vier stukken, te weten:

1. 2-baksduwvaart is mogelijk zonder directe ingreep in de bestaande situatie: de primaire oplossing, zie bijlage 43; N.B. men spreekt ook wel eens van het zgn. "nulalternatief".
2. 2-baksduwvaart is mogelijk na bepaalde aanpassingen van de duwformatie (denk aan de montage van kop- en/of knikbesturing).
3. 2-baksduwvaart is mogelijk na bepaalde ingrepen in de rivier (denk aan bochtverbreding of bochtafsnijding).
4. 2-baksduwvaart is mogelijk na toepassing van een combinatie van de punten 2, 3 en 4.

Het boomdiagram op bijlage 43 behoeft wat nadere toelichting:

Onder éénstrooksverkeer wordt hier verstaan, de situatie dat de 2-baksduwvaart als enige gebruik maakt van de bocht en dat het overige verkeer (kleinere schepen) wacht vóór de bocht, totdat de 2-baksformatie is gepasseerd. Deze oplossing is een mogelijkheid, zoals zal blijken uit paragraaf VI.4, echter of dit een reële oplossing zal zijn is maar de vraag, hetgeen in dezelfde paragraaf

nader wordt toegelicht. Een oplossing die meer aanspreekt is het toestaan van tweestrooksverkeer; of dit mogelijk is zonder ingreep in de huidige situatie wordt besproken in paragraaf VI.5. In beide genoemde paragrafen wordt ook ingegaan op een toepassing van kopbesturing en/of knikbesturing ter opheffing van bepaalde problemen.

Als beste oplossing voor de scheepvaart komt naar voren een ingreep in de rivier zelf (duidelijk is vermeld "voor de scheepvaart", aangezien voor natuur en milieu de oplossing niet zo "best" is!). Wanneer tot zo'n dure oplossing zou worden besloten is tweestrooksverkeer in de bocht bij Gorssel goed mogelijk, echter dit vraagstuk dient dan wel in samenhang met de andere knelpunten te worden opgelost!

VI.3 Basisgegevens voor de berekeningen.

De huidige situatie is reeds ten dele geschetst in de inleiding van dit hoofdstuk. Zoals uit het boomdiagram op bijlage 43 valt af te lezen, zijn voor de verschillende oplossingen nog veel meer gegevens nodig, zowel van de rivier als van de duwformatie om een goede analyse te maken van de vraag of 2-baksduwvaart in de huidige situatie mogelijk is. De gegevens, die nodig zijn om een voorspelling te doen over de benodigde padbreedte, drifthoek en virtuele lengtematen zijn hieronder samengevat in tabelvorm:

tabel 7. Gegevens van de rivierbocht, opgedeeld in drie stukken.

	R (m.)	B _R OLR -2,50 (m.)	B _R OLR -2,00 (m.)	h OLR (m.)	v _s OLR (km/h)
km. 934.350 - 934.775	500	42	75	2,6	2,8
km. 934.800 - 935.300	355	50	75	2,6	2,8
km. 936.150 - 936.850	500	60	75	2,6	2,8

Toelichting tabel 7:

- Uit gegevens van beschikbare waterdiepten blijkt, dat sinds 1976 een waterdiepte van 2,6m. of minder gemiddeld ca. 5% wordt onderschreden. Zie bijlage 44.
- De stroomsnelheid tijdens O.L.R. omstandigheden bedraagt

$\pm 2,8$ km/h (zie lit. [1]).

- De overige gegevens zijn gebaseerd op de bijlagen 41 en 42.

tabel 8. Gegevens van de duwformaties.

nr.	T, geladen op OLR		T, onge- laden (m.)	G, afstand x, geladen op OLR	
	-2,50m. (m.)	-2,00m. (m.)		-2,50m. (m.)	-2,00m. (m.)
1	2,0	1,6	0,55	83,95	85,62
2	2,0	1,6	0,55	42,39	43,29

vervolg tabel 8. Gegevens van de duwformaties.

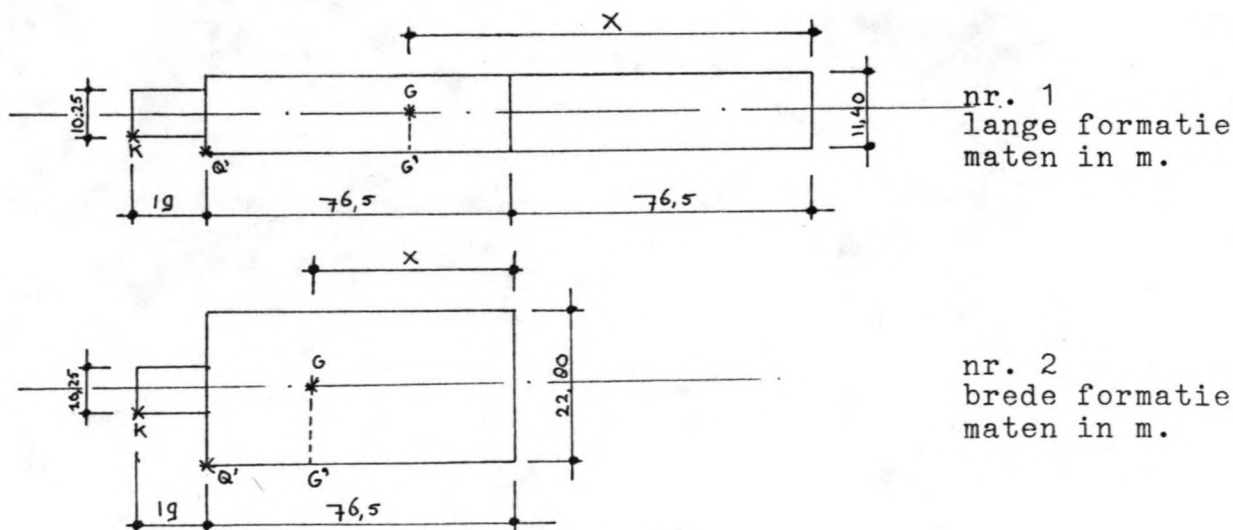
nr.	G, afstand x, ongeladen. (m.)	L _G geladen op OLR		L _G onge- laden. (m.)
		-2,50m. (m.)	-2,00m. (m.)	
1	98,57	69,05	67,38	71,94
2	50,50	34,11	33,21	26,00

vervolg tabel 8. Gegevens van de duwformaties.

nr.	L _{GK} geladen op OLR		L _{GK} onge- laden. (m.)	x _g (m.)	y _g (m.)
	-2,50m. (m.)	-2,00m. (m.)			
1	88,05	86,38	90,94	0,575	19
2	53,11	52,21	45,00	6,275	19

Toelichting tabel 8:

- Onder nr. 1 wordt verstaan de lange 2-baksduwformatie en onder nr. 2 de brede 2-baksduwformatie met bakken van het type Europa II. Hieronder is een schets gegeven van de bedoelde formaties met hun afmetingen.



- De diepgang wordt in verband met de optredende spiegeldaling afgestemd op een keelclearance van 20% van de beschikbare waterdiepte. Dit houdt in, dat als binnen de 2,50m.-dieptelijnen wordt gevaren, de diepgang 2,0m. mag bedragen en als binnen de 2,00m.-dieptelijnen wordt gevaren de diepgang 1,6m. mag bedragen. Deze waarden worden aangehouden. zowel voor de lange als de brede formatie hoewel er natuurlijk wel enig verschil in spiegeldaling is.

Overige gegevens, die nodig zijn voor de berekeningen:

- De koershoeksnelheid wordt voor beide formaties aangenomen een maximum te hebben van $0,45^\circ/\text{s}$ waardoor de absolute vaarsnelheden gebonden zijn aan maxima van:

$$v_{d,\max} = 14,2 \text{ km/h} \quad \text{voor } R = 500\text{m.}$$

$$v_{d,\max} = 10,1 \text{ km/h} \quad \text{voor } R = 355\text{m.}$$

$$\text{immers: } v_{d,\max} = \omega_{\max} \cdot R / 57.$$

Wanneer de benodigde padbreedte niet groter is dan de beschikbare padbreedte wordt uitgegaan van deze maximum snelheden.

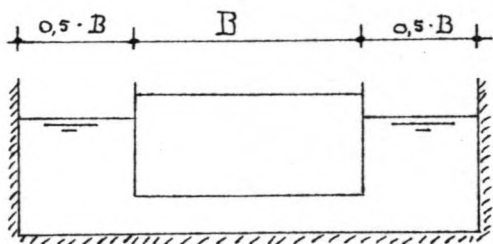
- De n-waarde volgens Breedveld (zie hoofdstuk IV.3) wordt aangenomen te liggen tussen $1,5 < n < 5$. De hier vooral van belang zijnde minimum waarde van n is gebaseerd op proeven met lange 2-baksformaties op de Main (zie lit. [16]) en op eigen ervaring met het varen met 2-baksformaties op de Moezel, de rivier die veel overeenkomsten vertoont met de Gelderse IJssel (zie bijlage t/m).
- De relatieve snelheid ten opzichte van het water dient minstens 0.75 m/s te zijn om druk op het roer te houden en zodoende het schip beheersbaar te houden.
- De diepgang van de duwboot wordt aangenomen te zijn 1,6m.

VI.4 Mogelijkheden van éénstrooksverkeer met 2-baksduwvaart in de bocht bij Gorssel (alternatief 1t/m 12 op bijlage 43).

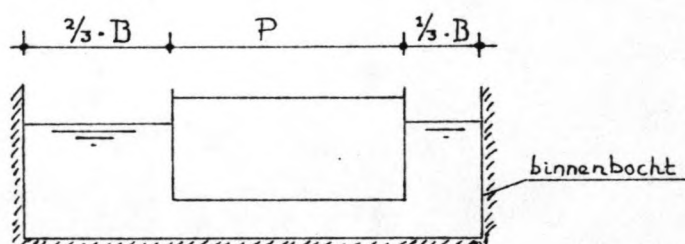
Na de opsomming van de benodigde gegevens voor de bereke-

ning van de padbreedtes en drifthoeken kunnen we wat meer concreet ingaan op de toetsing van de alternatieven 1 t/m 12. Echter voordat we hiertoe overgaan dienen nog een aantal aspecten te worden belicht:

1. De bermstroken. Voor een schip op een rechte rak worden in het algemeen de volgende maten aangehouden voor de bermstroken:



Voor een schip in een rivierbocht gelden de volgende maten:



Deze maten zijn gebaseerd op prototyperesultaten uitgevoerd door Schüle (zie lit. [15]), waarbij in de buitenbocht een twee maal zo grote waarde voor de bermstrook wordt aangehouden als in de binnenbocht aangezien een duwstel onder invloed van de spiraalstroom en centrifugaalkracht de neiging heeft naar de buitenbocht af te wijken.

2. In tabel 7 zijn aangegeven de breedte van de rivier tussen de dieptelijnen O.L.R.-2,50m. en O.L.R.-2,00m.: namelijk $B_{r, OLR-2,50m}$ en $B_{r, OLR-2,00m}$.

Voor de berekening van de minimaal optredende waarde van n , $n_{min.}$, dienen ook de $B_{r, min.}$ -waarden uit formule (100) bekend te zijn; deze waarden zijn als volgt:

tabel 9: $B_{R,min}$ -waarden (zie bijlage 41 en 42)

bochtdeel	$B_{R,min.OLR}$ -2,50m. (m.)	$B_{R,min.OLR}$ -2,00m. (m.)
1: km. 934.350 - 934.775	50	100
2: km. 934.800 - 935.300	75	75
3: km. 936.150 - 936.850	75	90

Als we met de ongeladen vaart te maken hebben zullen in de berekeningen dezelfde waarden aangehouden worden als voor $B_{R,min}$ -2,00m., aangezien voor de berekening van de n_{min} -waarden dan aan de veilige kant zitten!

3. De padbreedtes worden als volgt berekend:

$$- P = 0.03 \cdot v_a \cdot \frac{L^2}{R} + B \quad \text{voor geladen en ongeladen opvaart.}$$

$$- P = \alpha \cdot \frac{L^2}{R} + B \quad \text{voor ongeladen afvaart.}$$

De waarden van α voor de ongeladen afvaart kunnen bepaald worden met behulp van tabel 10, afkomstig uit lit. [25].

tabel 10.

α - waarden ($v_r = 14 \text{ km/h}$)			
$\frac{L}{B}$	Opvaart (geladen en leeg)	stroomloos kanaal	afvaart geladen - leeg
	$v_s = - 6 \text{ km/h}$	$v_s = 0$	$v_s = + 6 \text{ km/h.}$
16	$\pm 0,25$	$\pm 0,40$	$\pm 0,55 - 0,65$
8	$\pm 0,30$	$\pm 0,45$	$\pm 0,60 - 0,70$
5,5	$\pm 0,35$	$\pm 0,50$	$\pm 0,65 - 0,75$

De resultaten van de berekeningen zijn nu samengevat in tabel 11 op de volgende bladzijde. Hierbij is elk alternatief getoetst voor de afzonderlijke bocht delen. Naast de benodigde padbreedtes staan vermeld de drifthoeken en minimale n-waarden volgens de vaarmethode van D. Breedveld. Voor de uitgevoerde berekeningen wordt verwezen naar de bijlagen 45 t/m 52.

Voor éénstrooksverkeer met 2-baksduwvaart zijn nu de volgende conclusies gerechtvaardigd:

1. 2-Baksduwvaart zowel in de lange als in de brede formatie is ten allen tijde mogelijk, wanneer er beperkt

tabel 11		alternatiefnummer.	padbreedte+bermstrook (m.)+(m.)	max. breedte tussen de dieptelijken (m.)	$v_{e,max}$ (km/h)	β (°)	n-waarde (-)
1.1	T=2,0m., opvaart, lang	30,6 + 11,4	42	10,8	6,3	1,7	
2	"	36,7 + 11,4	50	10,1	8,2	1,7	
3	"	36,3 + 11,4	60	14,2	8,6	2,1	
2.1	T=2,0m., opvaart, breed	> 42	42	-	-	-	
2	"	27,2 + 22,8	50	5,7	3,7	2,7	
3	"	30,6 + 22,8	60	14,2	6,3	3,5	
3.1	T=2,0m., afvaart, lang	30,6 + 11,4	42	10,8	6,3	1,7	
2	"	36,7 + 11,4	50	10,1	8,2	1,7	
3	"	36,6 + 11,4	60	14,2	8,6	2,1	
4.1	T=2,0m., afvaart, breed	> 42	42	-	-	-	
2	"	27,2 + 22,8	50	5,7	3,7	2,7	
3	"	30,6 + 22,8	60	14,2	6,3	3,5	
5.1	T=1,6m., opvaart, lang	36,6 + 11,4	75	14,2	8,8	2,3	
2	"	36,7 + 11,4	75	10,1	8,5	1,7	
3	"	36,6 + 11,4	75	14,2	8,8	2,2	
6.1	T=1,6m., opvaart, breed	30,6 + 22,8	75	14,2	6,4	3,9	
2	"	30,6 + 22,8	75	10,1	6,8	2,9	
3	"	30,6 + 22,8	75	14,2	6,4	3,8	
7.1	T=1,6m., afvaart, lang	36,6 + 11,4	75	14,2	8,8	2,3	
2	"	36,7 + 11,4	75	10,1	8,5	1,7	
3	"	36,6 + 11,4	75	14,2	8,8	2,2	
8.1	T=1,6m., afvaart, breed	30,6 + 22,8	75	14,2	6,4	3,9	
2	"	30,6 + 22,8	75	10,1	6,8	2,9	
3	"	30,6 + 22,8	75	14,2	6,4	3,8	
9.1	T=0,55m, opvaart, lang	36,6 + 11,4	75	14,2	8,3	2,3	
2	"	36,7 + 11,4	75	10,1	7,7	1,6	
3	"	36,6 + 11,4	75	14,2	8,3	2,2	
10.1	T=0,55m, opvaart, breed	30,6 + 22,8	75	14,2	7,2	4,0	
2	"	30,6 + 22,8	75	10,1	7,9	3,0	
3	"	30,6 + 22,8	75	14,2	7,2	3,9	
11.1	T=0,55m, afvaart, lang	< 50,5 + 11,4	75	14,2	-	-	
2	"	> 75	75	-	-	-	
3	"	< 50,5 + 11,4	75	14,2	-	-	
12.1	T=0,55m, afvaart, breed	< 37,0 + 22,8	75	14,2	-	-	
2	"	< 42,8 + 22,8	75	14,2	-	-	
3	"	< 37,0 + 22,8	75	14,2	-	-	

wordt afgeladen ($T = 1,6\text{m.}$) tijdens lage rivierafvoeren. Wanneer echter wat zwaarder wordt afgeladen tijdens dezelfde lage rivierafvoeren ($T = 2,00\text{m.}$) dienen eisen gesteld te worden aan de maximum vaarsnelheid ten opzichte van de oevers: $v_{a,max} < \pm 10 \text{ km/h}$ voor de lange formatie. Varen in de brede formatie is dan niet mogelijk.

2. Voor de ongeladen vaart geniet in opvaart de lange formatie de voorkeur en in afvaart de brede formatie.

Ten aanzien van bovenstaande berekeningen en conclusies kunnen nog een aantal kanttekeningen gemaakt worden:

- De in de berekening aangenomen bochtstraal, gemeten in de as van de vaarweg, is niet de werkelijke bochtstraal die door het schip gevaren wordt. Meestal bestaat bij éénstrooksverkeer de mogelijkheid de bocht af te snijden waardoor de ingenomen padbreedtes zullen afnemen.
- In de huidige situatie is ca. 90% van de afvaart geladen en ca. 90% van de opvaart ongeladen, zodat daardoor een aantal situaties die in tabel 9 voor onmogelijk worden gehouden eigenlijk niet ter zake zijn.

Eigenlijk is dus alleen alternatief 4 onmogelijk: de brede formatie in afvaart in geladen toestand ($T = 2,50 \text{ m.}$)!

Als slotconclusie ten aanzien van éénstrooksverkeer komt de schrijver dan ook tot de volgende aanbeveling:

Eénstrooksverkeer met 2-baksduwvaart in de huidige situatie in de bocht bij Gorssel behoort tot de mogelijkheden wanneer in de lange formatie wordt gevaren en wanneer bij lage rivierafvoeren beperkingen ten aanzien van de af-laaddiepte worden gesteld: $T < 2,00\text{m.}$ of wanneer met een aangepaste snelheid wordt gevaren: $v_a < 10\text{km/h.}$

VI.5 Mogelijkheden van tweestrooksverkeer met 2-baksduwvaart in de bocht bij Gorssel.

In de huidige situatie is het zo (zie ook lit.[26]), dat van alle afvarende schepen ca. 90% geladen is. Deze geladen schepen in de afvaart varen over het algemeen in de buitenbocht, waartoe ze min of meer gedwongen worden, doordat hier de waterdiepte het grootst is, hetgeen bovendien gunstig is voor de vaarsnelheid en manoeuvreerbaarheid van die schepen. Op radarbeeldopnames van de dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat, genomen in een periode waarin de afvoer ca. 280 m³/s bedroeg, blijkt dat de afvaart stuurboordswal vaart tot ca. km. 934.750 en dan oversteekt van de rechter naar de linkeroever. De schepen houden daarna bakboordswal tot ca. km. 936.900, waarna ze weer oversteken naar de rechteroever.

Van de opvarende schepen is ca. 90% ongeladen. Deze schepen varen over het algemeen in de binnenbocht om ruimte vrij te houden voor de afvaart. Het oversteken van de linker- naar de rechteroever en weer terug gebeurt logischerwijs op ongeveer dezelfde plaatsen als voor de afvaart.

Op grond van bovenstaande gaan we er voor de analyse van tweestrooksverkeer met 2-baksduwvaart vanuit dat alle opvarende schepen geladen, en alle afvarende schepen ongeladen zijn.

Ook nu zijn weer een aantal uitgangspunten nodig die de basis vormen voor de berekeningen. Deze uitgangspunten zullen in de eerst volgende twee paragrafen worden toegelicht: VI.5.1 en VI.5.2. Tweestrooksverkeer valt uiteen in situaties waarin ontmoetingen en oploopmanoeuvres plaatsvinden, zodat in paragraaf VI.5.3 de ontmoetingen onder de loep worden genomen en in paragraaf VI.5.4 de oploopmanoeuvres, waarna in paragraaf VI.5.5 de conclusies ten aanzien van het tweestrooksverkeer worden getrokken.

VI.5.1 Bermstroken en veiligheidsstroken.

In de rechtstand worden voor tweestrooksverkeer in het algemeen de volgende berm- en veiligheidsstroken in het kielvlak aangehouden (zie fig. 42):

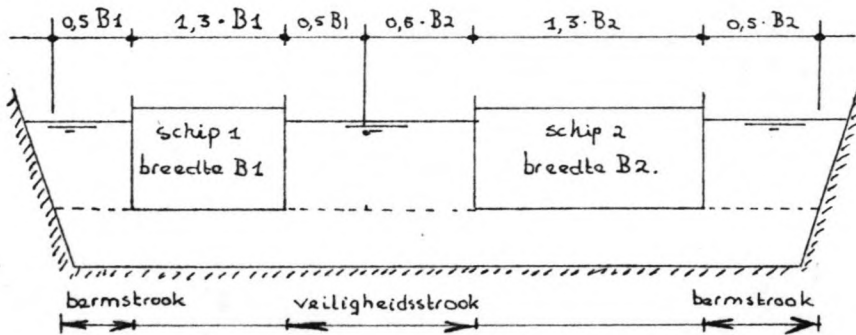


fig. 42

In rivierbochten zullen voor tweestrookssituaties in het algemeen de volgende maten worden aangehouden (zie fig. 43):

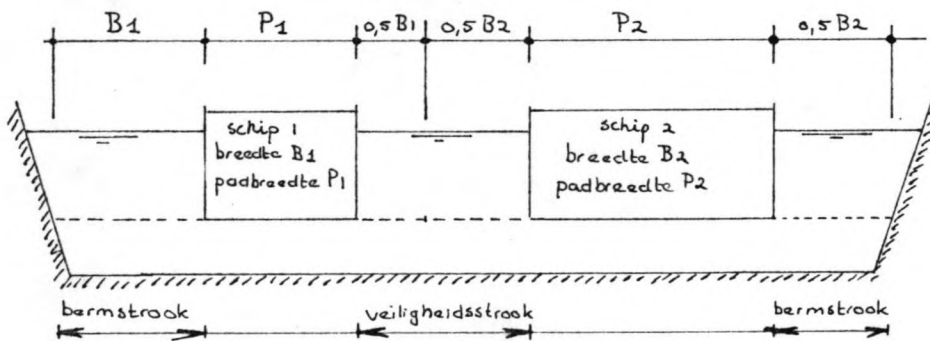


fig. 43

Deze maten zijn weer gebaseerd op prototypemetingen, uitgevoerd door Schäle (zie lit. [15]). Hierbij wordt een bermstrook aangehouden van ongeveer B in de buitenbocht en $0,5 B$ in de binnenbocht; de veiligheidsstrook is gesteld op B .

De veiligheidsstroken zijn vooral bedoeld als extra veiligheid bij ophoopmanoeuvres, waarbij door de versterkte spiegeldaling, de schepen als het ware naar elkaar toe worden gedrukt. De bermstroken vormen een extra veiligheid bij ontmoetingen, waarbij de schepen juist van elkaar af worden gedrukt.

VI.5.2 Ingenomen padbreedtes en totaal ruimtebeslag van schepen die de bocht bij Gorssel passeren.

In tabel 12 is samen gevat welke typen schepen in de hui-

tabel 12.

scheepstype	afmeting (mxm).	T- (gel.) (m.)	T- (ongel.) (m.)	Padbreedte(m.) - Drifthoek(°)			
				R=355m.		R=500m.	
				afvaart (gel.)	opvaart (ongel.)	afvaart (gel.)	opvaart (ongel.)
spits	39x 5,1	2,2	0,60	9,0-5,4	8,0-4,2	7,9-3,8	7,2-3,0
kempenaar	50x 6,6	2,5	0,60	13,0-6,9	12,0-6,0	11,2-4,9	10,4-4,3
D-E-schip	67x 8,2	2,5	0,65	17,0-7,4	16,0-6,7	14,5-5,3	13,8-4,8
R-H-schip	80x 9,5	2,5	0,65	25,0-10,6	20,0-7,6	20,6-7,5	17,0-5,4
Rijnschip	110x12,0	2,7	1,10	33,0-11,1	27,0-8,0	27,1-7,9	22,8-5,7

dige situatie de bocht passeren, welke afmetingen ze hebben en welke padbreedtes ze in de verschillende situaties innemen. De in deze tabel gegeven padbreedtes van de verschillende schepen in opvaart en afvaart bij een bochtstraal van 355m. zijn afkomstig uit lit.[26] en zijn gemeten bij een afvoer van 280m³/s. Voor de omstandigheden tijdens O.L.R.(1972) met een afvoer van 170 m³/s zal de stroomsnelheid en daarmee de drifthoek en padbreedte voor zowel de afvarende als de opvarende schepen mogelijk iets geringer zijn. Voor de verdere analyse worden deze (veilige) waarden aangehouden.

Voor de bochtstraal van 500m. zijn de padbreedtes herleid uit die bij de bochtstraal van 355m. Dit is gedaan door de padbreedtes bij R = 355m. om te rekenen naar drifthoeken. Volgens formule (29) is de drifthoek omgekeerd evenredig met de bochtstraal zodat de drifthoeken bij R = 500 m. kunnen worden berekend uit die bij R = 355m., door ze met de factor 355/500 te vermenigvuldigen. Deze drifthoeken kunnen daarna weer omgerekend worden tot ingenomen padbreedtes.

In paragraaf VI.4 hebben we de padbreedtes berekend voor 2-baksduwvaart, zodat we nu samen met de in tabel 12 vermelde padbreedtes voor de overige scheepvaart over kunnen gaan tot de analyse van tweestrooksverkeer met 2-baksduwvaart. Tweestrooksverkeer valt uiteen in situaties waarin ontmoetingen en oplooptmanoeuvres plaatsvinden:

VI.5.3 Ontmoetingen

Doordat opvarende schepen (geladen) in de relatief diepe buitenbocht varen en afvarende schepen (ongeladen) in de relatief ondiepe binnenbocht worden ontmoetingsmanoeuvres steeds stuurboord-stuurboord uitgevoerd. Op grond van dit gegeven, de in paragraaf VI.5.1 aangegeven berm- en veiligheidsstroken en de in tabel 12 genoemde padbreedtes kunnen we nu een berekening maken van het totale ruimtebeslag voor een ontmoetingsmanoeuvre in de verschillende gedeeltes van de bocht bij Gorssel. Het resultaat is weergegeven in tabel 13 voor de bochtdelen 1 en 3 met $R = 500$ m. en in tabel 14 voor het bochtdeel met $R = 355$ m. Deze tabellen behoeven wat nadere toelichting:

- Uitgegaan is van een totaal bevaarbare breedte van 75m. voor alle drie de bochtdelen. Deze breedte is gemeten tussen de 2,00m.-dieptelijnen bij O.L.R.(1972) (zie ook bijlage 41 en 42). Wat dit zou betekenen voor eventuele onnauwkeurigheden in de berekeningen wordt aan het eind van deze paragraaf vermeld.
- Wanneer een totaal ruimtebeslag van 75m. zou worden overschreden is gebruik gemaakt van de mogelijkheid voor 2-baksduwstel om met aangepaste snelheid te varen, zodanig dat het totale ruimtebeslag 75m. bedraagt. Deze maximale snelheid is dan ook in de tabellen vermeld onder de waarde van het totale ruimtebeslag van 75m. en is voor alle duidelijkheid onderstreept. Wanneer echter de maximum snelheid zodanig moet worden gereduceerd, dat deze een relatieve vaarsnelheid van 2,7 km/h (dit is de snelheid waarbij de duwstellen nog net beheersbaar worden geacht) onderschreidt, dan moet een ontmoeting met zo'n schip als onveilig worden beschouwd, hetgeen in de tabellen met een kruis is weergegeven.

N.B. Voor al die gevallen waar dus geen maximale snelheid staat vermeld is uitgegaan van de maximale snelheid die bepaald wordt door de maximum koershoeknelheid van de duwstellen. De snelheden van de kleinere schepen zijn niet vermeld.

tabel 13: bocht 1 en 3 (R=500m.), ruimtebeslag bij een ontmoeting (m.), $v_{a,max}$ (km/h)

afvaart opvaart	Spits	Kempe- naar	D-E- schip	R-H- schip	Rijn- schip	2-baks- lang	2-baks- breed
Spits	27,85	32,55	37,55	42,05	50,35	63,55	68,95
Kempenaar	33,40	38,10	43,10	47,60	55,90	69,10	74,50
D-E-schip	39,10	43,80	48,80	53,50	61,60	74,80	75,00 <u>4,8</u>
R-H-schip	47,15	51,85	56,85	61,35	69,65	75,00 <u>9,8</u>	
Rijnschip	57,40	62,10	67,10	71,60	79,90*	75,00 <u>4,0</u>	
2-baks-lang	66,00	70,70	75,00 <u>13,8</u>	75,00 <u>11,3</u>	75,00 <u>6,6</u>	75,00 <u>6,7</u>	
2-baks-breed	75,00 <u>10,4</u>						

tabel 14: bocht 2 (R=355m.), ruimtebeslag bij een ontmoeting (m.), $v_{a,max}$ (km/h)

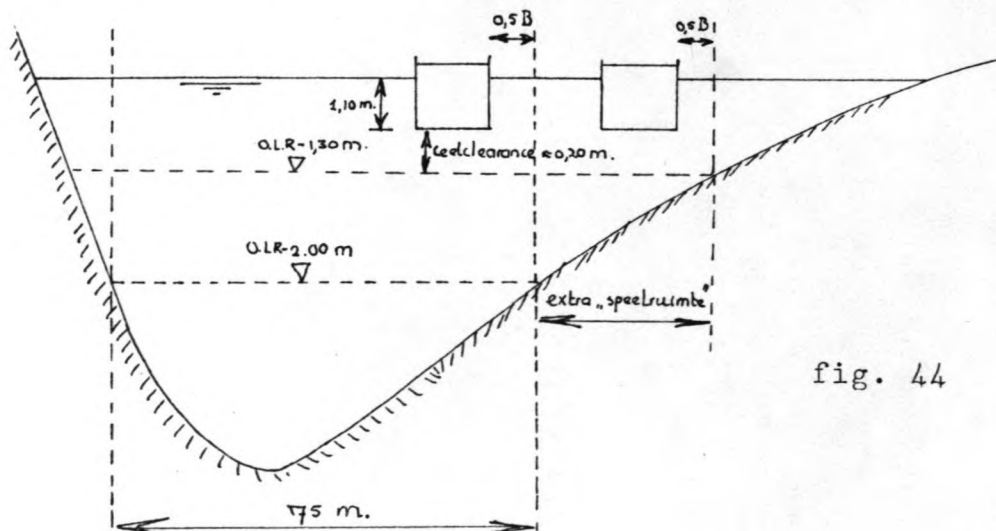
afvaart opvaart	Spits	Kempe- naar	D-E- schip	R-H- schip	Rijn- schip	2-baks- lang	2-baks- breed
Spits	29,75	35,25	40,85	46,15	55,65	64,60	70,05
Kempenaar	36,00	41,50	47,10	52,40	61,90	70,90	75,00 <u>8,4</u>
D-E-schip	42,40	47,90	53,50	58,80	68,30	75,00 <u>9,2</u>	75,00 <u>0,1</u>
R-H-schip	52,35	57,85	63,45	68,75	78,25	75,00 <u>5,2</u>	
Rijnschip	64,10	69,60	75,20*	80,05*	90,00	75,00 <u>0,5</u>	
2-baks-lang	66,80	72,30	75,00 <u>8,9</u>	75,00 <u>6,8</u>			
2-baks-breed	75,00 <u>6,4</u>						

- Voor het berekenen van het totaal ruimtebeslag van niet 2-baksduwstellen is alleen uitgegaan van de padbreedtes zoals die gemeten zijn door Rijkswaterstaat, zodat hier niet de mogelijkheid van aangepast bochtvaren kan worden beschouwd, als het totaal ruimtebeslag boven de 75m. dreigt te komen. Zo wordt bv. een ontmoeting tussen twee grote Rijnschepen in de bocht van 500m. wel degelijk voor mogelijk gehouden hoewel het totale ruimtebeslag meer dan 75m. bedraagt (zie tabel 13: 79,90m.), omdat een ontmoeting tussen een Rijnschip en een 2-baksformatie (lang) wèl kan plaatsvinden onder de voorwaarde, dat snelheid wordt teruggenomen door de 2-baksformatie. Gevallen zoals deze zijn in de tabellen dan ook met een asterix aangegeven.

Voor de in de tabellen 13 en 14 weergegeven resultaten wordt verder verwezen naar de bijlagen 53 t/m 57, waar deze resultaten nader worden gespecificeerd.

In deze berekeningen zijn wel een aantal extra veiligheden ingebouwd:

1. Voor de ongeladen schepen, die in de relatief ondiepe binnenbocht varen is de 2,00m.-dieptelijn als uiterste begrenzing aangehouden. Aangezien alle schepen niet dieper steken dan 1,10m. (zie tabel 12) in ongeladen toestand en de bermstrook in het kielvlak dient te worden aangehouden ontstaat op die manier wat extra speelruimte in de binnenbocht (zie fig. 44):



Van deze extra speelruimte kan een schatting worden gemaakt: Volgens lit. [27] is de helling van de rivierbodem in dwarsrichting te beschrijven met de formule

$$i_D = \frac{c_R}{R} \quad (103)$$

waarbij de constante $c_R = 19,6$ voor de Gelderse IJssel. Voor de verschillende bochtgedeeltes geldt dus (zie ook fig. 44):

$$R = 500\text{m.}: i_D = 0,0392; \text{ extra speelruimte} = \frac{2-1,3}{0,0392} = 17,9\text{m.}$$

$$R = 355\text{m.}: i_D = 0,0552; \text{ extra speelruimte} = \frac{2-1,3}{0,0552} = 12,7\text{m.}$$

2. De berm- en veiligheidsstroken die worden aangehouden (zie fig. 43) zijn aan de ruime kant: Voor een ontmoeting waarbij de schepen dus uit elkaar worden gedrukt zou een veiligheidsstrook tussen beide schepen wat minder kunnen zijn. Het omgekeerde is het geval voor een oploopmanoeuvre, waarbij de bermstroken wat minder kunnen zijn.
3. De berekeningen zijn gebaseerd op de beschikbare ruimte bij zeer lage rivierafvoeren tijdens O.L.R.-omstandigheden (5% onderschrijdingskans). Bij bv. een waterstand van O.L.R.+0,50m. is de beschikbare diepte weer 0,5m. groter, zodat ook de ingebouwde onveiligheid 1 (zie hieronder) grootdeels teniet wordt gedaan, vooral als men bedenkt, dat een waterstand van O.L.R.+0,50m. de laatste jaren maar een zeer beperkt aantal dagen per jaar werd onderschreden (zie bijlage 58).

Als onveiligheden in de berekening kunnen worden aanmerkt:

1. Voor schepen in de buitenbocht (geladen) is ook de 2,00m.-dieptelijn aangehouden als uiterste begrenzing, hetgeen voor geladen schepen die vaak dieper steken dan 2m. natuurlijk niet juist is. De fout die hierdoor gemaakt is zal echter gering zijn, aangezien de helling van de oevers in de buitenbocht vrij steil is (1:3, wat véél steiler is als de helling van de binnenbocht), zodat de extra benodigde breedte die hierdoor zou ontstaan in ieder geval kleiner is, dan de

extra speelruimte, verkregen in de binnenbocht! Ook van deze extra benodigde breedte kan een indruk worden verkregen: Uit bijlage 41 en 42 blijkt, dat tussen de 2,00m.- en de 2,50m.-dieptelijnen een verschil van ca. 5m. bestaat.

2. De toepassing van de "theorie" van Schüle, zoals in de vorige hoofdstukken is afgeleid op grond van door hem opgestelde grafieken herbergt een aantal onzekerheden in zich. Deze grafieken waren namelijk gebaseerd op "gemiddelden" van een groot aantal prototypeproeven, zodat extreme omstandigheden zoals hevige wind, bochtstralen < 600m. enz. waarschijnlijk niet geheel in overeenstemming met deze zgn. "gemiddelden" zijn.

VI.5.4 Oploopmanoeuvres.

In de huidige situatie is het zo, dat oploopmanoeuvres in de bocht slechts zelden voorkomen. Deze manoeuvres duren namelijk naar verhouding zo lang, dat een groot vaarwegvak vrij van tegemoetkomende schepen zou moeten zijn, wil het oplopen veilig kunnen worden uitgevoerd. De duur van zo'n manoeuvre kan iets worden verkort wanneer de opgelopen vaart mindert. Alhoewel in een toekomstige situatie, waarin de 2-baksduwvaart z'n intrede zou doen, hoogstwaarschijnlijk niet méér oploopmanoeuvres zullen plaatsvinden wordt in deze studie toch aandacht besteed aan het ruimtebeslag dat twee elkaar oplopende schepen in zullen nemen, aangezien het een vlotte verkeersafwikkeling kan bevorderen.

De resultaten zijn weer vermeld in tabelvorm: tabel 15 t/m 18. Er wordt hier vanuit gegaan, dat het oplopende schip het op te lopen schip aan stuurboord passeert, dus als het ware "buitenom" gaat.

Ter toelichting van deze tabellen het volgende:

- Uitgegaan is weer van een totaal bevaarbare breedte van 75m. voor alle drie de bochtstukken, gemeten tussen de 2,00m.-dieptelijnen bij O.L.R.(1972).
- Wanneer het totale ruimtebeslag tijdens een oploopmanoeuvre de 75m. weer te boven gaat wordt voor een 2-

tabel 15: bocht 1 en 3 (R=500m.), ruimtebeslag bij een oploopmanoeuvre (m.), $v_{a,max}$ (km/h) afvaart.

oplopende gelopen schepen oplopende schepen	Spits	Kempe- naar	D-E- schip	R-H- schip	Rijn- schip	2-baks- lang	2-baks- breed
Spits	28,55	33,35	38,25	45,65	54,65	63,55	68,95
Kempenaar	34,10	38,90	43,80	51,20	60,20	69,10	74,50
D-E-schip	39,10	43,80	49,50	56,90	65,90	74,80	
R-H-schip	47,15	51,85	57,55	64,95	73,95		
Rijnschip	57,40	62,10	67,80	75,20*	84,20		
2-baks-lang	66,70	71,50	75,00 13,4	75,00 9,2			
2-baks-breed	75,00 9,1						

tabel 16: bocht 1 en 3 (R=500m.), ruimtebeslag bij een oploopmanoeuvre (m.), $v_{a,max}$ (km/h) opvaart.

oplopende gelopen schepen oplopende schepen	Spits	Kempe- naar	D-E- schip	R-H- schip	Rijn- schip	2-baks- lang	2-baks- breed
Spits	27,15	32,60	38,40	43,55	53,10	66,00	
Kempenaar	31,85	37,30	43,10	48,25	57,80	70,70	
D-E-schip	36,85	42,30	48,10	53,25	62,80		
R-H-schip	41,35	46,80	52,60	57,75	67,30		
Rijnschip	49,65	55,10	60,90	66,05	75,60*		
2-baks-lang	62,85	68,30	74,11	75,00 11,8	75,00 6,4		
2-baks-breed	68,22	73,67	75,00 6,0				

tabel 17: bocht 2 (R=355m.), ruimtebeslag bij een oploopmanoevre (m.), $v_{a,max}$ (km/h) afvaart.

opgelopen schepen oplopende schepen	Spits	Kempe- naar	D-E- schip	R-H- schip	Rijn- schip	2-baks- lang	2-baks- breed
Spits	30,75	36,25	41,85	51,15	61,65	64,68	70,03
Kempenaar	37,00	42,50	48,10	57,40	67,90	70,93	
D-E-schip	43,40	48,90	54,50	63,80	74,30		
R-H-schip	53,35	58,85	64,45	73,75	84,25		
Rijnschip	65,10	70,60	76,20*	85,50	96,00		
2-baks-lang	67,83	73,33	75,00 8,5				
2-baks-breed							

tabel 18: bocht 2 (R=355m.), ruimtebeslag bij een oploopmanoevre (m.), $v_{a,max}$ (km/h) opvaart.

oplopende schepen opgelopen schepen	Spits	Kempe- naar	D-E- schip	R-H- schip	Rijn- schip	2-baks- lang	2-baks- breed
Spits	28,75	35,00	41,40	47,35	58,10	66,90	
Kempenaar	34,25	40,50	46,90	52,85	63,60	72,40	
D-E-schip	39,85	46,10	52,50	58,45	69,20		
R-H-schip	45,15	51,40	57,80	63,75	74,50		
Rijnschip	54,65	60,90	67,30	73,25	84,00*		
2-baks-lang	63,75	70,00	75,00 9,6	75,00 7,2	75,00 2,9		
2-baks-breed	69,03	75,00 9,7	75,00 3,0				

baksduwstel weer gebruik gemaakt van de mogelijkheid z'n snelheid zodanig aan te passen, dat het totaal beschikbare ruimtebeslag van 75m. niet wordt overschreden, echter alléén in die gevallen waarin de 2-baksformatie zelf wordt opgelopen. De gevallen waarin de 2-baksformatie als oploper zèlf vaart zou moeten minderen worden irreëel geacht en zijn zodoende in de tabellen ook met een kruis aangeduid.

- Voor het berekenen van het totaal ruimtebeslag van niet 2-baksduwstellen is alléén weer uitgegaan van de padbreedtes zoals die gemeten zijn door Rijkswaterstaat, zodat ook hier weer niet de mogelijkheid van aangepast bochtvaren voor de kleinere schepen kan worden beschouwd als het totaal ruimtebeslag boven de 75m. dreigt te komen.

Met een asterix zijn weer aangeduid die gevallen waarin de totaal beschikbare breedte kleiner is dan het ruimtebeslag maar mag worden aangenomen dat met aangepast bochtvaren het ruimtebeslag de noodzakelijke reductie kan ondergaan.

Voor een nadere specificatie van de berekeningen wordt weer verwezen naar de bijlagen 53 t/m 57. De ingebouwde veiligheden in de berekeningen zijn hieronder nader toegelicht:

1. Voor ongeladen schepen die elkaar oplopen zijn weer als uiterste begrenzingslijnen de 2,00m.-dieptelijnen aangehouden. De ongeladen schepen steken echter niet dieper dan 1,10m. waardoor weer wat extra speelruimte ontstaat (zie ook onder punt 1: veiligheden bij ontmoetingen).
2. Oploopmanoeuvres door geladen schepen die eerst in de buitenbocht varen en dan via de binnenbocht inhalen, zullen als gevolg van een verminderde waterdiepte en daardoor grotere T/h-verhouding een verkleining van hun drifthoek ondergaan (zie formule (29)).
3. Een oploopmanoeuvre vindt meestal plaats, doordat het opgelopen schip vaart mindert om een vlotte verkeers-

afwikkeling mogelijk te maken. Hierdoor zal ook een reductie van de padbreedte ontstaan.

Als onveiligheden in de berekeningen kunnen worden aange-merkt:

1. Ook voor geladen schepen die elkaar oplopen is weer als uiterste begrenzing de 2,00m.-dieptelijnen aangehouden, waardoor het nadelige effect genoemd onder punt 1: onveiligheden bij ontmoetingen, optreedt. Ook als een geladen schip via de binnenbocht inhaalt kan zij in de problemen komen voor wat betreft haar diepgang die groter is dan 2,00m. Als geruststelling is hier weer tegen aan te voeren, dat we uit zijn gegaan van tamelijk extreme omstandigheden en dat bij een waterstand van O.L.R.+0,50m. deze nadelen al grotendeels worden opgelost.
2. Onveiligheden ten aanzien van de toegepaste "theorie".

VI.5.5 Algemene conclusies ten aanzien van tweestrooksverkeer in de bocht bij Gorssel met 2-baksduwvaart.

Voor wat betreft ontmoetingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Op grond van het te grote ruimtebeslag is 2-baksduwvaart in de brede formatie volstrekt onmogelijk!
2. In de bochtdelen met straal $R = 500m.$ is een ontmoeting voor alle scheepstypen mogelijk. Dit onder de voorwaarde, dat de grotere schepen hun snelheid beperken.
3. In het bochtstuk met straal $R = 355m.$ zijn de volgende ontmoetingen onmogelijk:
 - tussen twee Rijschepen
 - tussen een lange 2-baksformatie in afvaart (geladen) en een Rijschip in opvaart (ongeladen)
 - tussen twee lange 2-baksformaties.

Ten aanzien van oplooptmanoeuvres kan men concluderen:

1. Op grond van het te grote ruimtebeslag is 2-baksduwvaart in de brede formatie volstrekt onmogelijk!
2. In de bochtdelen met straal $R = 500m.$ zijn de volgende

oploopmanoeuvres onmogelijk:

a. In afvaart (geladen):

- Een Rijnschip, dat een ander Rijnschip oploopt.
- Een Rijnschip, dat een lange 2-baksformatie oploopt en andersom.
- Een lange 2-baksformatie, die een R-H-schip oploopt.
- Een lange 2-baksformatie, die een andere lange 2-baksformatie oploopt.

b. In opvaart (ongeladen):

- Een lange 2-baksformatie, die òf een D-E-schip òf een R-H-schip òf een Rijnschip òf een andere lange 2-baksformatie oploopt.

3. In de bochten met straal $R = 355$ m. zijn de volgende oploopmanoeuvres onmogelijk:

a. In afvaart (geladen):

- Een Rijnschip, dat een R-H-schip oploopt en andersom.
- Een lange 2-baksformatie, die een R-H-schip oploopt en andersom.
- Een lange 2-baksformatie, die een D-E-schip oploopt.
- verder idem als onder 2a.

b. In opvaart

- idem als onder 2b.

Wanneer men bedenkt, dat in de huidige situatie het vaak niet kunnen plegen van een oploopmanoeuvre een vlotte verkeersafwikkeling niet negatief beïnvloedt en men aanneemt dat dit in de toekomst ook niet zal gebeuren, dan zullen alleen in het bochtstuk met straal $R = 355$ m. wat problemen kunnen ontstaan bij de eventuele ontmoeting van de grotere schepen. Wanneer nu door de schippers geconstateerd wordt-visueel of met behulp van radar en/of marifoon - dat zich in dit bochtgedeelte een ontmoeting zou kunnen voordoen waarvoor te weinig ruimte beschikbaar is, dan dient de opvaart vaart te minderen of te stoppen om de afvaart te laten passeren in het vrij rechte vaarwegvak beneden km. 936.900 (Dit gebeurt in de huidige situatie ook al bij een ontmoeting van twee grote Rijnschepen (zie lit.[26])).

Kortom:

De invoering van 2-baksduwstellen in de lange formatie
--

hoeft niet tot extra problemen in het tweestrooksverkeer te leiden, zodat de schrijver van dit rapport tot een aanbeveling hiervan komt (natuurlijk binnen de gestelde randvoorwaarden en uitgangspunten).

N.B.: Bij alle berekeningen is uitgegaan van de toepassing van de zgn. E-II-bakken met de daarbij behorende afmetingen ($LxB = 76,5 \times 11,4$ mxm). Er wordt ook nog wel gebruik gemaakt van de zgn. E-I-bakken met afmetingen: $LxB = 70 \times 9,5$ mxm, zodat toepassing van dit type bakken wellicht minder beslag zal leggen op de beschikbare breedte in de bocht bij Gorssel!

VI.5.6 Opheffing van problemen bij tweestrooksverkeer door aanbrenging van bepaalde voorzieningen op de boten.

Zoals uit de conclusies van de vorige paragraaf blijkt, kunnen bepaalde typen schepen elkaar in het bochtstuk met straal $R=355$ m. niet ontmoeten tijdens lage rivierafvoeren. Een oplossing van dit probleem zou men kunnen zoeken in het aanbrengen van bepaalde typen hulpmiddelen op de duwformaties zelf, waarbij te denken valt aan de genoemde voorzieningen in hoofdstuk V. Het is echter moeilijk te voorspellen, wat bepaalde voorzieningen in de hier beschouwde situatie aan padbreedtereductie teweeg zullen brengen. Wel is het mogelijk een voorspelling te doen welke padbreedtereductie er veroorzaakt dient te worden door bedoelde hulpmiddelen om een ontmoeting van twee 2-baksduwstellen in de lange formatie mogelijk te maken (en dus elke andere ontmoeting met een kleiner type schip). Stel er zijn omstandigheden die overeenkomen met die van O.L.R. (1972); verder:

- duwformatie is geladen ($T = 1,6$ m.).
- totaal beschikbare ruimte tussen de 2,00m.-dieptelijnen is 75m.
- De berm- en veiligheidsstroken eisen een ruimte van totaal $2,5 \cdot B = 2,5 \cdot 11,4 = 28,5$ m.
- Over dus voor de padbreedtes van beide schepen: 46,5 m.
- Uitgaande van een snelheid van 10.1 km/h nemen beiden een totale padbreedte in van: $2 \cdot (0,03 \cdot 10,1 \cdot 172^2 / 355 +$

11,4) = 73,25 m.

Dus de genoemde hulpmiddelen zouden een reductie teweeg moeten brengen van 37%! Dit is op grond van de diverse proeven die zijn gedaan, zelfs door een combinatie van kopproergebruik en knikbesturing onmogelijk te realiseren. Een andere (theoretische) mogelijkheid zou nog zijn, dat beide duwstellen bovendien nog hun snelheid reduceren, waardoor een kleinere reductie van de hulpmiddelen hoeft te worden gevraagd; echter het beoogde doel wordt dan voorbijgestreefd: men hoeft nu niet vóór de bocht z'n snelheid terug te nemen om een eventuele ontmoeting in de bocht uit de weg te gaan maar in de bocht!

Kortom, de conclusie die kan worden getrokken is, dat het aanbrengen van bepaalde typen hulpmiddelen op de duwformaties zelf niet voldoende helpt om een ontmoeting in de bocht bij Gorssel mogelijk te maken!

VI.5.7 Opheffing van problemen bij tweestrooksverkeer door het plegen van ingrepen in de rivier.

De enige oplossing die over blijft is het plegen van een ingreep in de rivier, eventueel in combinatie met het aanbrengen van bepaalde typen hulpmiddelen op de duwformaties zelf om deze ingreep in natuur en milieu zoveel mogelijk te beperken. Ingrepen in de rivier kan men onderverdelen in:

1. Het maken van een bochtverbreding, hetgeen te realiseren is door:
 - a. het opstorten van de buitenbocht.
 - b. het periodiek baggeren.
2. Het plegen van een bochtafsnijding.

Beiden brengen verregaande consequenties met zich mede, zoals:

- het aanbrengen van nieuwe oeververdedigingen.
- consequenties ten aanzien van de riviermorfologie.
- consequenties ten aanzien van natuur en milieu.
- consequenties ten aanzien van oponthoud van de scheepvaart tijdens de werken.
- permanent uitbaggeren van het verbrede gedeelte aange-

zien door de verbreding de rivier zich wil verondiepen. Op deze problemen zal hier niet verder worden ingegaan. Wel wordt gekeken naar andere nevenaspecten die samengaan met genoemde ingrepen.

VI.5.7.1 Overgangslengte.

Bij een eventuele bochtverbreding is het begrip overgangslengte van belang. De overgang van het dwarsprofiel in de vorige bocht met straal $R=500\text{m}$. naar het te verbreden profiel in de bocht met straal $R=355\text{m}$. moet geleidelijk verlopen. Volgens lit. [17] dient deze zgn. overgangslengte te worden gekoppeld aan de mate van bochtverbreding. Er wordt aanbevolen de overgang van het profiel in de vorige bocht naar het profiel in de te verbreden bocht te laten verlopen onder een helling van 1:20, zodat de overgangslengte $l' = 20 \cdot \Delta B_b$, als ΔB_b de mate van bochtverbreding is. In het hier beschouwde geval zou dat neerkomen op een overgangslengte van $l' = 535\text{m}$. Dit zou dan weer betekenen, dat de ervoor liggende bocht met straal $R=500\text{m}$. ook een verbreding van enkele meters zou ondergaan, hetgeen de vaarbaarheid alleen maar ten goede zou komen! In de schets op bijlage 59 is aangegeven hoe één en ander zou kunnen worden gerealiseerd. De verbreding is aangebracht in de binnenbocht, dit omdat de bocht dan zodanig kan worden afgesneden - indien het overig verkeer dit toe zou laten - dat de straal van de gevaren baan groter is dan de bochtstraal. Wanneer de verbreding in de buitenbocht zou worden aangebracht kan de scheepvaart in de bocht ervoor, door de genoemde overgangslengte, er ook van meeprofitieren, echter het effect is dan veel minder.

VI.5.7.2 Het benodigde uitzicht.

Wanneer een bochtverbreding wordt toegepast dienen zich ook eisen aan ten aanzien van het benodigde uitzicht. Om veilig te kunnen varen dient een schipper zicht te kunnen hebben op wat zich in zijn vaarwater bevindt. Over welke lengte het zicht op het voorliggende vaarwater voor de boeg zich dient uit te strekken is in het algemeen afhan-

kelijk van de volgende factoren: (zie fig. 45)

1. Welke lengte heeft een schip (A) nodig om bij een stilliggend object in punt B te stoppen?
2. Welke lengte hebben twee schepen A en B, ongeveer in de as van de rivier varende, nodig om een uitwijkmanoeuvre te maken, zodanig dat een ontmoeting mogelijk is?

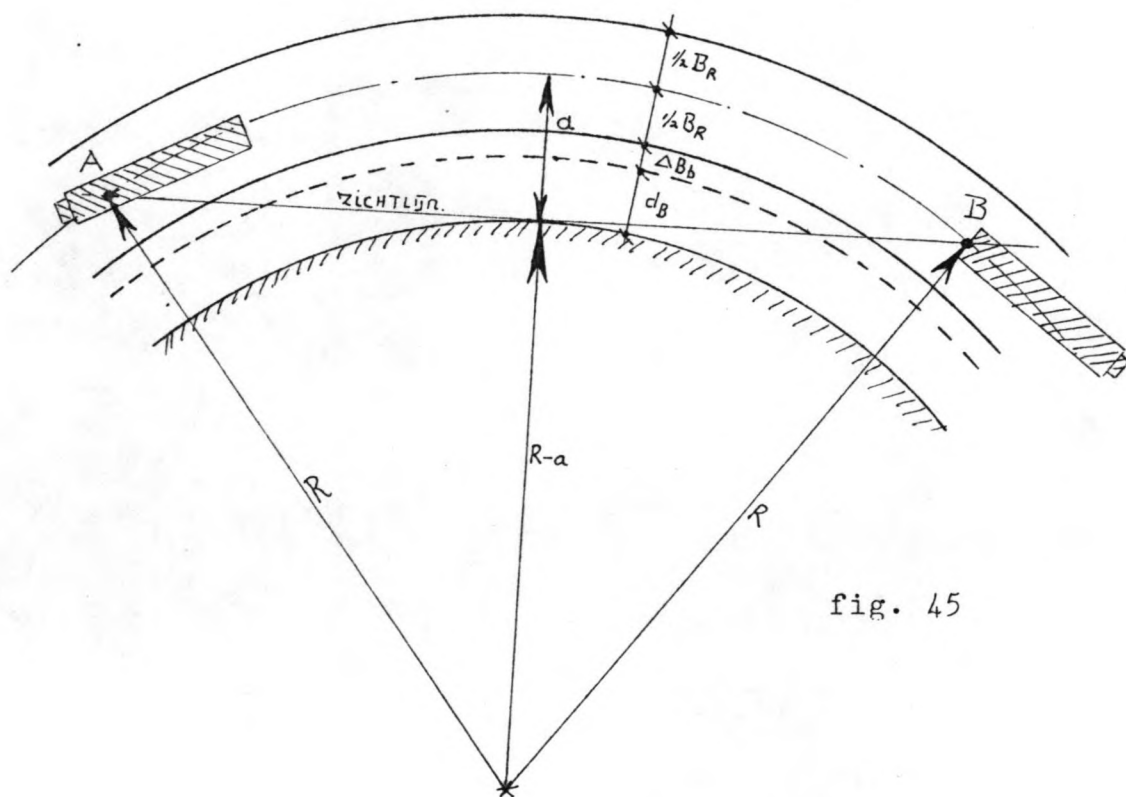


fig. 45

Meestal is punt 1 maatgevend (zie ook lit. 17); daarom wordt hier nog wat nader op ingegaan.

De conclusie die in lit. [17] voor kanalen wordt getrokken is:

Waarnemingen geven de indicatie dat het goed mogelijk is bij aanvangssnelheden van 2,0 à 2,5 m/s een gecontroleerde stop uit te voeren binnen een lengte van $4L$.

Zoals gezegd geldt dit voor kanalen met een geringe stroomsnelheid. In het geval van de Gelderse IJssel, waar grotere stroomsnelheden heersen en mede daardoor ook grotere aanvangssnelheden van de schepen, mag worden verondersteld, dat een lengte van $4L$ niet meer zal voldoen.

Aangezien er in de literatuur slechts een gering aantal stopproeven bekend zijn, die van toepassing zouden kunnen zijn op de hier te beschouwen omstandigheden in de bocht bij Gorssel, kan geen uitsluitsel worden gegeven over de lengte die een uit te voeren gecontroleerde stop in beslag neemt. Het valt dan ook aan te bevelen, wanneer tot een bochtverbreding bij Gorssel zou worden overgegaan en de financiële middelen beschikbaar zijn stopproeven voor verschillende typen schepen uit te voeren (inclusief 2-baksduwvaart) in het prototype!

Deze proeven hoeven slechts te worden uitgevoerd voor geladen schepen (in afvaart) aangezien reeds bekend is, dat lege schepen een kleinere stopweg hebben, mits de schroef voldoende onder water ligt. Als dat niet het geval is, kan de stopweglengte van een leeg schip groter zijn dan die van een geladen schip. Natuurlijk is het on-economisch de bochten specifiek te ontwerpen op dit soort slecht uitgeruste schepen. Een schipper die een dergelijk schip bevaart moet op grond van zijn ervaring bij het naderen van een minder overzichtelijke bocht zijn snelheid verlagen.

VI.5.7.3 Het beschikbare uitzicht.

Aangenomen wordt, dat de stuurhuizen van schip A en B zich bewegen langs de cirkelboog met straal R. De afstand a is dan gelijk aan (zie fig. 45):

$$a = \frac{1}{2} \cdot B_R + \Delta B_b + d_B \quad (104)$$

waarin d_B = de bebouwingsafstand.

B_R = breedte van de rivier.

ΔB_b = mate van bochtverbreding.

N.B. De oeverstrook met breedte d_B is zo laag dat de schippers er overheen kunnen kijken. De gearceerde zône is qua hoogte zichtbelemmerend.

In het algemeen kan nu uit de resultaten van de stopproeven, die een maat voor de zichtlijn geven, de benodigde bebouwingsafstand worden bepaald, gegeven ook de breedte van de rivier, de bochtstraal in de vaarweg en de even-

tuele bochtverbreding.

Voor de factoren, die verder een rol spelen wordt verwezen naar de literatuur [17].

Tabel 3. Duwbakken en duwbotten, 1982¹

Tel- punt nr.	Vaarweg (haven); telpunt	Richting	Duwbakken				Aantal duwbote
			Totaal		w.v. geladen		
			aantal	laadvermogen	aantal	laadvermogen	
		1 000 t		1 000 t			
167	Zwolle-IJsselkanaal; Zwolle, Spooldersluis	Oost West	109 105	122 118	106 1	120 1	117 116
168	Geldersche IJssel; Kampen, IJsselbrug	Op Af	142 151	135 144	139 8	132 7	144 162
176	Rijn; Lobith, Ned.-Duitse grens	Op Af	16 611 17 313	39 430 40 200	15 987 4 481	38 412 9 583	4 408
183	Amsterdam-Rijnkanaal; Amsterdam, voormalige Zeeburgersluizen ²	Noord Zuid	1 091 1 163	2 260 2 361	339 864	651 1 818	649 643
187	Lekkanaal; Nieuwegein, Pr. Beatrixsluis	Noord Zuid	1 113 922	2 128 1 674	431 509	831 894	967 870
190	Amsterdam-Rijnkanaal; Wijk bij Duurstede, Pr. Irenesluis	Noord Zuid	599 865	1 088 1 765	118 754	193 1 601	217 316
190A	Amsterdam-Rijnkanaal; Tiel, Pr. Bernhardsluis	Noord Zuid	573 837	1 157 1 693	104 744	177 1 556	221 304
207	IJ; Amsterdam, Oranjesluizen	In Uit	796 795	738 747	47 730	46 681	798 793
208	Noordhollandsch Kanaal; Amsterdam, Willem I sluisen	Noord Zuid	275 272	259 257	274 -	259 -	287 205
250	Oude Rijn; Leiderdorp, Brug	Oost West	324 371	228 239	320 53	226 12	320 367
252	Zijl; Leiden, Spanjaardsbrug	Noord Zuid	388 330	251 234	52 330	14 234	391 334
266	Oude Maas; Rotterdam, Botlekbrug	Noord Zuid	3 276 4 703	7 969 11 784	1 209 2 961	2 774 7 524	1 765 2 473
267	Kanaal door Zuid-Beveland; Hansweert, Sluizen	Noord Zuid	726 705	1 513 1 494	364 435	663 1 019	802 585
267A	Zandkreek/Veerse Meer; Kats, Zandkreeksluis	Oost West	172 109	260 257	100 47	165 79	125 106
269	Kanaal door Walcheren; Vlissingen, Sluizen	Noord Zuid	150 95	246 182	107 38	175 65	125 104
271/ 273	Kanaal Terneuzen-Gent; Terneuzen, Sluizen ³	Noord Zuid	2 029 2 018	4 292 4 304	625 1 662	1 509 3 460	1 387 1 385
274	Kanaal Terneuzen-Gent; Sas van Gent, Ned.-Belg. grens	Noord Zuid	1 679 1 469	3 742 3 338	412 1 195	991 2 711	991 965
275A	Schelde-Rijnkanaal; Kreekraksluizen	Noord Zuid	3 038 3 248	5 739 5 944	2 108 2 427	3 746 4 372	1 431 1 515
278A	Volkerak; Volkeraksluizen	Op Af	4 726 4 790	9 140 9 432	2 628 2 917	4 826 5 895	2 691 2 801
303	Kanaal Wessum Nederweert; Panheel, Sluis	Noord Zuid	143 142	83 82	143 2	83 1	15 15
304	Julianakanaal; Maasbracht, Sluizen	Noord Zuid	2 250 2 178	2 467 2 326	352 1 912	461 2 027	1 57 1 49
306	Julianakanaal; Born, Sluizen	Noord Zuid	1 726 1 636	2 090 1 921	293 1 435	434 1 647	71 68
309	Maas; St. Pieter, Ned.-Belg. grens	Op Af	1 177 1 106	1 357 1 350	1 050 129	1 191 189	
311	Maas; Linne, Sluis	Op Af	607 646	540 587	458 185	411 175	78 75
311A	Lateraalkanaal; Heel, Sluizen	Noord Zuid	768 718	1 219 1 115	654 167	1 023 299	70 70
312	Maas; Roermond, Sluis en Stuw ⁴	Op Af	126 156	136 173	12 138	14 155	14 17
313	Maas; Belfeld, Sluis en Stuw ⁴	Op Af	891 958	1 352 1 495	249 756	452 1 143	94 95
314	Maas; SambEEK, Sluis en Stuw ⁴	Op Af	734 804	1 215 1 359	215 625	433 1 027	71 84
315	Maas; Grave, Sluis en Stuw ⁴	Op Af	238 94	337 100	92 69	151 74	21 21
316	Maas; Lith, Sluis en Stuw ⁴	Op Op	237 91	335 108	91 64	147 79	21 11
319	Maas-Waalkanaal; Weurt, Sluis	Noord Zuid	674 448	1 213 808	451 173	822 339	6 4

¹ Opgenomen zijn alleen die telpunten waar minstens 100 duwbakken per richting zijn gepasseerd. Deze cijfers zijn eveneens in tabel 2 in de rubriek 'B' schepen, Totaal' begrepen.

² Gegevens zijn samengesteld aan de hand van de herkomst- en bestemmingstellingen bij een zestal andere telpunten aan het Amsterdam-Rijnkanaal.

³ Wegens het ontbreken van gegevens betr. het laadvermogen van de Oostsluis Terneuzen, richting Zuid, over de maanden juni en dec. 1982, zijn deze geraamd.

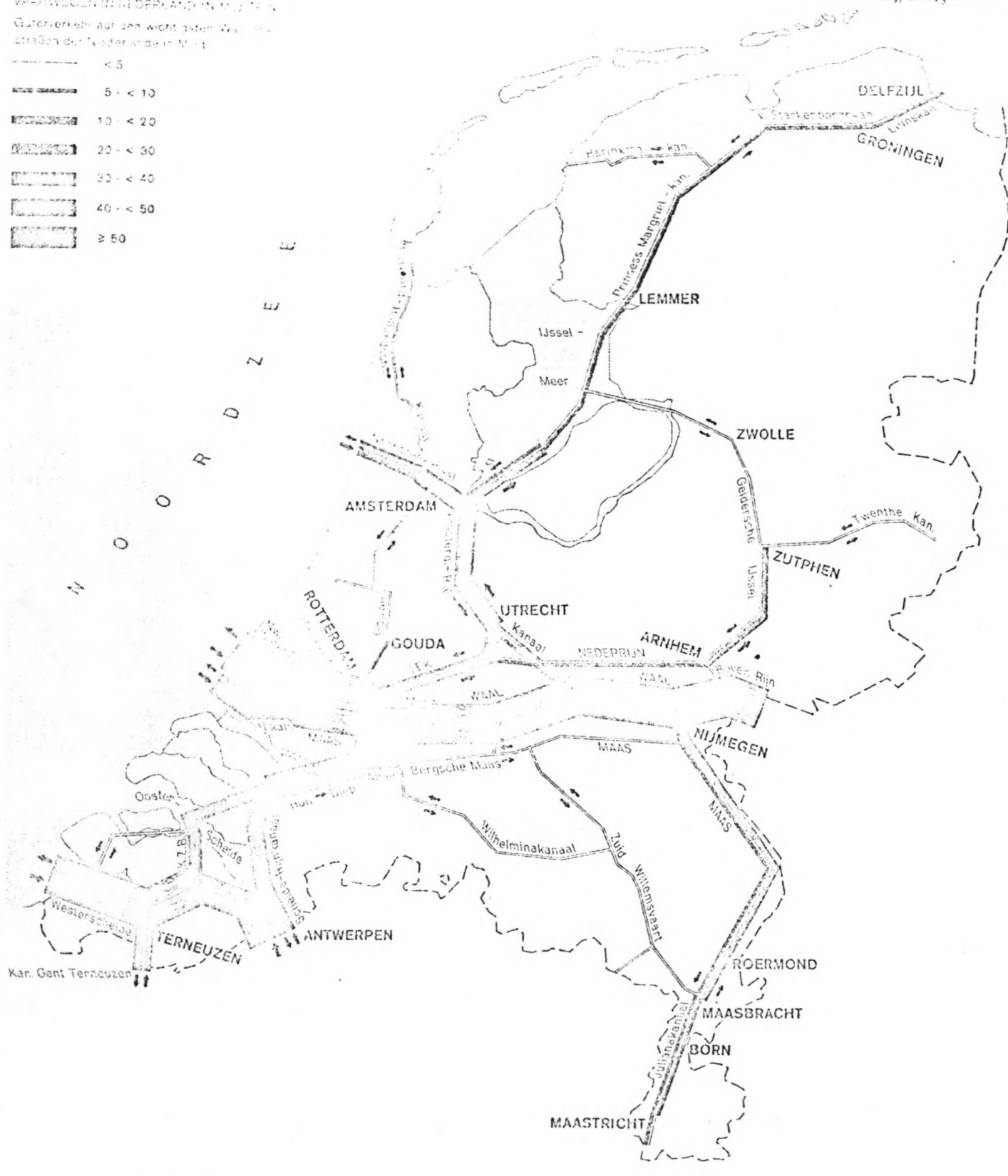
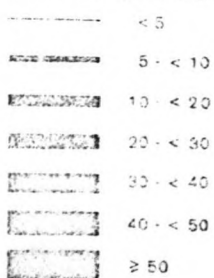
⁴ Wanneer de scheepvaart over de stuw plaats vindt, wordt het laadvermogen geschat.

Güterverkehr 1931 auf dem Hauptnetz der Wasserstraßen

bijlage 2

GOEDERENVERKEER OP DE VOORNAAMSTE
VAARWEGEN IN NEDERLAND IN 1931

Güterverkehr auf den wichtigsten Wasserstraßen
der Niederlande in Mio. t

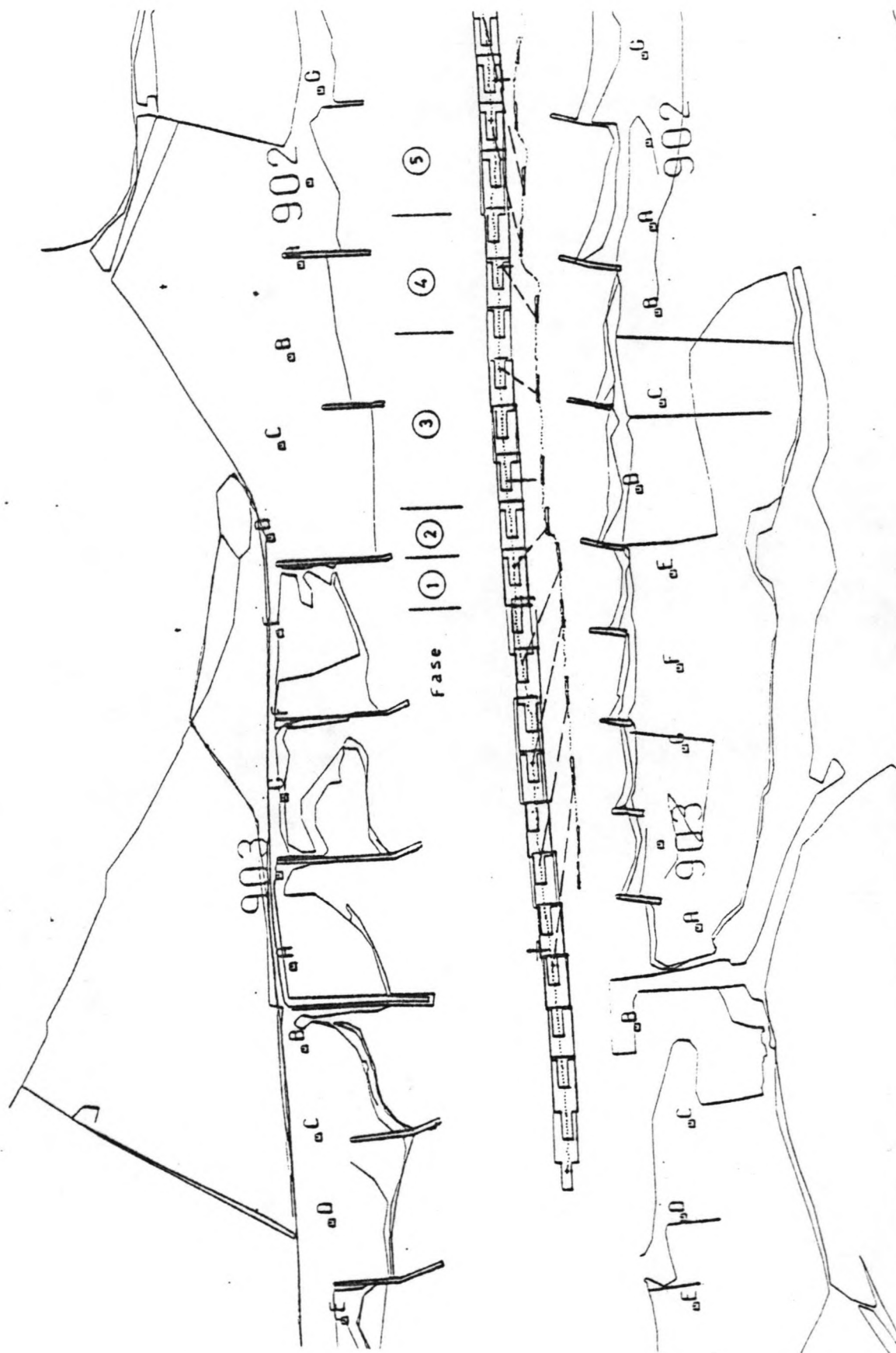


RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

2. Omvang van het vervoer per binnenschip op de Nederlandse waterwegen 1982

excl. vaarwegen uitsluitend bevaarbaar door schepen van <50 ton





OPLOOPPROEF SPITS PROEFNO: 50 FORMATIE 2x3

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get.	gez.
h.k.	

Nr. S 82.151

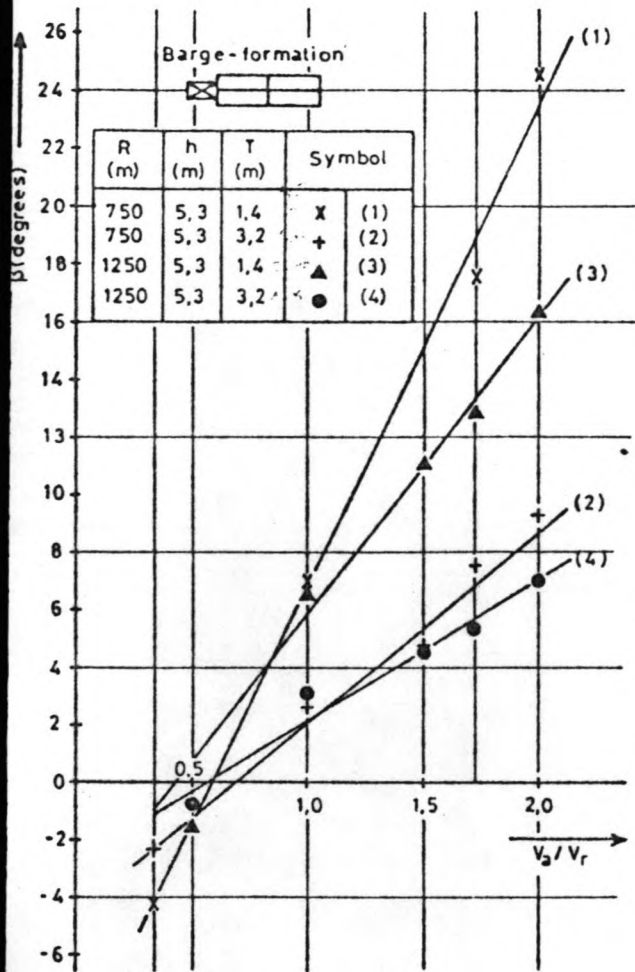


Fig. 5 Effect of V_a/V_r on β

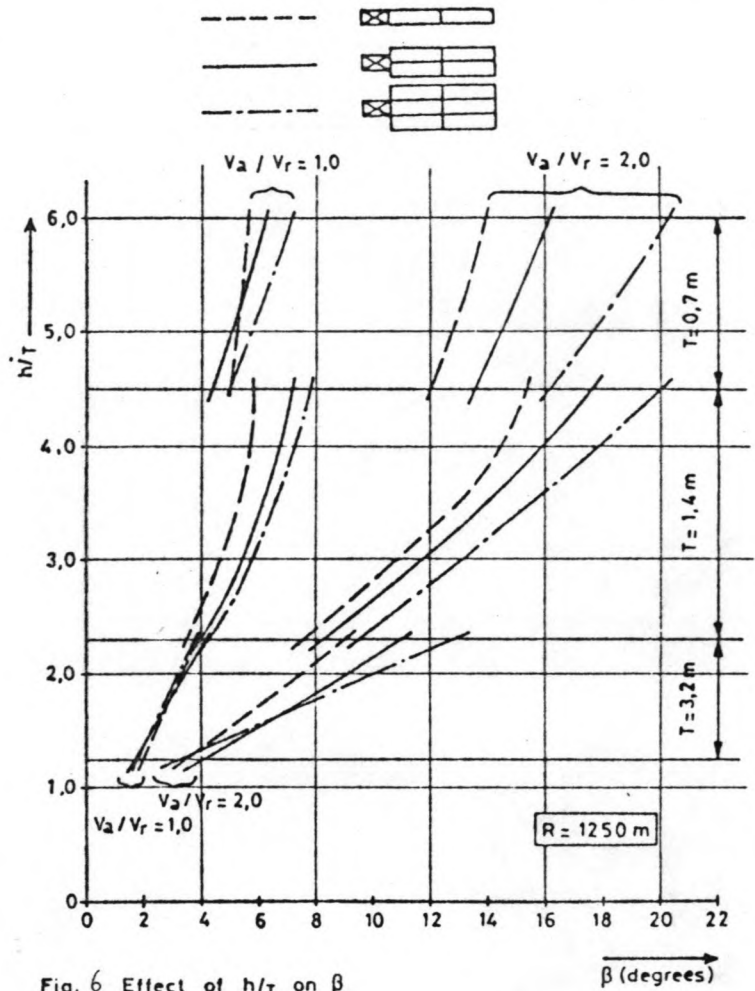


Fig. 6 Effect of h/T on β

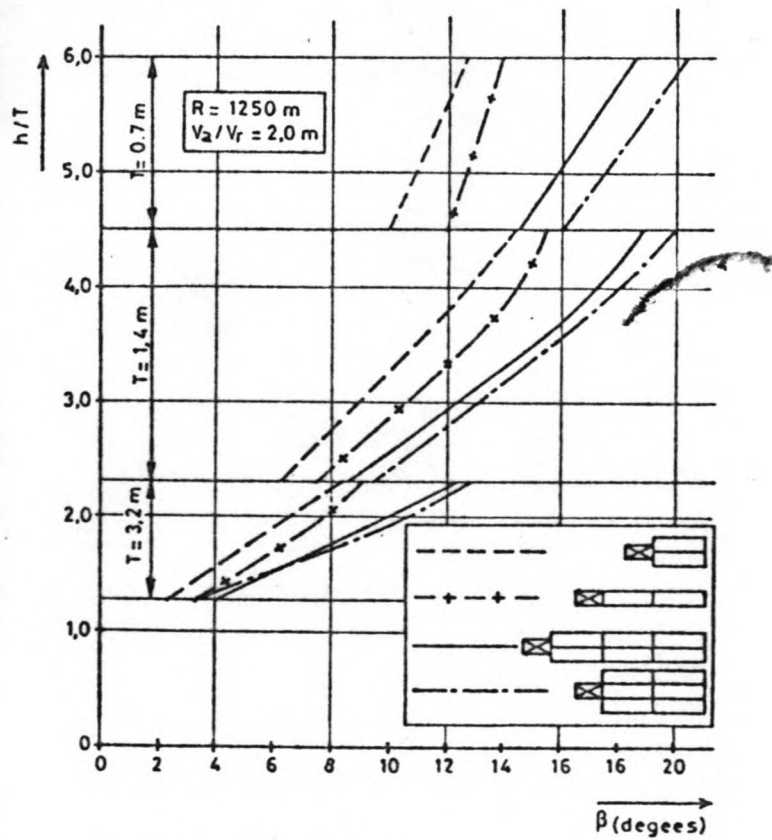


Fig. 7 Effect of L/B on β

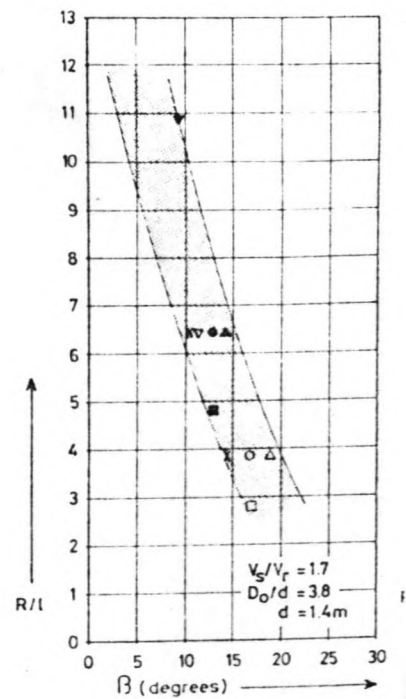
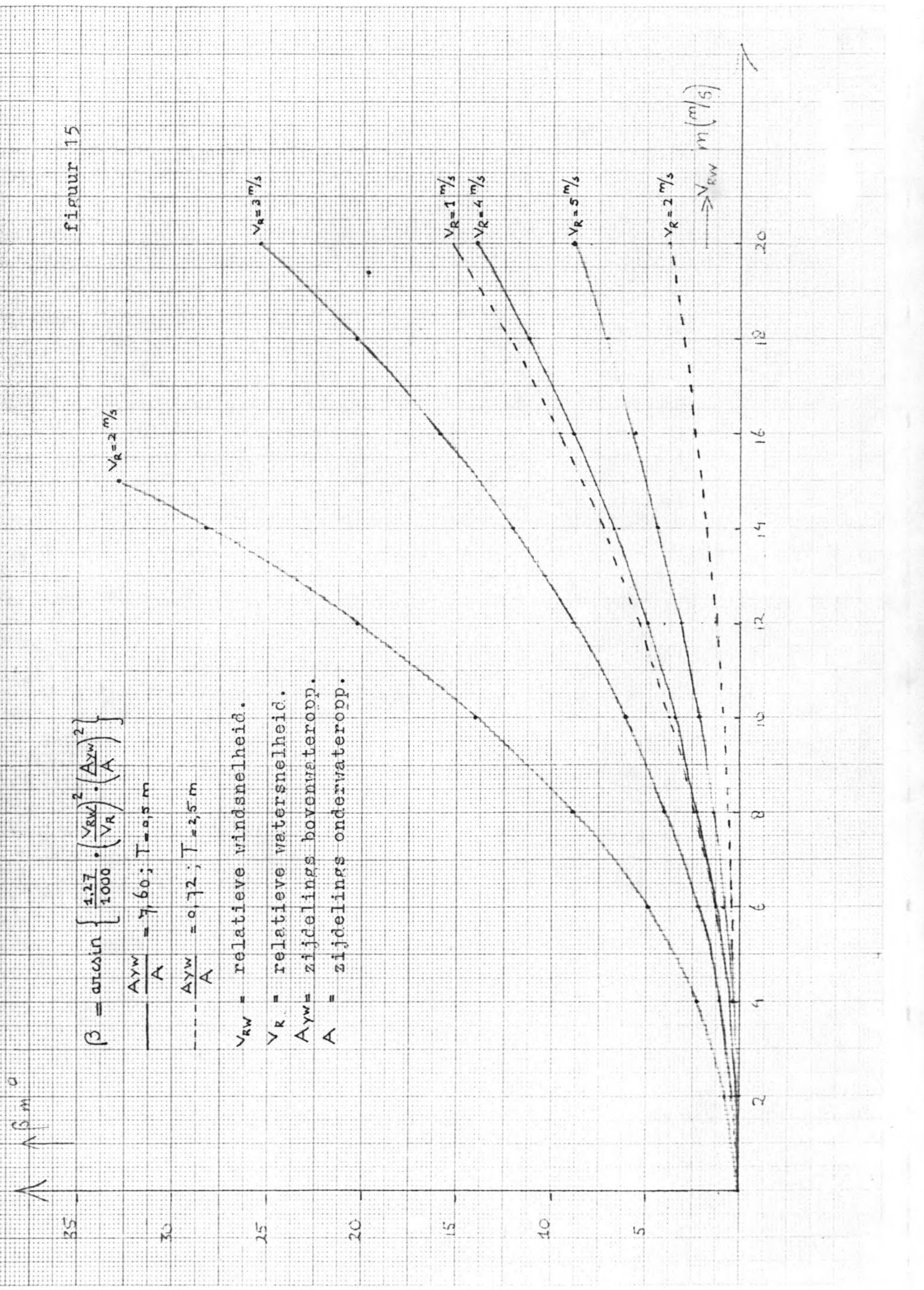
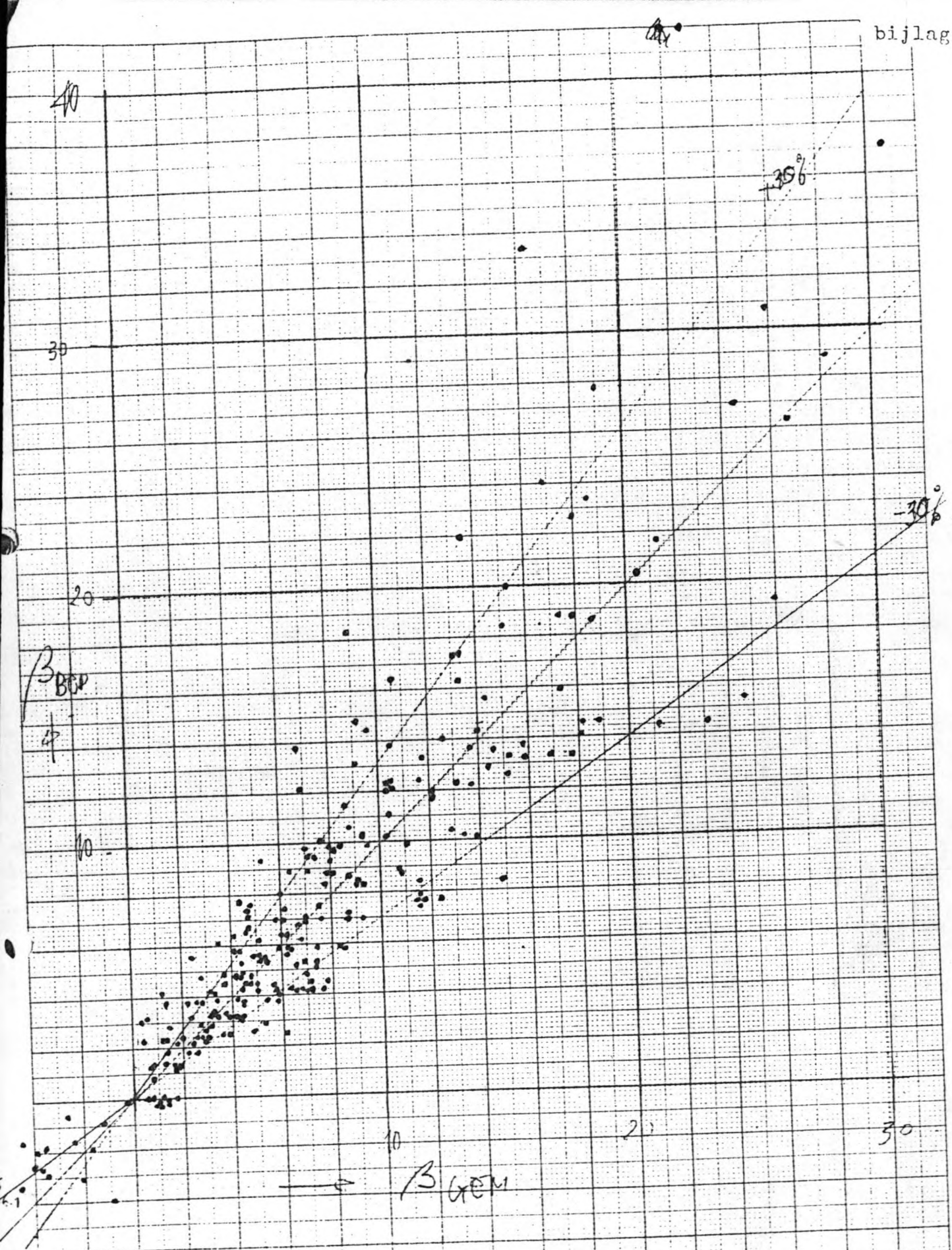


Fig. 8 Effect of R/l on drift angle

figuur 15





$$\beta_{BEP} = C \cdot \frac{L}{R} \left(\frac{2V_a}{V_r} - 1 \right) \left(1 - \frac{1}{n} \right)$$

$$C = 37,5^\circ$$

FIG 6

ALE FORMULAS, ALE BOEKSTRALICH

tabel 2

bijlage 8

metingnr.	h(m)	T(m)	V_s (m/s)	V_a (m/s)	R(m)	P(m)	β (°)
1	8,0	0,550	1,48	5,1	960	84	22
2	7,0	1,175	1,33	6,0	780	70	18
3	6,5	0,550	1,20	5,3	750	81	20
4	7,5	0,550	1,45	5,4	750	84	22
5	7,5	0,550	1,32	4,4	1200	86	22
6	6,5	1,175	1,19	4,8	1050	48	9
7	6,0	0,550	1,07	4,2	975	56	12
8	6,0	0,550	1,58	4,0	1125	68	17
9	6,0	1,175	1,49	3,5	1200	50	9
10	6,0	0,550	1,38	5,5	1050	70	17
11	7,0	0,550	1,61	5,3	1080	70	17
12	7,0	0,550	1,67	6,1	1200	56	13
13	5,0	1,175	1,56	6,1	1125	38	7
14	5,0	0,550	1,44	5,5	900	65	15
15	7,5	0,550	1,52	4,7	1650	59	13
16	7,0	1,175	1,41	5,2	1380	50	8
17	6,0	0,550	1,30	5,0	1050	55	12
18	7,0	0,550	1,52	5,8	1065	62	15
19	7,0	0,550	1,52	6,5	1125	60	13
20	7,0	1,175	1,42	5,9	975	52	11
21	6,0	0,550	1,32	5,5	1050	60	13
22	7,5	0,550	1,53	6,2	930	60	14
23	7,0	0,550	1,41	6,2	1500	62	15
24	7,0	1,175	1,31	6,3	1140	46	10
25	6,5	0,550	1,20	6,0	1200	58	12
26	7,5	0,550	1,42	5,5	1080	78	19
27	6,5	0,550	1,20	6,1	1245	70	17
28	7,0	1,175	1,15	5,8	1200	41	8
29	6,0	0,550	1,19	5,5	1125	52	12
30	8,0	0,550	1,35	6,5	975	65	16
31	6,5	0,550	1,02	6,0	1140	67	15
32	5,0	1,175	0,96	5,8	1005	50	9
33	5,0	0,550	0,96	5,4	900	62	14
34	7,0	0,550	1,23	5,8	1050	70	17
35	6,5	0,550	1,38	4,7	945	76	18
36	4,5	1,175	1,31	5,0	780	55	10

vervolg tabel 2

bijlage 9

metingnr.	h(m)	T(m)	v_s (m/s)	v_a (m/s)	R(m)	P(m)	β (°)
37	4,5	0,550	1,23	4,4	975	60	13
38	6,0	0,550	1,27	5,7	900	68	15
39	6,5	0,550	1,24	6,5	1425	60	13
40	5,5	1,175	1,16	5,9	1050	52	10
41	5,0	0,550	1,15	4,4	1020	65	15
42	7,0	0,550	1,01	6,0	1320	55	12

tabel 3

bijlage 10

metingsnr.	h(m)	T(m)	v_s (m/s)	v_a (m/s)	R(m)	P(m)	β (°)
1	11	3,20	1,17	3,2	1950	41	6
2	7	3,20	1,24	2,8	1425	38	4
3	7,5	3,20	1,38	2,1	1020	48	8
4	6,5	3,20	1,02	2,9	1290	40	2
5	6	3,20	1,20	2,8	1260	40	-1
6	7	3,20	1,29	1,8	1215	38	5
7	7,5	3,20	1,39	2,8	1215	30	4
8	6,5	3,20	1,40	2,5	1710	32	3
9	6	3,20	1,52	2,3	1290	39	7
10	7,5	3,20	1,48	2,3	1260	46	7
11	7,5	3,20	1,35	2,7	1080	37	5
12	12,5	3,20	1,22	2,0	1740	39	6
13	10	3,20	1,24	2,0	1500	41	8
14	11	3,20	1,27	2,1	660	68	15
15	11	3,20	1,29	2,3	1350	36	5
16	6	3,20	1,16	1,8	1170	38	4
17	6,5	3,20	1,31	2,2	855	40	6
18	6	3,20	0,96	2,6	750	40	7
19	7,5	3,20	1,15	2,8	945	40	7
20	7	3,20	1,22	2,6	1380	36	5
21	6	3,20	1,30	2,5	1650	30	4
22	5,5	3,20	1,43	1,8	1200	25	2
23	6	3,20	1,37	2,5	1245	37	4
24	6,5	3,20	1,09	2,5	1215	36	5
25	6,5	3,20	1,22	2,5	1020	37	4
26	11	2,80	0,44	1,8	1335	48	9,5
27	12,5	2,80	0,34	1,5	750	50	10
28	12	2,80	0,15	1,5	1305	40	6
29	5,5	2,80	1,15	3,0	1200	34	5
30	5,5	2,80	1,23	1,7	900	37	5
31	5,5	2,80	0,96	2,8	1050	34	3
32	4	2,80	1,19	1,9	1020	36	4
33	6,5	2,80	1,09	2,8	1020	36	5
34	5,5	2,80	1,20	2,7	900	37	4
35	5,5	2,80	1,18	2,7	1395	32	4
36	5	2,80	1,31	1,8	915	28	2

vervolg tabel 3

bijlage 11

metingnr.	h(m)	T(m)	V_s ($\frac{m}{s}$)	V_a ($\frac{m}{s}$)	R(m)	P(m)	β ($^\circ$)
37	5	2,80	1,26	2,4	1035	44	8
38	6	2,80	1,10	2,5	915	32	3
39	6	2,80	0,98	1,7	945	38	5
40	10,5	3,20	0,35	3,8	1740	36	5
41	10	3,20	0,29	3,7	855	38	6
42	11	3,20	0,20	3,0	1590	44	8
43	7	3,20	1,02	2,7	1260	36	4
44	7,5	3,20	1,29	1,8	840	36	5

tabel 4

metingnr.	c_M	$\beta_{BER.}$	$\beta_{GEM.}$	verg.	T/h
	min. - max.	min. - max.			
1	27,6 - 44,5	9,0 - 14,5	22	<	0,0688
2	23,7 - 42,9	6,4 - 13,3	18	<	0,1679
3	23,0 - 42,6	8,2 - 15,2	20	<	0,0846
4	23,0 - 42,6	9,1 - 16,9	22	<	0,0733
5	32,9 - 46,7	8,7 - 12,4	22	<	0,0733
6	29,6 - 45,4	7,1 - 10,8	9		0,1808
7	28,0 - 44,7	8,1 - 12,0	12		0,0917
8	31,3 - 46,1	9,7 - 14,2	17	<	0,0733
9	32,9 - 46,7	10,1 - 14,3	9	>	0,1958
10	29,6 - 45,4	7,9 - 12,1	17	<	0,0917
11	30,3 - 35,6	8,9 - 13,5	17	<	0,0786
12	32,9 - 46,7	8,2 - 11,6	13	<	0,0786
13	31,3 - 46,1	6,6 - 9,8	7		0,2350
14	26,3 - 44,0	8,2 - 13,8	15	<	0,1100
15	42,8 - 50,9	8,7 - 10,3	13	<	0,0917
16	36,9 - 48,4	7,1 - 9,4	8		0,1679
17	29,6 - 45,4	8,1 - 12,4	12		0,0917
18	29,9 - 45,5	8,2 - 12,5	15	<	0,0786
19	31,3 - 46,1	7,7 - 11,2	13	<	0,0786
20	28,0 - 44,7	7,2 - 11,6	11		0,1679
21	29,6 - 45,4	7,7 - 11,8	13	<	0,0917
22	27,0 - 44,3	8,2 - 13,5	14	<	0,0733
23	39,5 - 49,5	7,1 - 8,9	15	<	0,0786
24	31,6 - 46,2	6,5 - 9,5	10	<	0,1679
25	32,9 - 46,7	6,7 - 9,6	12	<	0,0846
26	30,3 - 45,6	8,2 - 12,3	19	<	0,0733
27	33,9 - 47,2	6,9 - 9,6	17	<	0,0846
28	32,9 - 46,7	6,3 - 8,9	8		0,1679
29	31,3 - 46,1	7,2 - 10,7	12	<	0,0917
30	28,0 - 44,7	7,5 - 12,0	16	<	0,0688
31	31,6 - 46,2	6,6 - 9,7	15	<	0,0846
32	28,6 - 44,9	5,6 - 8,9	9	<	0,2350
33	26,3 - 44,0	6,9 - 11,5	14	<	0,1100
34	29,6 - 45,4	7,4 - 11,3	17	<	0,0786
35	27,3 - 44,4	9,0 - 14,6	18	<	0,0846
36	23,7 - 42,9	7,1 - 12,9	10		0,2611

vervolg tabel 4

bijlage 13

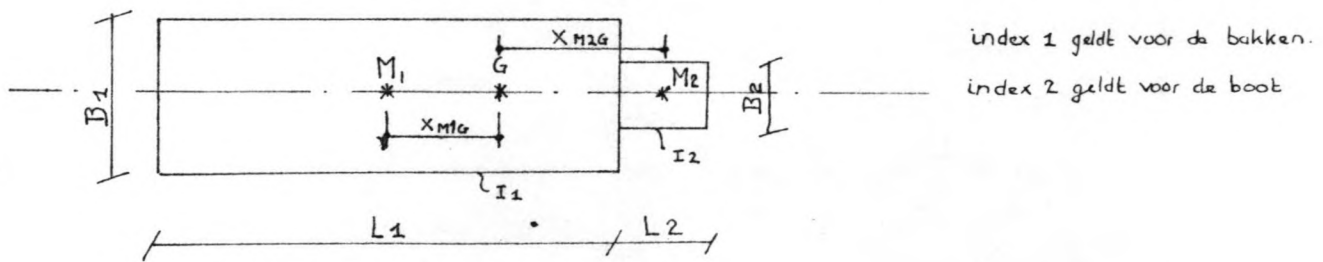
metingnr.	c_M		β_{BER}		$\beta_{GEM.}$	verg.	T/h
	min.	max.	min.	max.			
37	28,0	44,7	8,3	13,2	13		0,1222
38	26,3	44,0	7,7	12,9	15	<	0,0917
39	37,9	48,8	6,6	9,5	13	<	0,0846
40	29,6	45,4	6,1	9,3	10	<	0,2163
41	28,9	45,1	8,0	12,4	15	<	0,1100
42	35,5	47,8	6,4	8,7	12	<	0,0786

tabel 5

metinønr.	c_M		$\beta_{BER.}$		$\beta_{GEM.}$	verg.
	min.	max.	min.	max.		
1	49,4	53,6	1,5	1,7	6	<
2	37,9	48,8	1,0	1,3	4	<
3	28,9	45,1	0,8	1,2	8	<
4	34,9	47,6	1,2	1,7	2	<
5	34,2	47,3	0,9	1,3	-1	<
6	33,2	46,9	0,5	0,6	5	<
7	33,2	46,9	1,0	1,4	4	<
8	44,1	51,4	0,7	0,8	3	<
9	34,9	47,6	0,5	0,7	7	<
10	34,2	47,3	0,6	0,9	7	<
11	30,3	45,6	1,0	1,5	5	<
12	44,8	51,7	0,8	0,9	6	<
13	39,5	49,5	0,8	1,0	8	<
14	21,0	41,8	1,0	2,0	15	<
15	36,2	48,1	1,0	1,3	5	<
16	32,2	46,5	0,5	0,7	4	<
17	25,3	43,6	0,7	1,2	6	<
18	23,0	42,6	1,2	2,3	7	<
19	27,3	44,4	1,3	2,1	7	<
20	36,9	48,4	1,0	1,3	5	<
21	42,8	50,9	0,7	0,8	4	<
22	32,9	46,7	0,2	0,3	2	<
23	33,9	47,1	0,7	1,0	4	<
24	33,2	46,9	1,0	1,4	5	<
25	28,9	45,1	0,9	1,4	4	<
26	35,9	48,0	2,2	3,0	9,5	<
27	23,0	42,6	2,8	5,1	10	<
28	25,2	47,7	3,1	4,2	6	<
29	32,9	46,7	1,1	1,6	5	<
30	26,3	44,0	0,4	0,7	5	<
31	29,6	45,4	1,3	1,9	3	<
32	28,9	45,1	0,4	0,6	4	<
33	28,9	45,1	1,3	2,0	5	<
34	26,3	44,0	1,0	1,7	4	<
35	37,2	48,5	0,9	1,2	4	<
36	26,6	44,1	0,4	0,6	2	<

metingnr.	c_M		β_{BER}		$\beta_{GEM.}$	verg.
	min.	max.	min.	max.		
37	29,3	45,1	0,7	1,1	8	<
38	26,6	44,1	1,1	1,9	3	<
39	27,3	44,4	0,8	1,2	5	<
40	44,8	51,7	2,8	3,1	5	<
41	25,3	43,6	3,2	5,5	6	<
42	41,5	50,3	3,0	3,6	8	<
43	34,2	47,3	1,2	1,7	4	<
44	25,0	43,4	0,5	0,9	5	<

Bepaling van het massatraagheidsmoment I_z om een verticale as door het massazwaartepunt.



In het algemeen is het massatraagheidsmoment van een massief blok:

$$I_z = \iiint_V (x^2 + y^2) \cdot \rho(x, y, z) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

Voor de berekening van I_z van een duwstel worden de volgende aannames gedaan:

- De meebewegende hoeveelheid water (hydrodynamische massa) wordt verwaarloosd.
- Vanwege de lading worden de bakken als massief beschouwd met een massa gelijk aan: $\rho_w \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot T_1$

Voor de bakken geldt dan:

$$I_{z M_1} = \int_{-1/2 L_1}^{1/2 L_1} \int_{-1/2 B_1}^{1/2 B_1} \int_0^{T_1} (x^2 + y^2) \cdot \rho_w \cdot dx \cdot dy \cdot dz = 1000 \cdot \left[\frac{L_1 \cdot B_1 \cdot T_1}{12} (L_1^2 + B_1^2) \right] ; \rho_w \approx 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$I_{z G} = I_{z M_1} + \rho_w \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot T_1 \cdot x_{M1G}^2 ; \text{ (regel van Steiner)}$$

$$I_{z G} = 1000 \left[\frac{L_1 \cdot B_1 \cdot T_1}{12} (L_1^2 + B_1^2) + L_1 \cdot B_1 \cdot T_1 \cdot x_{M1G}^2 \right]$$

Voor de duwboot geldt dan:

$$I_{z M_2} = \int_{-1/2 L_2}^{1/2 L_2} \int_{-1/2 B_2}^{1/2 B_2} \int_0^{T_2} (x^2 + y^2) \cdot \rho_w \cdot dx \cdot dy \cdot dz = 1000 \cdot \left[\frac{L_2 \cdot B_2 \cdot T_2}{12} (L_2^2 + B_2^2) \right] ; \rho_w \approx 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$I_{z G} = 1000 \left[\frac{L_2 \cdot B_2 \cdot T_2}{12} (L_2^2 + B_2^2) + L_2 \cdot B_2 \cdot T_2 \cdot x_{M2G}^2 \right]$$

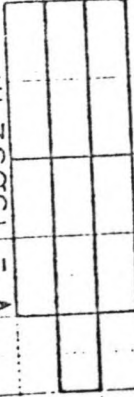
Dus het totale massatraagheidsmoment van de gehele duwformatie wordt dan:

$$I_{z \text{ tot}} = 1000 \left[\frac{L_1 \cdot B_1 \cdot T_1}{12} (L_1^2 + B_1^2) + \frac{L_2 \cdot B_2 \cdot T_2}{12} (L_2^2 + B_2^2) + L_1 \cdot B_1 \cdot T_1 \cdot x_{M1G}^2 + L_2 \cdot B_2 \cdot T_2 \cdot x_{M2G}^2 \right]$$

SB "MANNESMANN III"

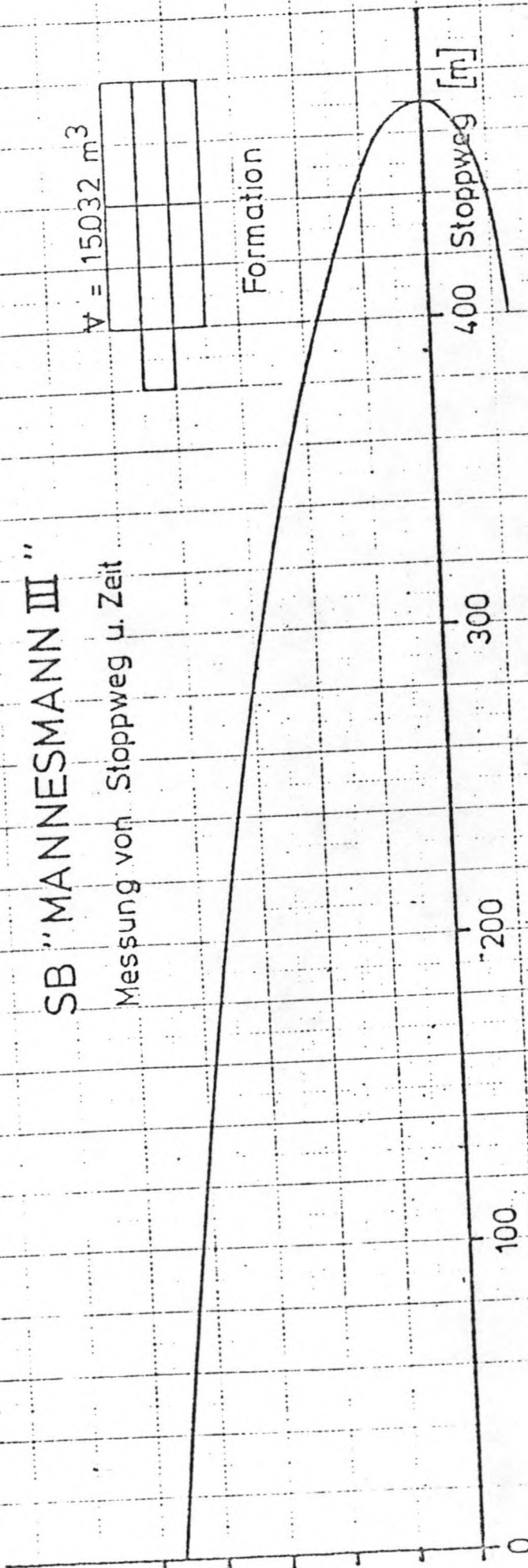
Messung von Stoppweg u. Zeit

$$V = 15032 \text{ m}^3$$



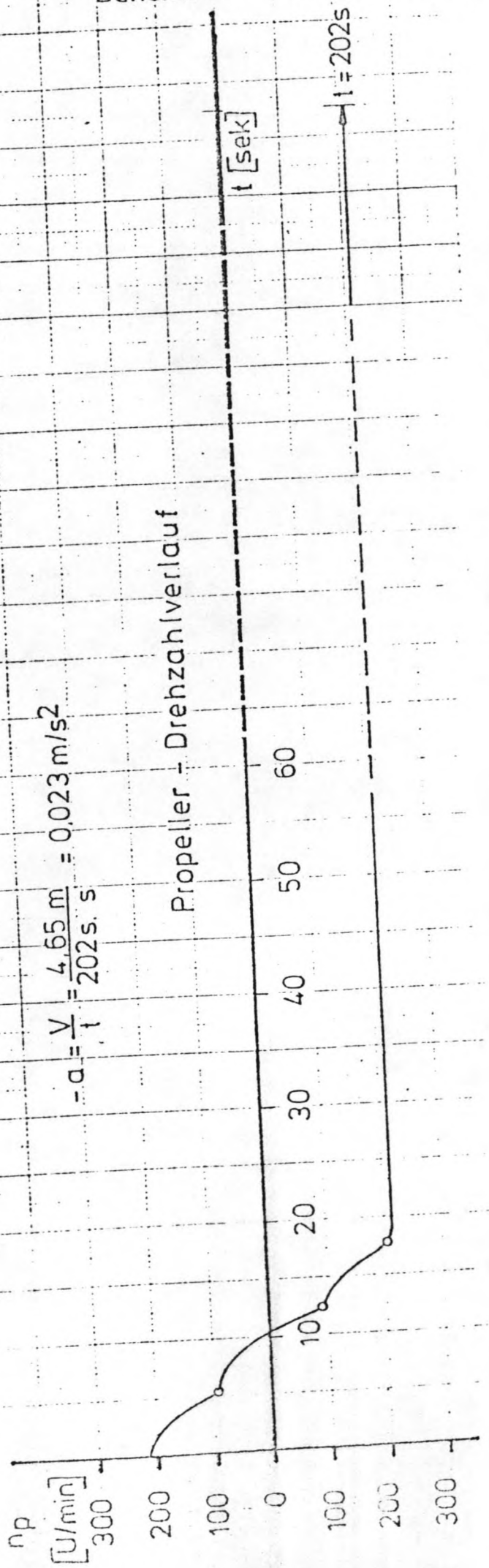
Formation

400 Stoppweg [m]

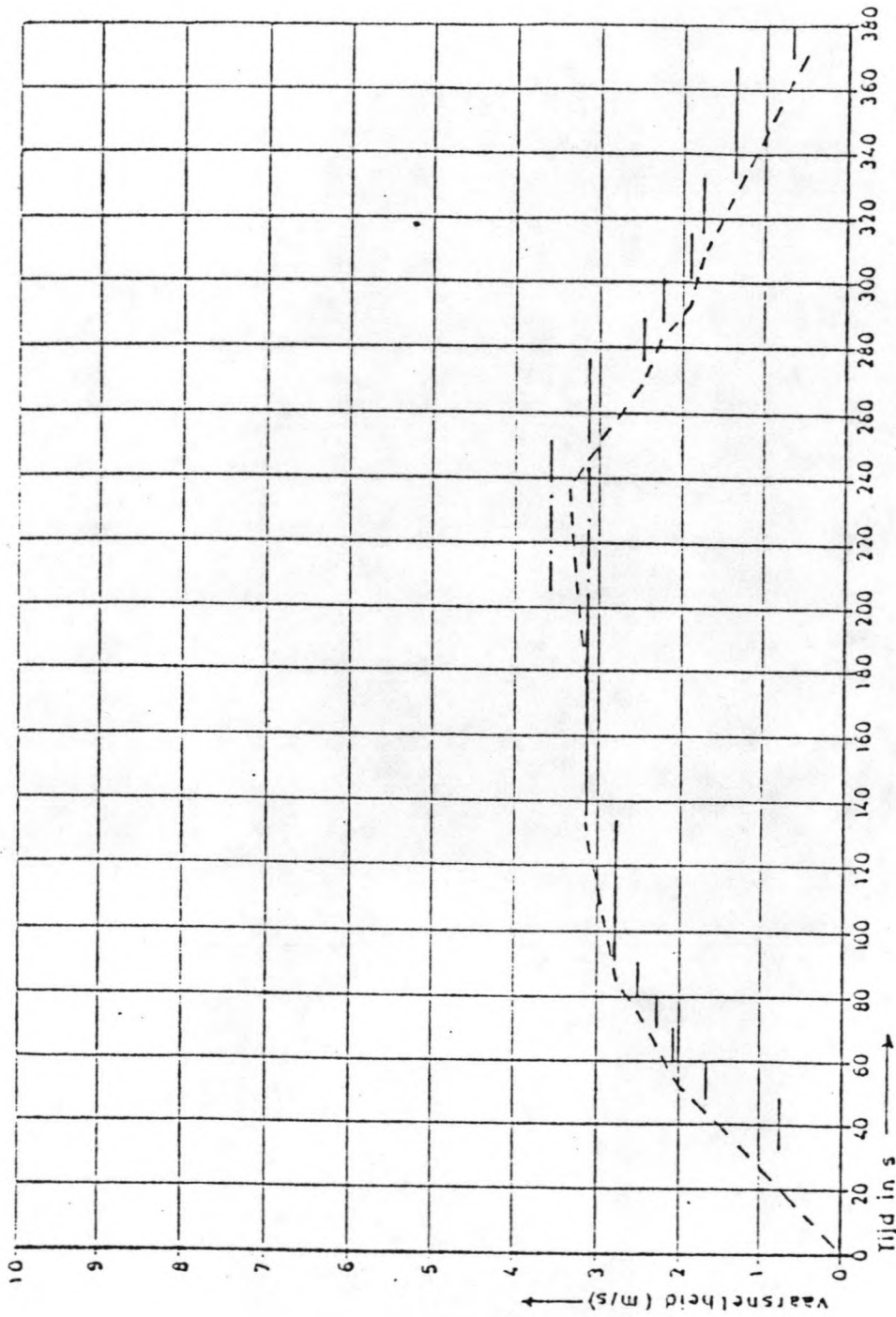


$$-a = \frac{V}{t} = \frac{4,65 \text{ m}}{202,5 \text{ s}} = 0,023 \text{ m/s}^2$$

Propeller - Drehzahlverlauf



Opp. Dwarsprofiel vaarweg $F = 158,86 \text{ m}^2$



Registratie van de vaarsnelheid bij acceleratie en stopproef
 n: 105/138, lokatie 7 Twenthekanaal
 ingesteld toerental 446 omw/min.

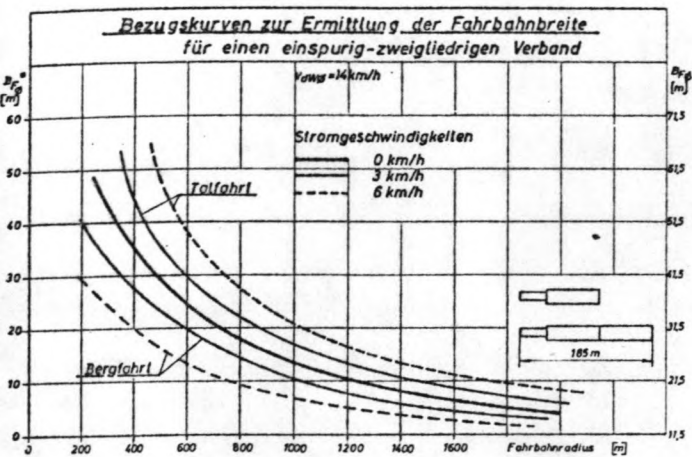


Abb. 10

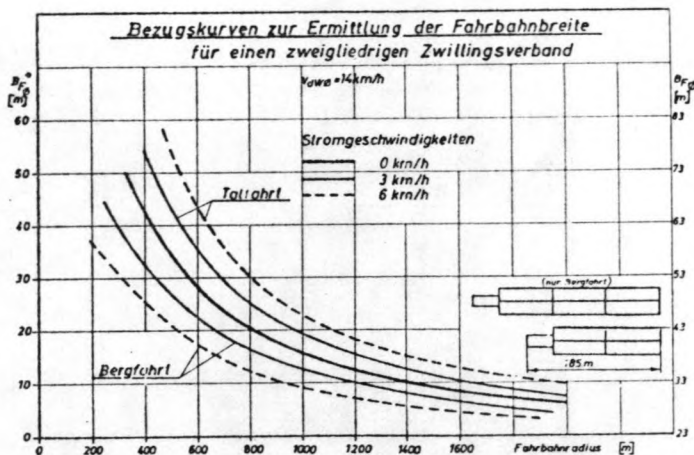
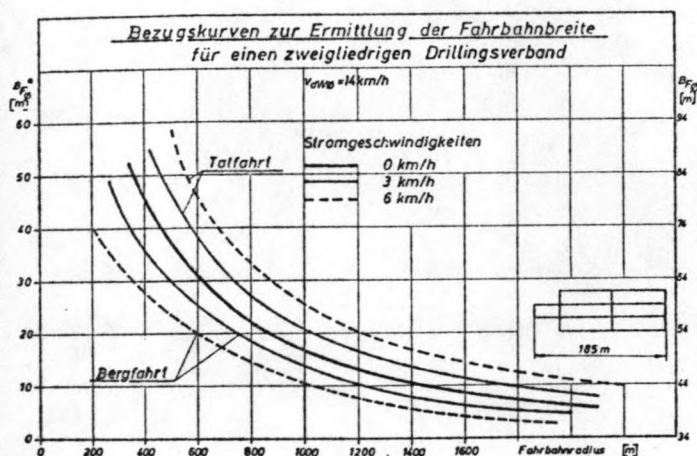


Abb. 11



Protokoll über die Fahrbahnbreiten von Schubverbänden im zweischiffigen Verkehr bei $V_{dw} = 14 \text{ km/h}$ in Stromkrümmungen

Radius	B _{Fφ} für Klasse IX	B _{Fφ} für Klasse X	B _{Fφ} für Klasse XI	B _{Fφ} 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	143 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	138 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

TOELICHTING :

$$B_{F\phi} = P = \text{totale padbreedte}$$

$$B_{F\phi}^* = \Delta B = \text{"extra" padbreedte}$$

$$V_{dw\phi} = \text{snelheid t.o.v. het water}$$

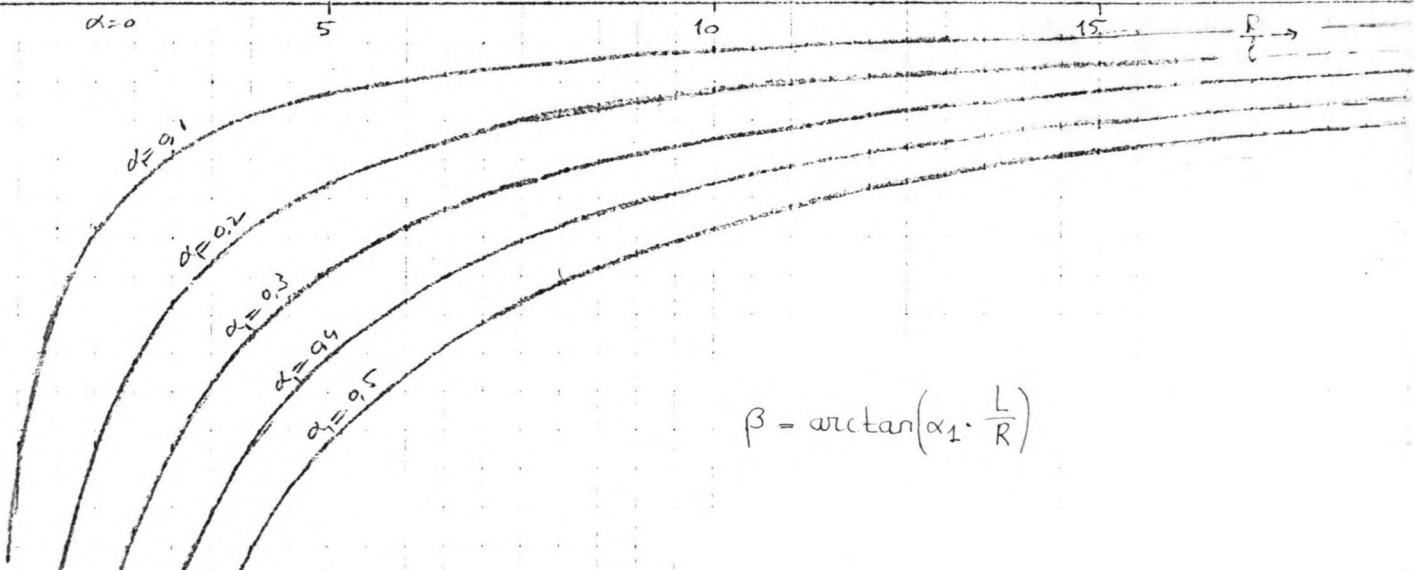
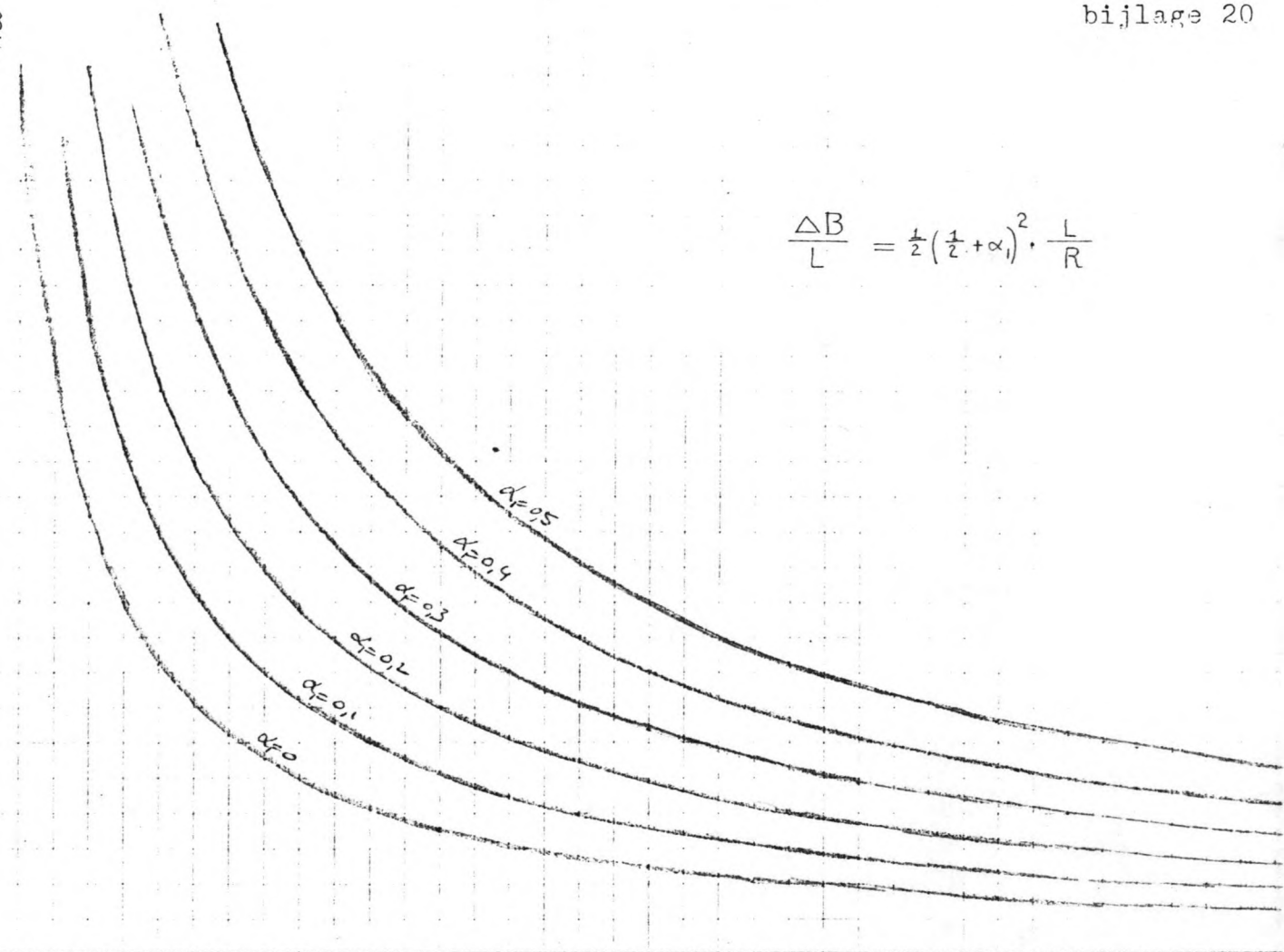
$$P = B + \Delta B$$

$$B_{F\phi} = B + B_{F\phi}^*$$

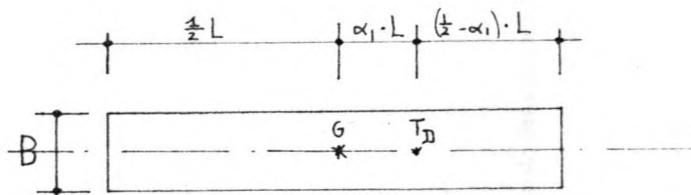
BRON : LIT. [15]

$\frac{\Delta B}{L}$

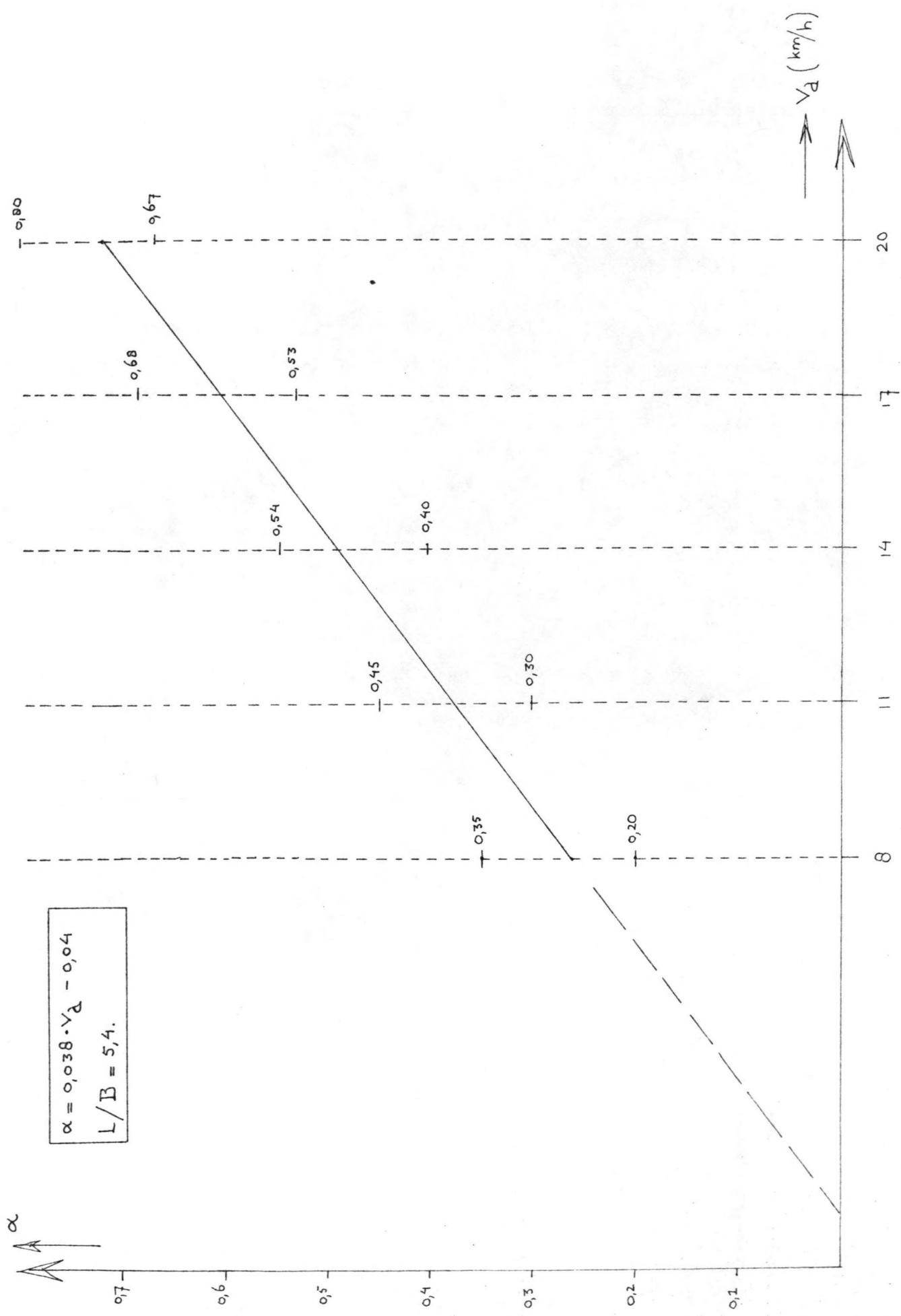
$$\frac{\Delta B}{L} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} + \alpha_1 \right)^2 \cdot \frac{L}{R}$$

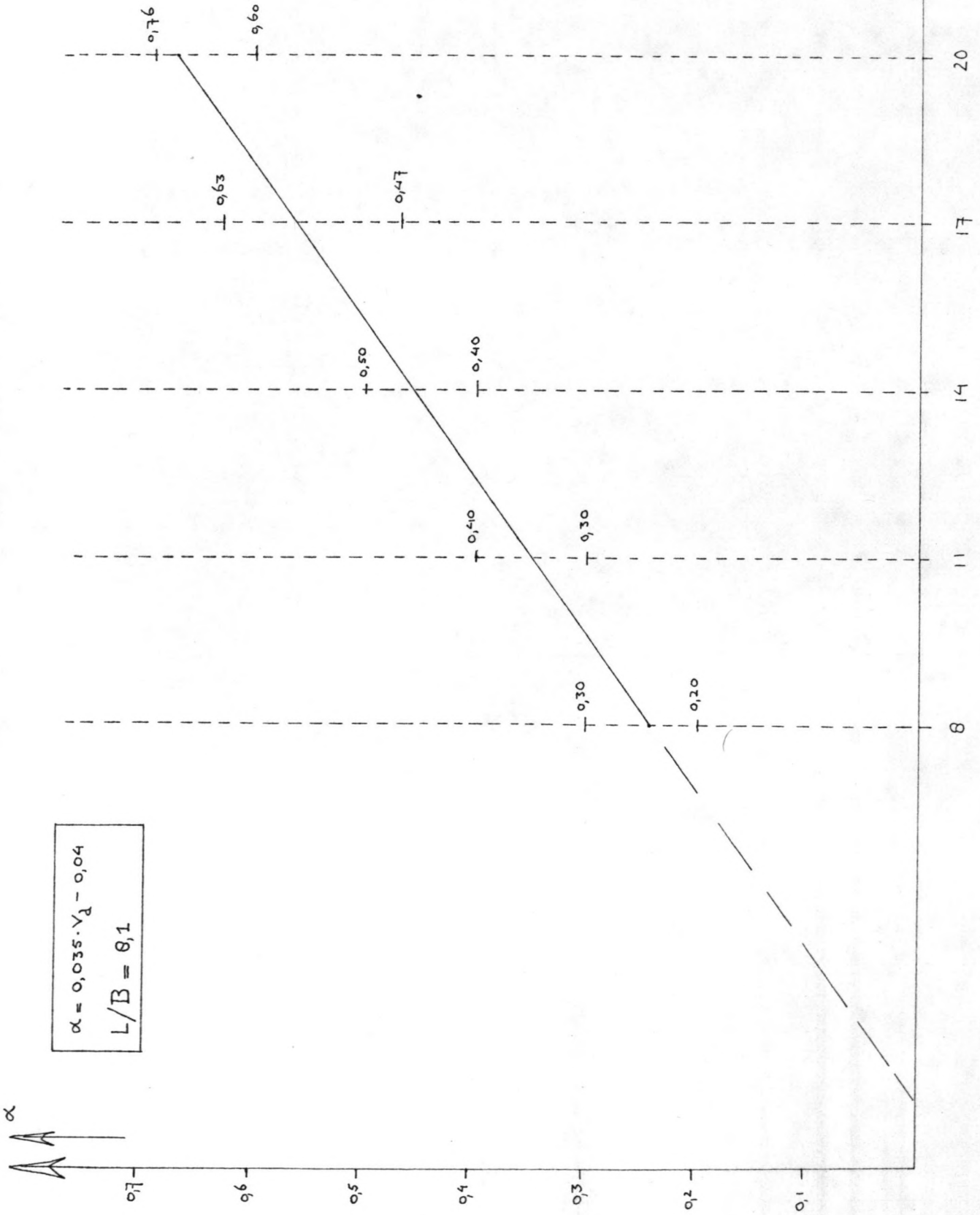


$$\beta = \arctan\left(\alpha_1 \cdot \frac{L}{R}\right)$$



voor geladen duweenheden: $0 \leq \alpha_1 \leq \frac{1}{2}$



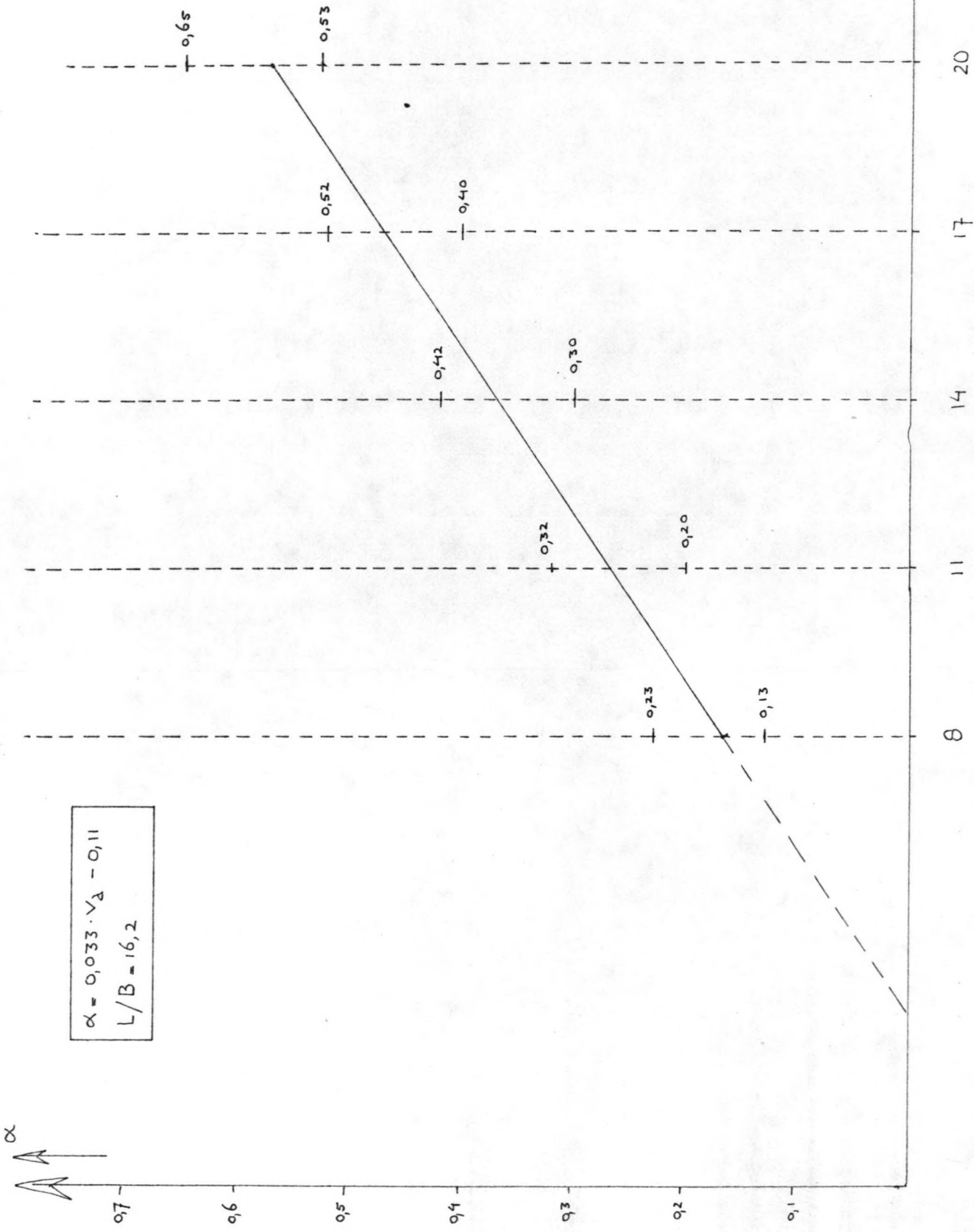


$\alpha = 0,035 \cdot V_d - 0,04$
 $L/B = 0,1$

α

V_d (km/h)

v_d (km/h)



$$\alpha = 0,033 \cdot v_d - 0,11$$

$$L/B = 16,2$$

α

***** CURVE FITTING *****

3 (<= aantal POSITIEVE coördinaten <= 100) ***** VOOR DE VOLGENDE CURVES:

X(1) = 8	Y(1) = .2	#1 LINEAIR	Y=B*X+A
X(2) = 8	Y(2) = .35	#2 EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B*X)
X(3) = 11	Y(3) = .3	#3 EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B/X)
X(4) = 11	Y(4) = .45	#4 MACHT VAN X	Y=A*X^B
X(5) = 14	Y(5) = .4	#5 LOGARITMISCH	Y=A+B*LOG(X)
X(6) = 14	Y(6) = .54	#6 HYPERBOLISCH	Y=B/X+A
X(7) = 17	Y(7) = .53	#7 NORM.VERDEELD	Y=A*EXP(-X*X*B)
X(8) = 17	Y(8) = .68		
X(9) = 20	Y(9) = .67		
X(10) = 20	Y(10) = .8		

#1	LINEAIR	Y=B*X+A	* CORR. COEFF. = .831342729
			A = -.0446666674
			B = .0383333334
#2	EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B*X)	CORR. COEFF. = .789668445
			A = .140447428
			B = .0842202935
#3	EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B/X)	CORR. COEFF. = .768136965
			A = 1.29973375
			B = -13.2016636
#4	MACHT VAN X	Y=A*X^B	CORR. COEFF. = .792703657
			A = .0260507571
			B = 1.10613957
#5	LOGARITMISCH	Y=A+B*LOG(X)	CORR. COEFF. = .800554112
			A = -.784690045
			B = .493107971
#6	HYPERBOLISCH	Y=B/X+A	CORR. COEFF. = .74403316
			A = .948666948
			B = -5.76365073
#7	NORM.VERDEELD	Y=A*EXP(-X*X*B)	CORR. COEFF. = .761511467
			A = .243918133
			B = -2.93030235E-03

***** CURVE FITTING *****

3 (<= aantal POSITIEVE coördinaten <= 100) ***** VOOR DE VOLGENDE CURVES:

X(1) = 8	Y(1) = .2	#1 LINEAIR	Y=B*X+A
X(2) = 8	Y(2) = .3	#2 EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B*X)
X(3) = 11	Y(3) = .3	#3 EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B/X)
X(4) = 11	Y(4) = .4	#4 MACHT VAN X	Y=A*X^B
X(5) = 14	Y(5) = .4	#5 LOGARITMISCH	Y=A+B*LOG(X)
X(6) = 14	Y(6) = .5	#6 HYPERBOLISCH	Y=B/X+A
X(7) = 17	Y(7) = .47	#7 NORM.VERDEELD	Y=A*EXP(-X*X*B)
X(8) = 17	Y(8) = .63		
X(9) = 20	Y(9) = .6		
X(10) = 20	Y(10) = .76		

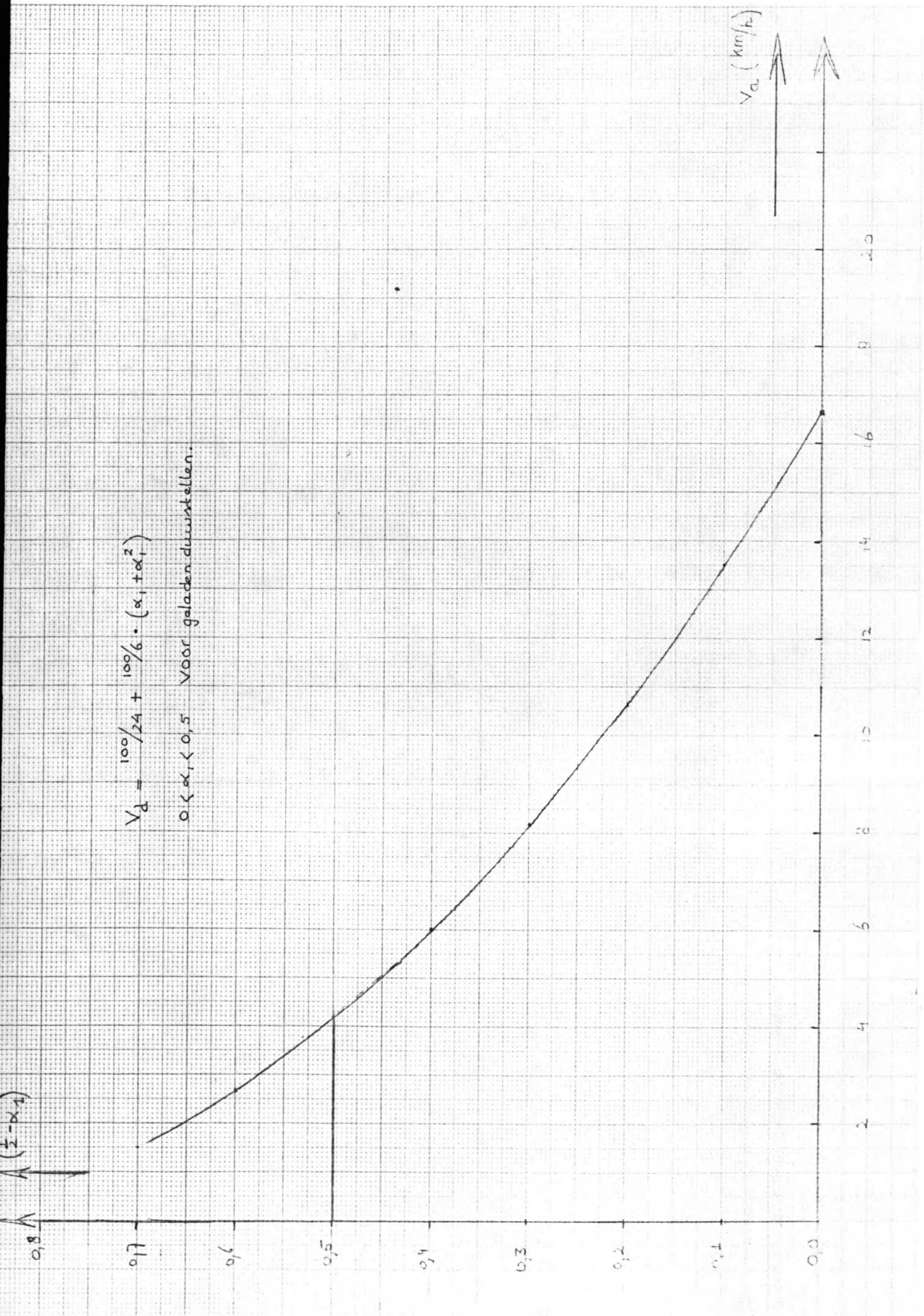
#1	LINEAIR	Y=B*X+A	CORR. COEFF. = .844685005
			A = -.03866666654
			B = .03533333333
#2	EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B*X)	CORR. COEFF. = .838689776
			A = .133753008
			B = .0826583666
#3	EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B/X)	CORR. COEFF. = .830711551
			A = 1.19887232
			B = -13.0745347
#4	MACHT VAN X	Y=A*X^B	* CORR. COEFF. = .849340366
			A = .025281773
			B = 1.09040333
#5	LOGARITMISCH	Y=A+B*LOG(X)	CORR. COEFF. = .819822529
			A = -.725410239
			B = .456307158
#6	HYPERBOLISCH	Y=B/X+A	CORR. COEFF. = .76856152
			A = .880417647
			B = -5.35662826
#7	NORM.VERDEELD	Y=A*EXP(-X*X*B)	CORR. COEFF. = .802716342
			A = .230458398
			B = -2.86514791E-03

***** CURVE FITTING *****

3 (< aantal POSITIEVE coördinaten <= 100) ***** VOOR DE VOLGENDE CURVES:

X(1) = 8	Y(1) = .13	#1 LINEAIR	Y=B*X+A
X(2) = 8	Y(2) = .23	#2 EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B*X)
X(3) = 11	Y(3) = .2	#3 EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B/X)
X(4) = 11	Y(4) = .32	#4 MACHT VAN X	Y=A*X^B
X(5) = 14	Y(5) = .3	#5 LOGARITMISCH	Y=A+B*LOG(X)
X(6) = 14	Y(6) = .42	#6 HYPERBOLISCH	Y=B/X+A
X(7) = 17	Y(7) = .4	#7 NORM. VERDEELD	Y=A*EXP(-X*X*B)
X(8) = 17	Y(8) = .52		
X(9) = 20	Y(9) = .53		
X(10) = 20	Y(10) = .65		

#1	LINEAIR	Y=B*X+A	* CORR. COEFF. = .854889065
			A = -.105999997
			B = .0339999998
#2	EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B*X)	CORR. COEFF. = .820396185
			A = .0810835753
			B = .101118771
#3	EXPONENTIEEL	Y=A*EXP(B/X)	CORR. COEFF. = .804049848
			A = 1.17820367
			B = -15.9102288
#4	MACHT VAN X	Y=A*X^B	CORR. COEFF. = .826874761
			A = .0106516336
			B = 1.33076072
#5	LOGARITMISCH	Y=A+B*LOG(X)	CORR. COEFF. = .821276088
			A = -.761025021
			B = .436846402
#6	HYPERBOLISCH	Y=B/X+A	CORR. COEFF. = .761403289
			A = .774062277
			B = -5.09972058
#7	NORM. VERDEELD	Y=A*EXP(-X*X*B)	CORR. COEFF. = .787888615
			A = .157556919
			B = -3.5110113E-03



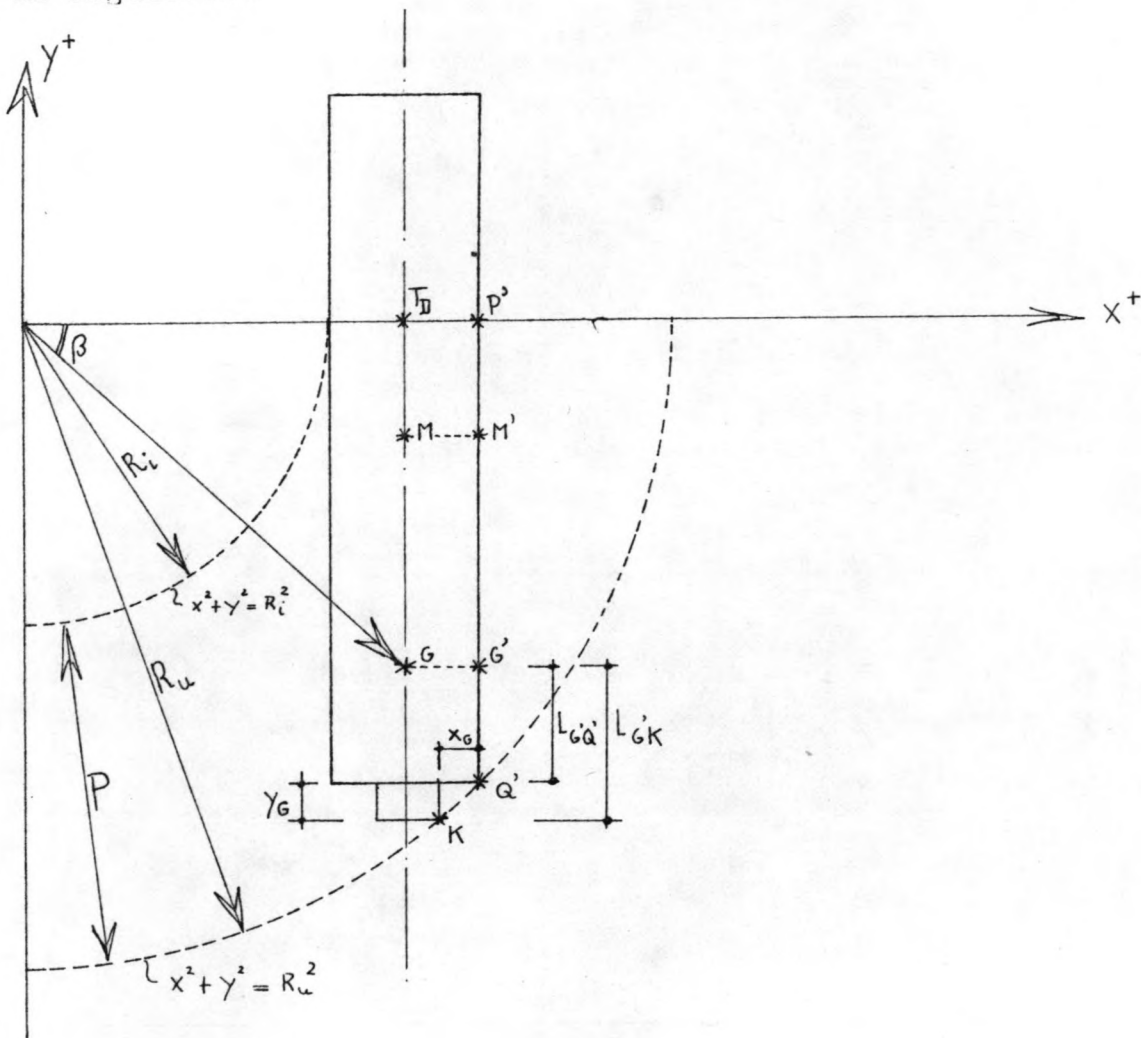
$$V_d = \frac{100}{24} + \frac{100}{6} \cdot (\alpha_1 + \alpha_1^2)$$

$0 < \alpha_1 < 0,5$ VOOR geladen diuistellen.

$\frac{1}{2} - \alpha_1$

v_a (km/h)

Berekening van de drifthoek β uit de benodigde padbreedte en omgekeerd.



Bij deze afleiding gaan we ervan uit, dat het tactisch draaipunt binnen de lengteafmetingen van het schip valt. Voor de meeste gevallen is dit een redelijke aanname, hoewel voor ongeladen duwstollen het tactisch draaipunt nogal eens buiten het schip (vóór de boeg) zal vallen. De coördinaten van bovenstaande punten op het schip laten zich als volgt beschrijven:

$$\begin{aligned}
 P' &= (R_i + B, 0) \\
 M' &= (R_i + B, -\left[R_u^2 - (R_i + B)^2\right]^{\frac{1}{2}} + L_{G'Q'} + L_{M'G'}) \\
 G' &= (R_i + B, -\left[R_u^2 - (R_i + B)^2\right]^{\frac{1}{2}} + L_{G'Q'}) \\
 Q' &= (R_i + B, -\left[R_u^2 - (R_i + B)^2\right]^{\frac{1}{2}}) \\
 K &= (R_i + B - x_G, -\left[R_u^2 - (R_i + B - x_G)^2\right]^{\frac{1}{2}})
 \end{aligned}$$

Er kunnen zich nu twee afzonderlijke situaties voordoen:

1. De duwbak grenst aan de buitenste cirkel.

De evenwichtsdrifthoek is dan:

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{R_u^2 - (R_i + B)^2} - L_G' a'}{R_i + \frac{1}{2} \cdot B} ; \quad R_u = R_i + P$$

In dit geval valt dus het uiterste puntje van de duwboot, punt K, binnen de buitenste cirkel. Hierop is de volgende controle mogelijk:

$$y_G \leq \sqrt{R_u^2 - (R_i + B - x_G)^2} - \sqrt{R_u^2 - (R_i + B)^2}$$

2. De duwboot grenst aan de buitenste cirkel.

De evenwichtsdrifthoek is dan:

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{R_u^2 - (R_i + B - x_G)^2} - L_G' k}{R_i + \frac{1}{2} B}$$

Op bovenstaande wijze is dus de drifthoek β af te leiden uit de benodigde padbreedte P. Andersom kan ook de padbreedte uit de benodigde drifthoek worden bepaald, waarop weer de volgende twee situaties zich voordoen:

1. De duwbak grenst aan de buitenste cirkel.

De benodigde padbreedte is dan:

$$P = \sqrt{\left[(R_i + \frac{1}{2} B) \cdot \tan \beta + L_G' a' \right]^2 + (R_i + B)^2} - R_i$$

De controle vindt plaats middels dezelfde formule als hierboven. Als deze weer niet geldt, dan hebben we kennelijk te maken met de volgende situatie:

2. De duwboot grenst aan de buitenste cirkel.

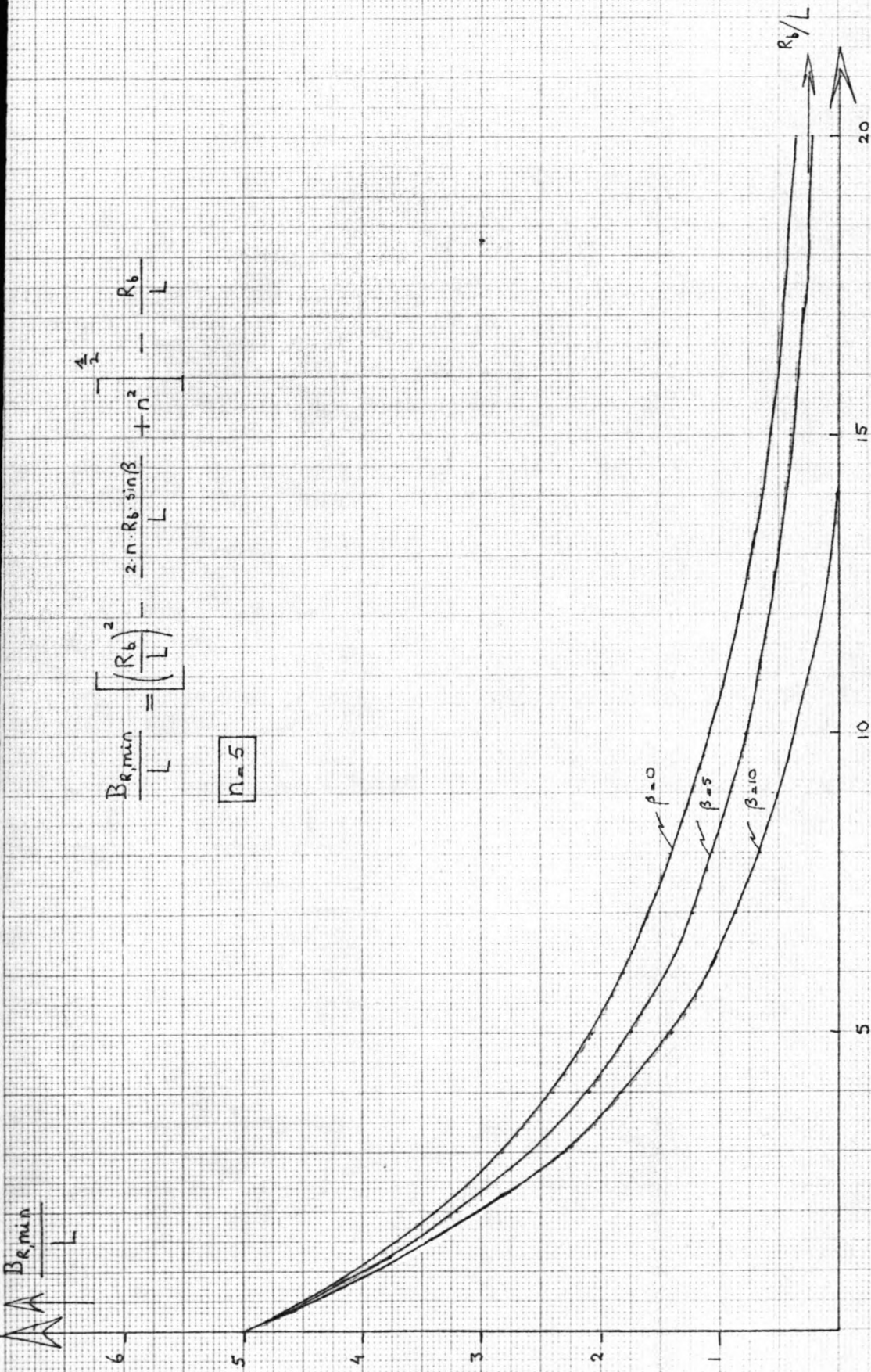
De benodigde padbreedte is dan:

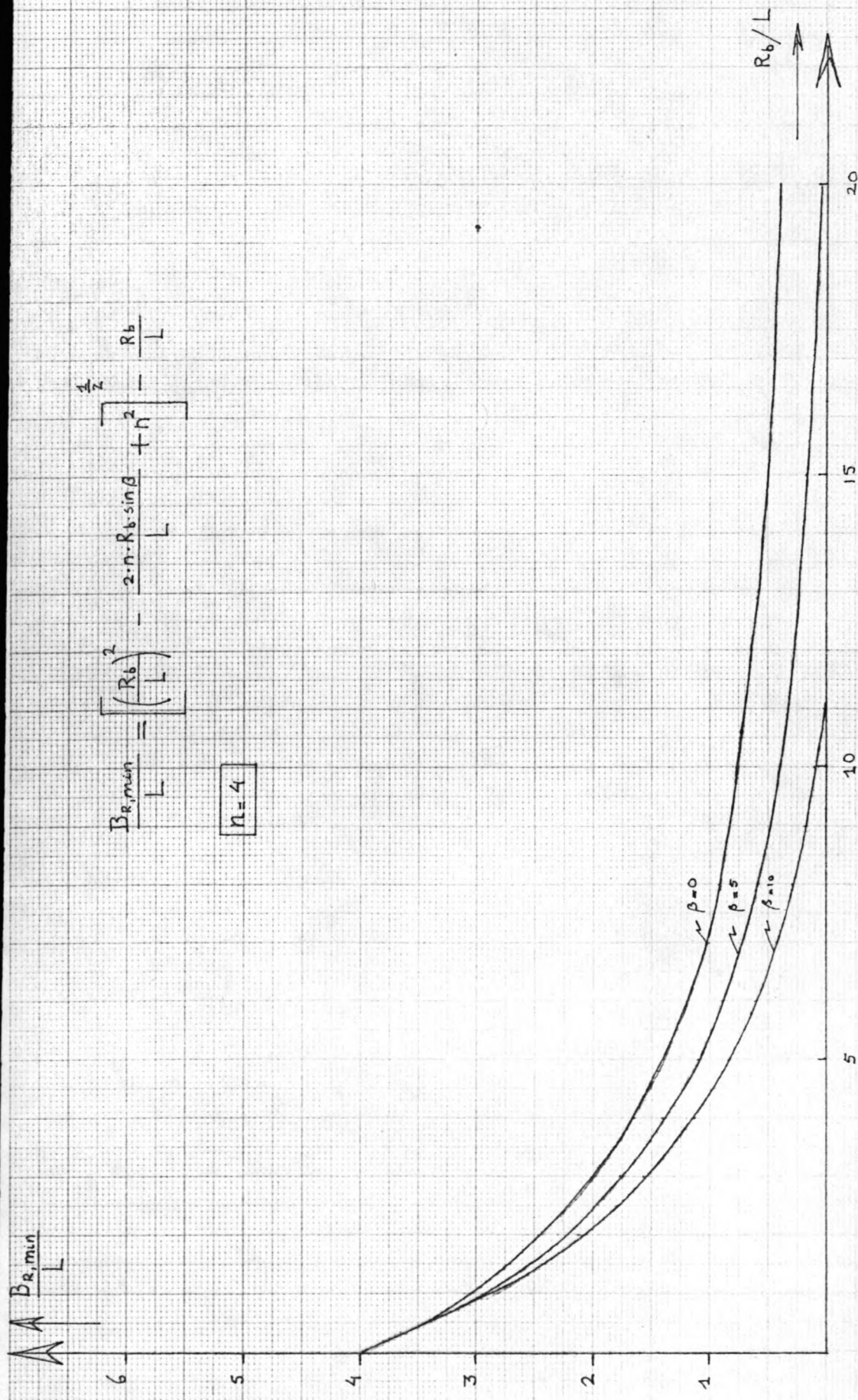
$$P = \sqrt{\left[(R_i + \frac{1}{2} B) \cdot \tan \beta + L_G' k \right]^2 + (R_i + B - x_G)^2} - R_i$$

Het uiterste puntje van de duwbak, punt Q', valt dan binnen de buitenste cirkel.

$$\frac{B_{\text{min}}}{L} = \left[\left(\frac{R_b}{L} \right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot R_b \cdot \sin \beta}{L} + n^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{R_b}{L}$$

$n=5$

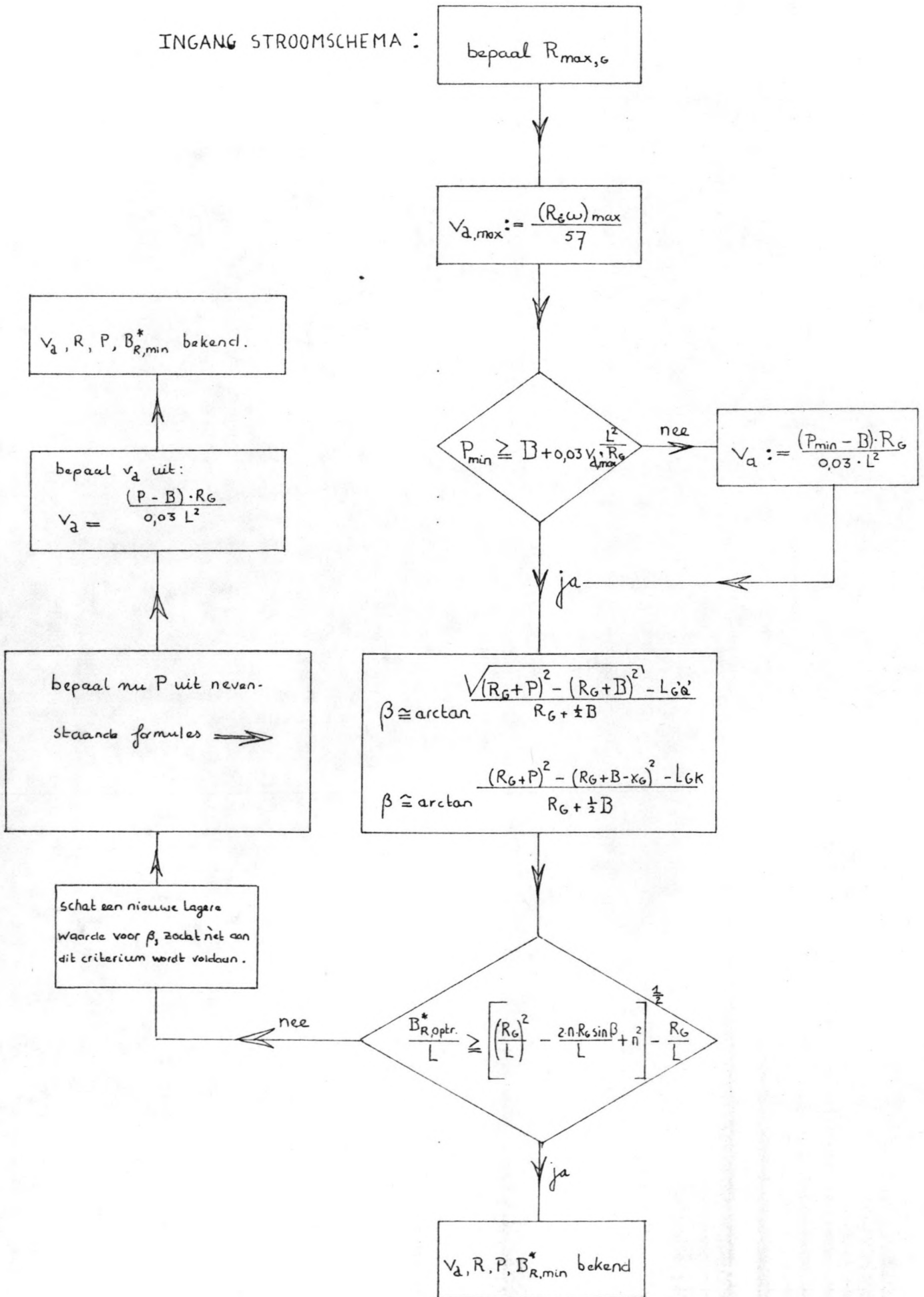




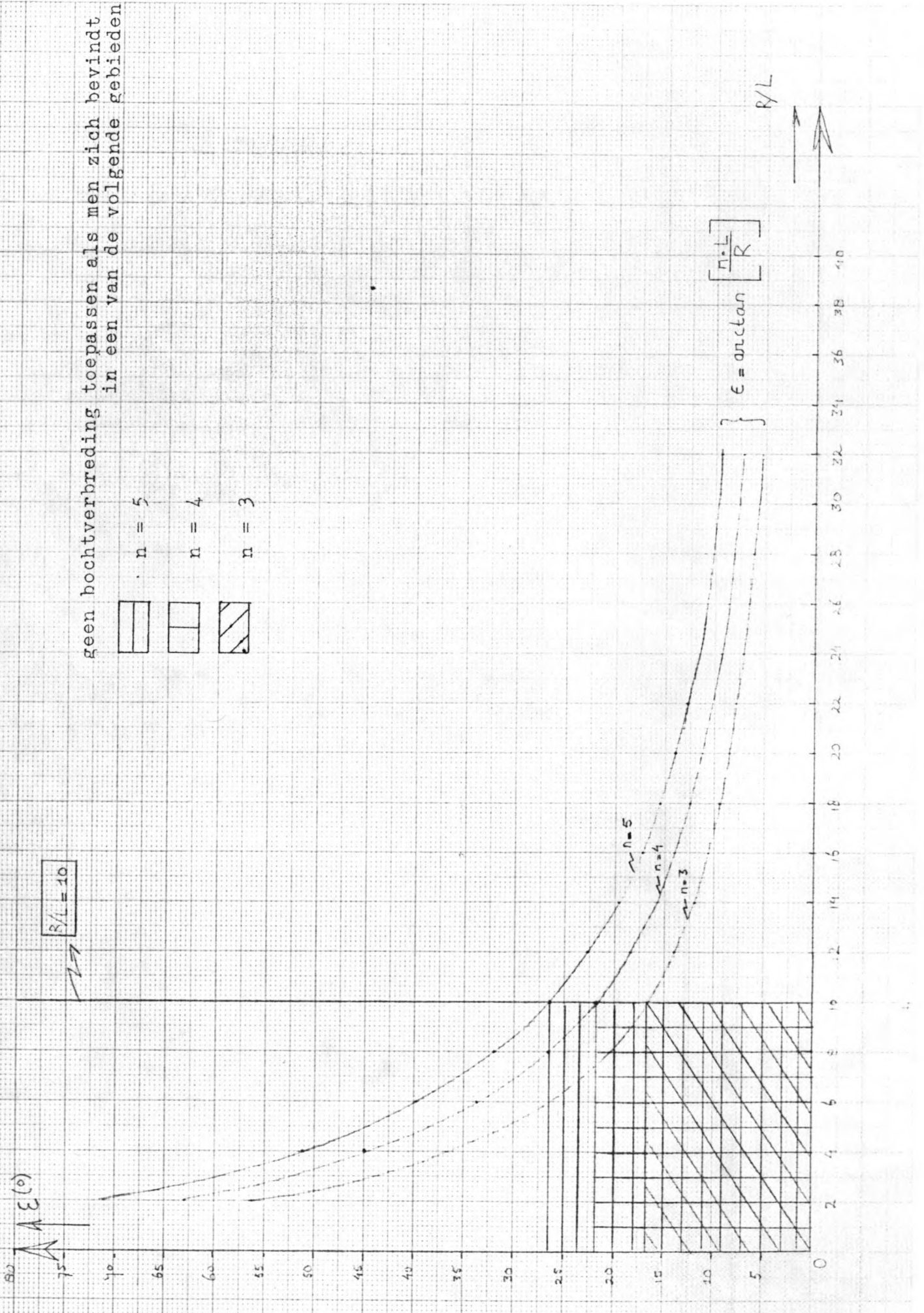
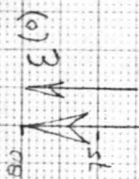
$$\frac{B_{R,min}}{L} = \left[\left(\frac{R_b}{L} \right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot R_b \cdot \sin \beta}{L} + n^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{R_b}{L}$$

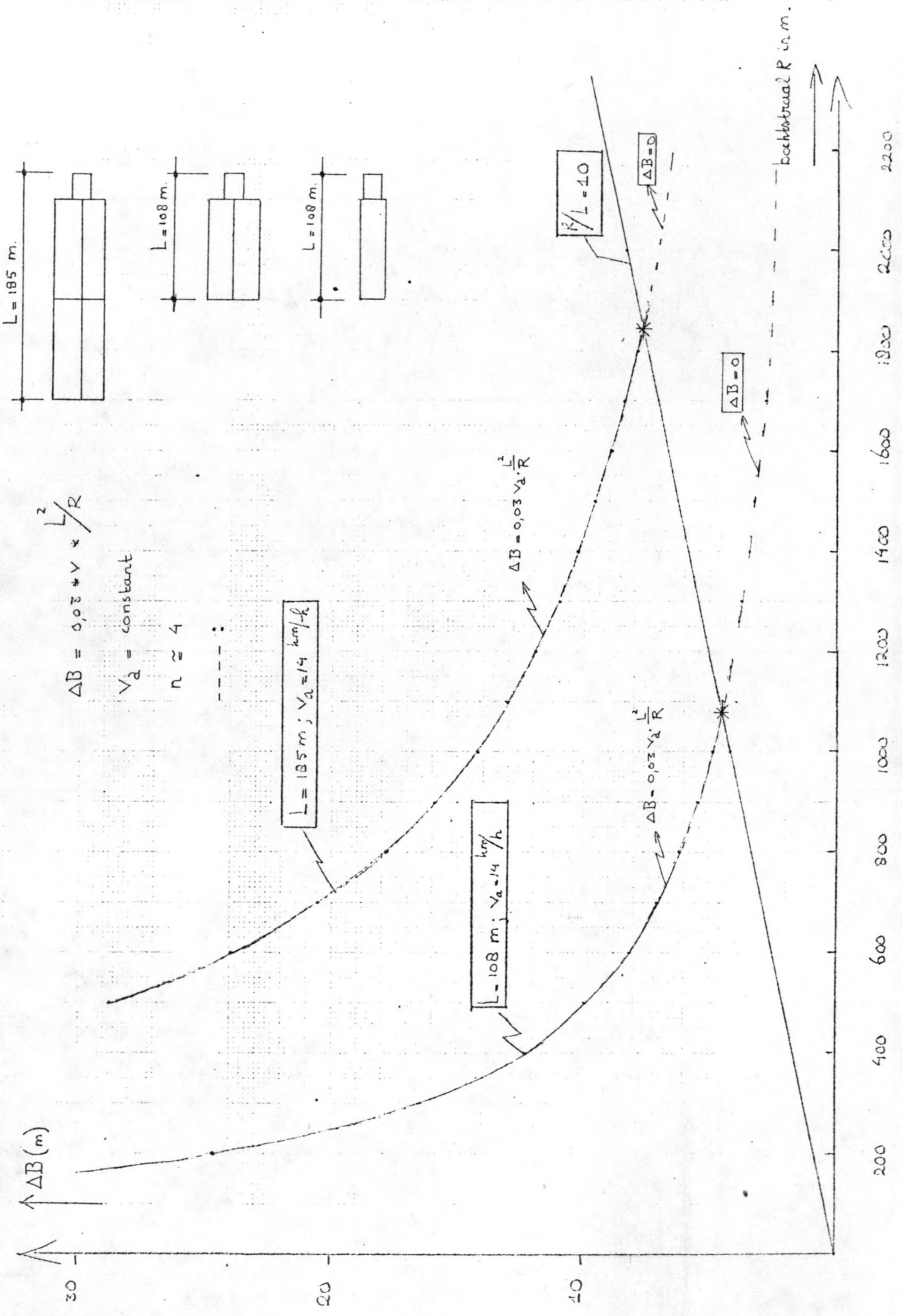
$n=4$

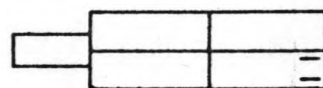
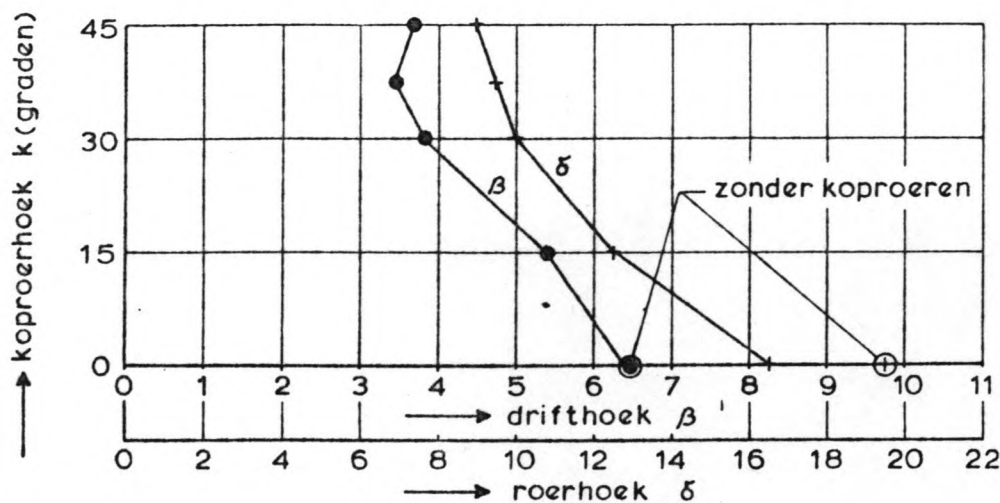
INGANG STROOMSCHEMA :



geen bochtverbreding toepassen als men zich bevindt in een van de volgende gebieden:

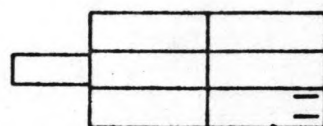
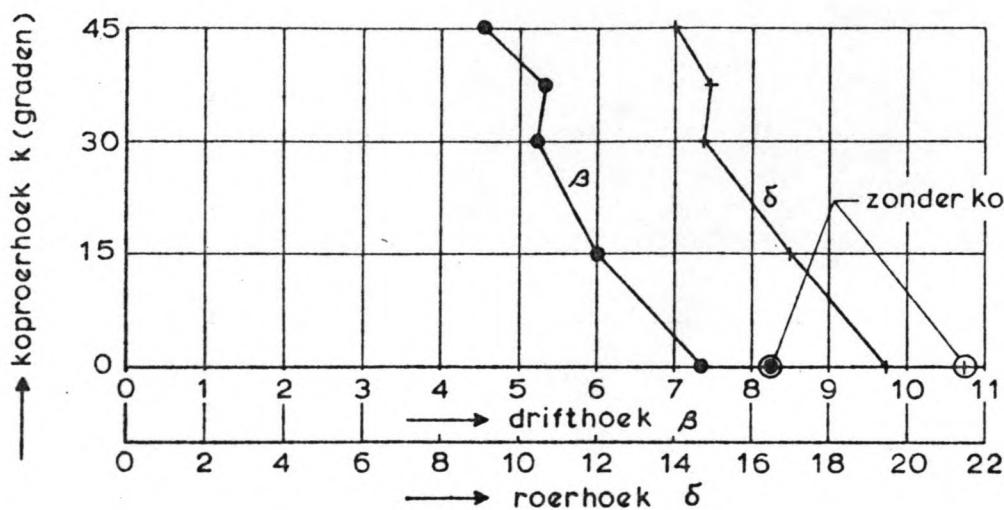






Formatie 3

(A)



Formatie 5

(B)

$V_s = 2 \text{ m/s}$ (mee)

$V_r = 4 \text{ m/s}$

$h = 4,2 \text{ m}$

$T = 0,7 \text{ m}$

gladde koproeren

N.B: δ = stand hoofdrozen

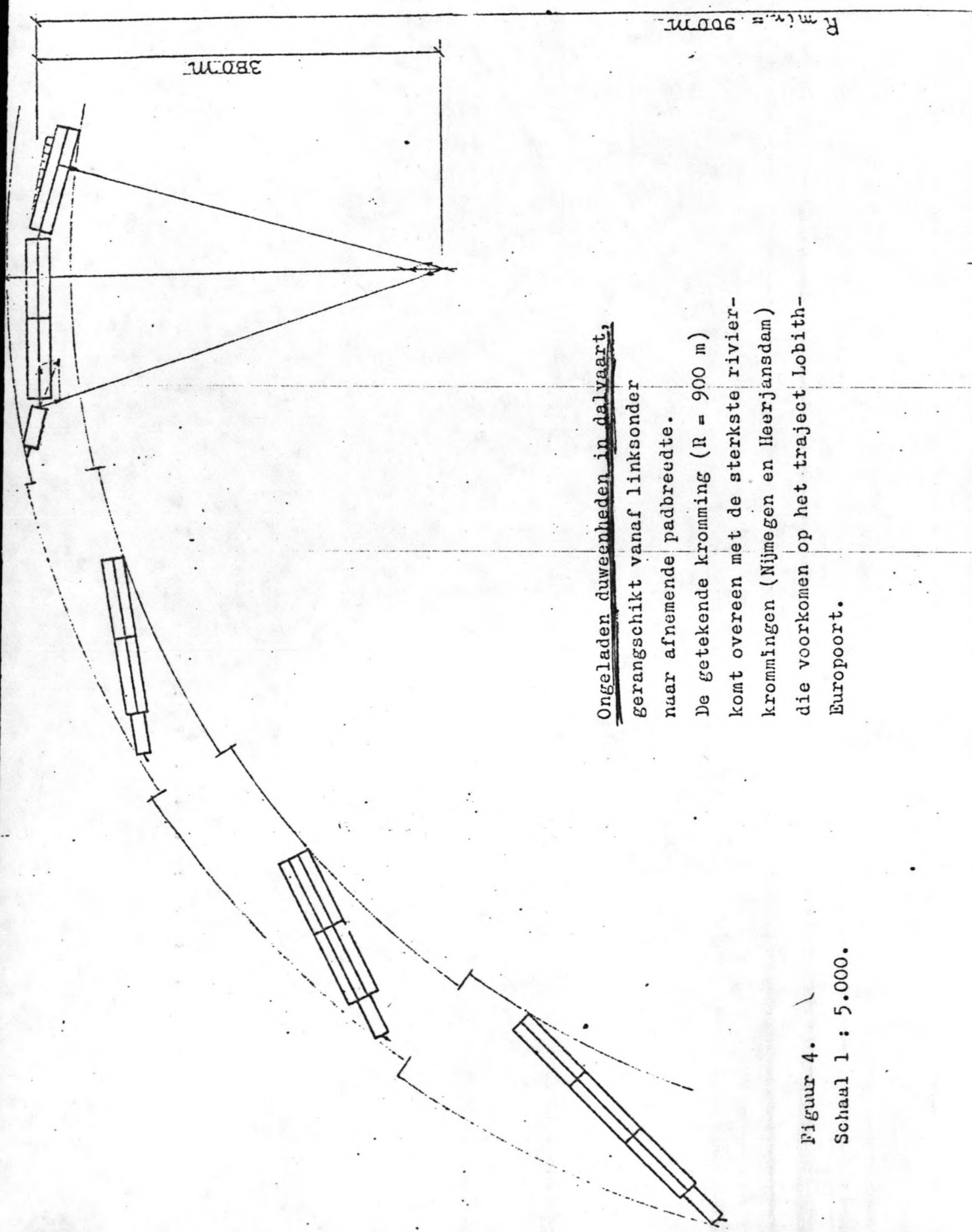
k = stand koproeren

INVLOED VAN KOPROEREN OP
DRIFTHOEK β EN ROERHOEK δ

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

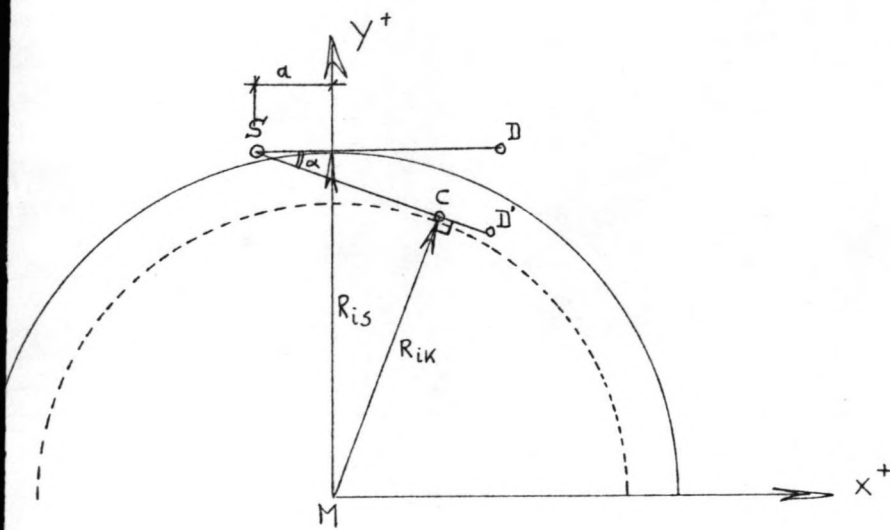
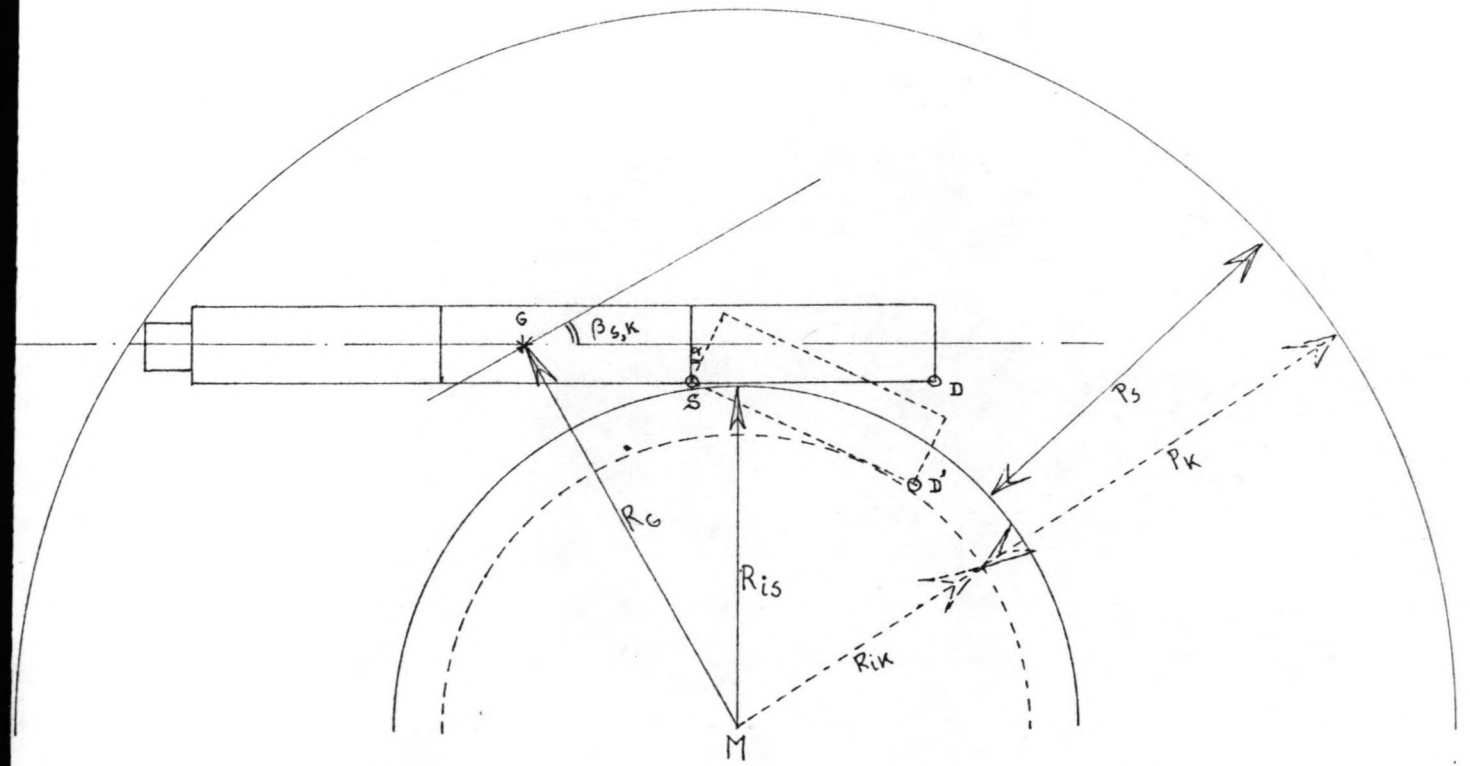
M 1240-III

Ontw. Proj.: Duwvaart met gebr. making van knikbest.
Raming kosten ertsvervoer Europoort - Duisburg.



Ongeladen duweenheden in dalvaart,
gerangschikt vanaf links onder
naar afnemende padbreedte.
De getekende kromming (R = 900 m)
komt overeen met de sterkste rivier-
krommingen (Nijmegen en Heerjansdam)
die voorkomen op het traject Lobith-
Europoort.

Figuur 4.
Schaal 1 : 5.000.



vergelijking SD : $y = -\tan \alpha \cdot x + R_{is} - a \cdot \tan \alpha$

vergelijking MC : $y = x / \tan \alpha$

coördinaten punt C: $(x, y) = \left(\frac{R_{is} \cdot \tan \alpha - a \tan^2 \alpha}{\tan^2 \alpha + 1}, \frac{R_{is} - a \tan \alpha}{\tan^2 \alpha + 1} \right)$

bglage 2g : padbreedte star = $P_s = \left[\left[(R_{is} \pm B) \cdot \tan \beta_s + L_G \cdot a' \right]^2 + (R_{is} + B)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$

bglage 2g : padbreedte geknikt = $P_k = \left[\left[(R_{is} \pm B) \cdot \tan \beta_k + L_G \cdot a' \right]^2 + (R_{is} + B)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \Delta P_k$

extra padbreedte $\Delta P_k = - \left\{ \left[\frac{R_{is} \cdot \tan \alpha - a \tan^2 \alpha}{\tan^2 \alpha + 1} \right]^2 + \left[\frac{R_{is} - a \tan \alpha}{\tan^2 \alpha + 1} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + R_{is}$
 (t.g.v. het afknikken)

Om een indruk te krijgen, welke reductie van de drijfhoek β dient te worden bereikt om het negatieve effect van de toegenomen padbreedte o.g.v. de geometrie, teniet te doen zal nu een specifiek voorbeeld worden behandeld:

Stel: * 2-boksdruwaart in de bocht bij Gorssel. ($R = 355 \text{ m}$)

* $L = 17,2 \text{ m}$; $B = 11,4 \text{ m}$.

* $\omega_{\max} \hat{=} 0,45 \text{ }^\circ/\text{sec}$.

$$R_{is} \hat{=} R = 355 \text{ m}; \quad v_{a,\max} = \omega_{\max} \cdot R = 0,45 \cdot 355 \cdot \frac{3,6}{57} = 10,1 \text{ km/h}$$

$$P = 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{L^2}{R} + B = 0,03 \cdot 10,1 \cdot \frac{(17,2)^2}{355} + 11,4 = 36,7 \text{ m}$$

Stel ongeladen opwaart: $L_{GK} = 90,94 \text{ m}$. (zie hoofdstuk 6.3).

m.b.v. bijlage 2g volgt dan: ($x_0 = 0,575 \text{ m}$)

$$\beta_s = \arctan \frac{\sqrt{(391,7)^2 - (355 + 11,4 - 0,575)^2} - 90,94}{355 + \frac{1}{2} \cdot 11,4} = 7,7^\circ$$

Stel: $\alpha = 5^\circ$ en $a \hat{=} 48 \text{ m}$. ($T_D = 1/6 \cdot L$ van de boeg). dan volgt (zie bijlage 37)

$$\Delta P_k = 355 - \left\{ \left[\frac{355 \cdot \tan(5^\circ) - 48 \cdot \tan^2(5^\circ)}{\tan^2(12^\circ) + 1} \right]^2 + \left[\frac{355 - 48 \cdot \tan^2(5^\circ)}{\tan^2(5^\circ) + 1} \right]^2 \right\}^{1/2} = 5,5 \text{ m}$$

dus:

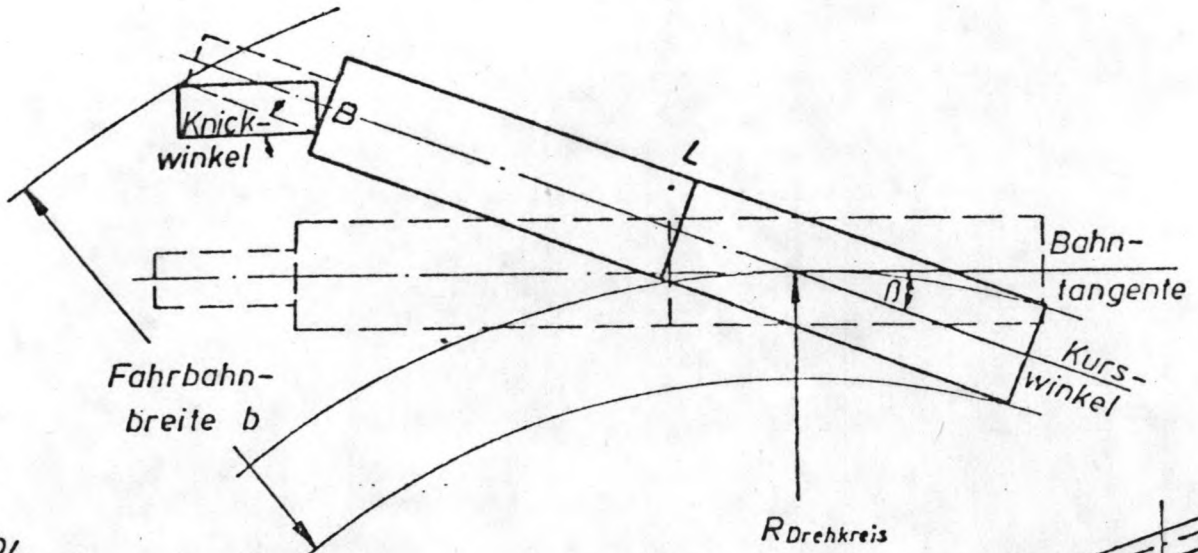
$$P_k = P_s - \Delta P_k = 36,7 - 5,5 = 31,2 \text{ m}$$

waarmee m.b.v. bijlage 2g weer volgt:

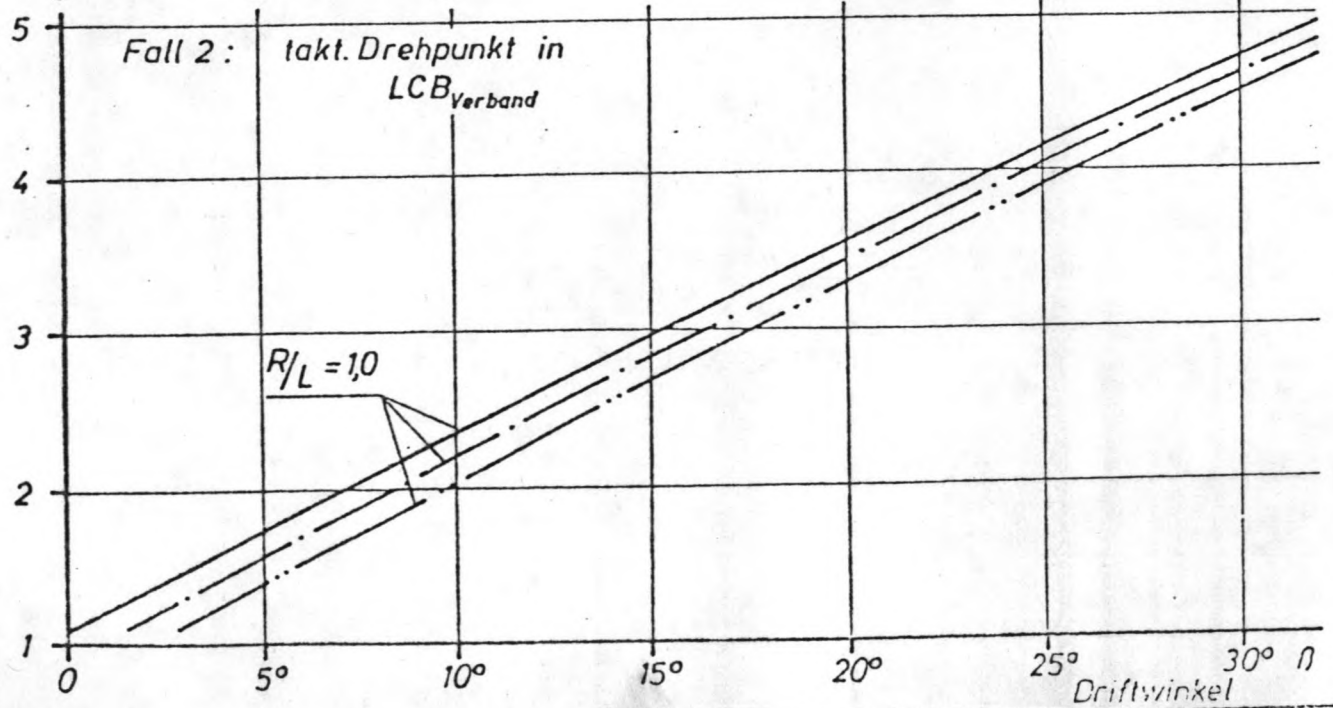
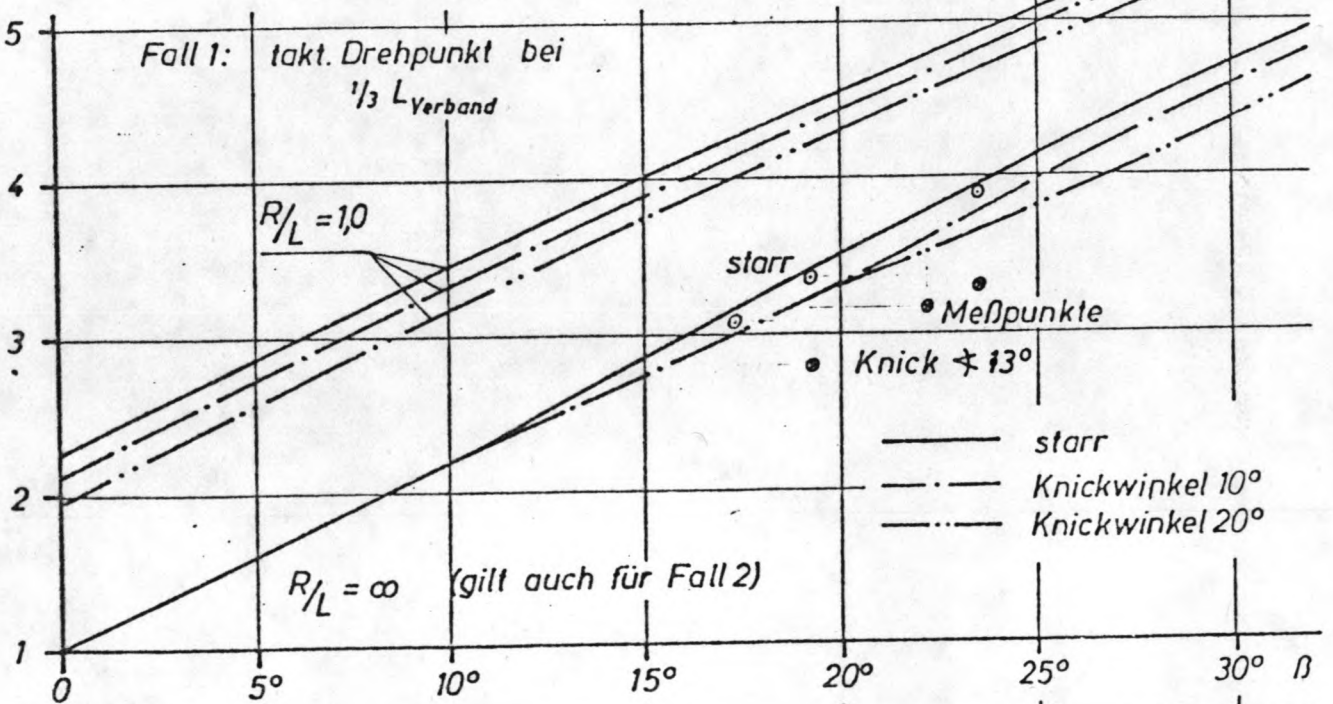
$$\beta_k = \arctan \frac{(386,2)^2 - (355 + 11,4 - 0,575)^2 - 90,94}{355 + \frac{1}{2} \cdot 11,4} = 5,2^\circ$$

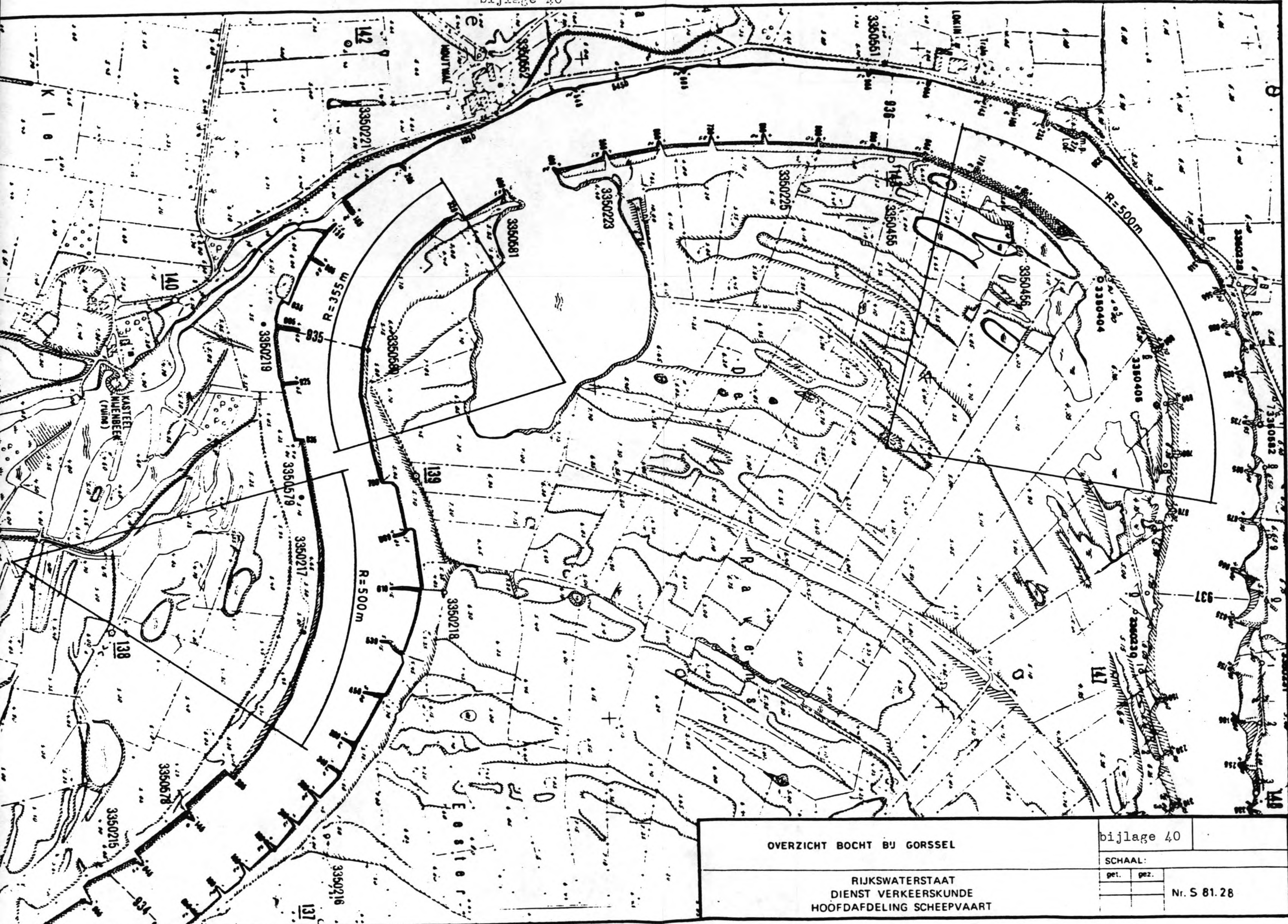
m.a.w. er dient een reductie van $\frac{7,7 - 5,2}{7,7} \cdot 100\% \hat{=} 35\%$ te worden bereikt om alléén nog maar het negatieve effect van de toename van de padbreedte o.g.v. de geometrie teniet te doen. Dit geldt voor bovenstaande specifieke situatie. Men kan één en ander voor verschillende waarden van de krikhoek α en plaatsen van het tactisch draaipunt berekenen, doch er mag worden verwacht dat de reductie in β te groot dient te zijn om in de praktijk te realiseren!

Geometrisch ermittelte Fahrbahnbreite
in Abhängigkeit vom Driftwinkel



$f = b/B$





OVERZICHT BOCHT BIJ GORSSEL

bijlage 40

SCHAAL:

get.	gez.

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

Nr. S 81.28

BREEDTE TUSSEN DE DIEPTELIJNEN
O.L.R. - 2,50 m EN O.L.R. - 2,0 m

bijlage 41

SCHAAL: 1: 2500

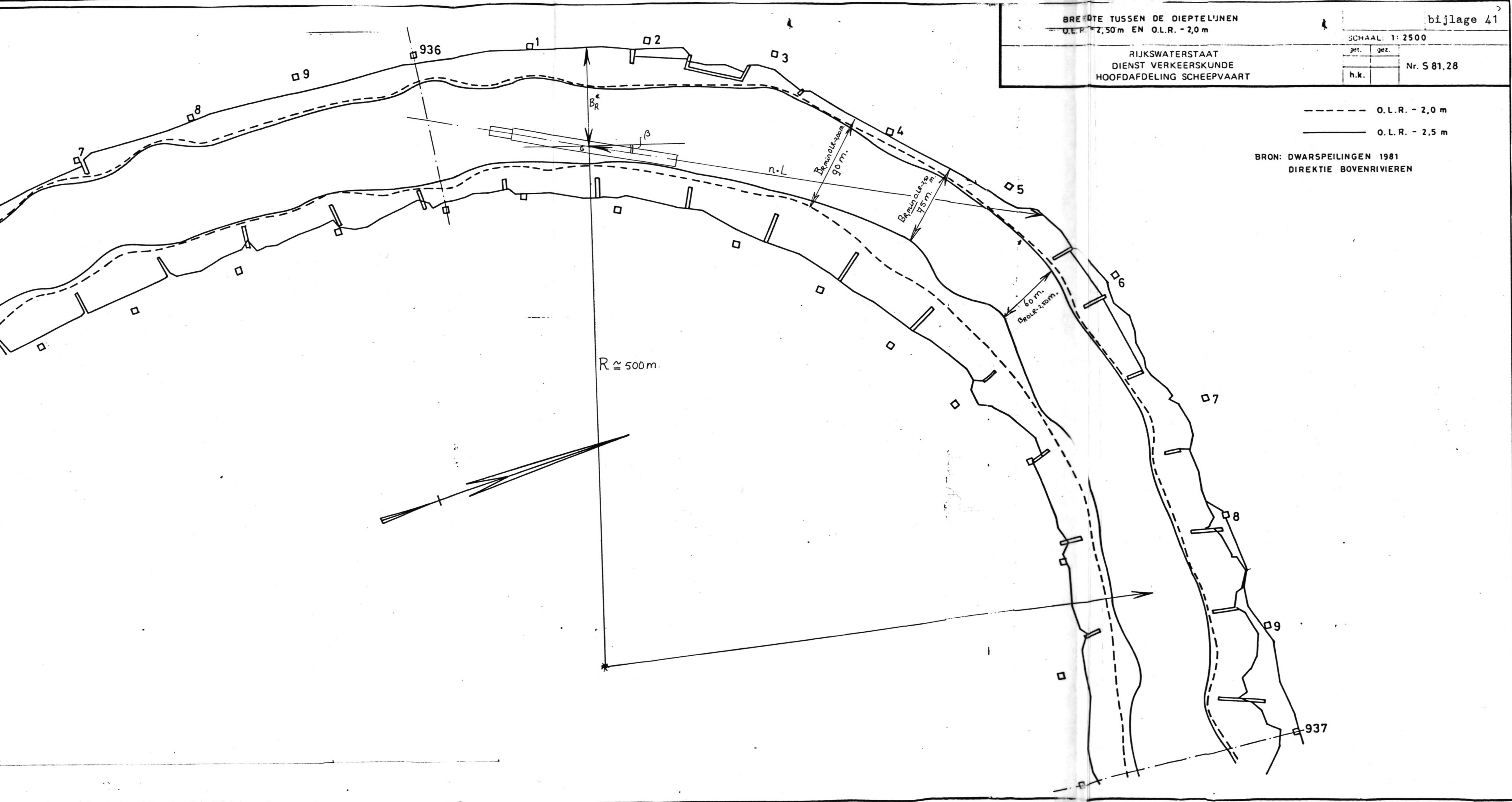
RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

get.	gez.
h.k.	

Nr. S 81.28

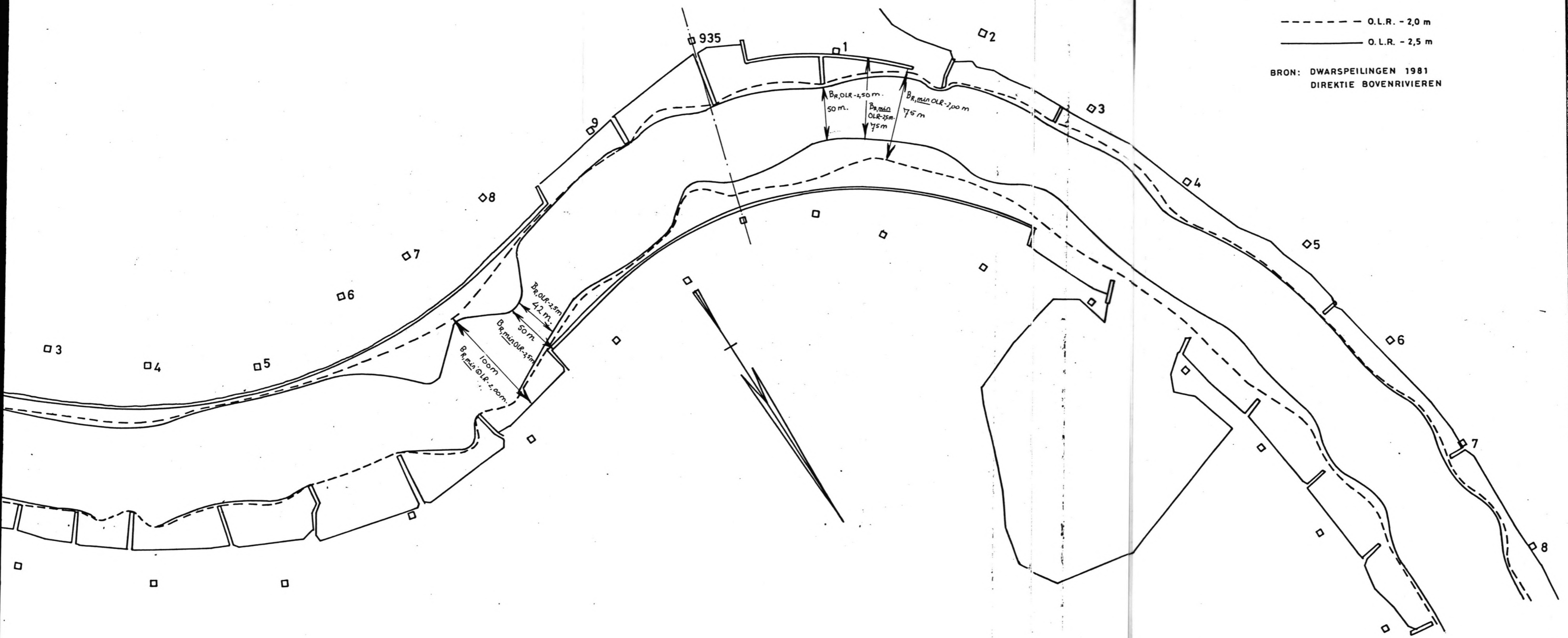
----- O.L.R. - 2,0 m
————— O.L.R. - 2,5 m

BRON: DWARSPÉILINGEN 1981
DIREKTIE BOVENRIVIEREN

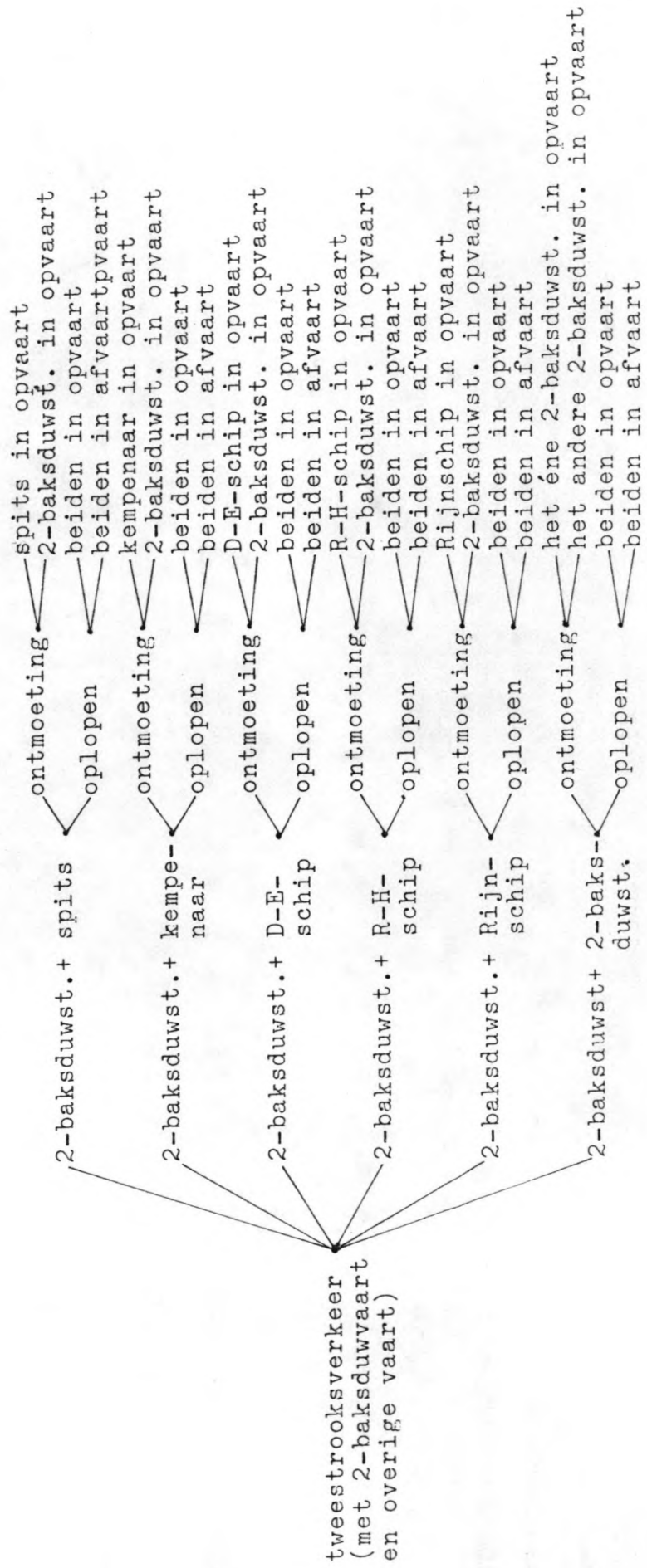
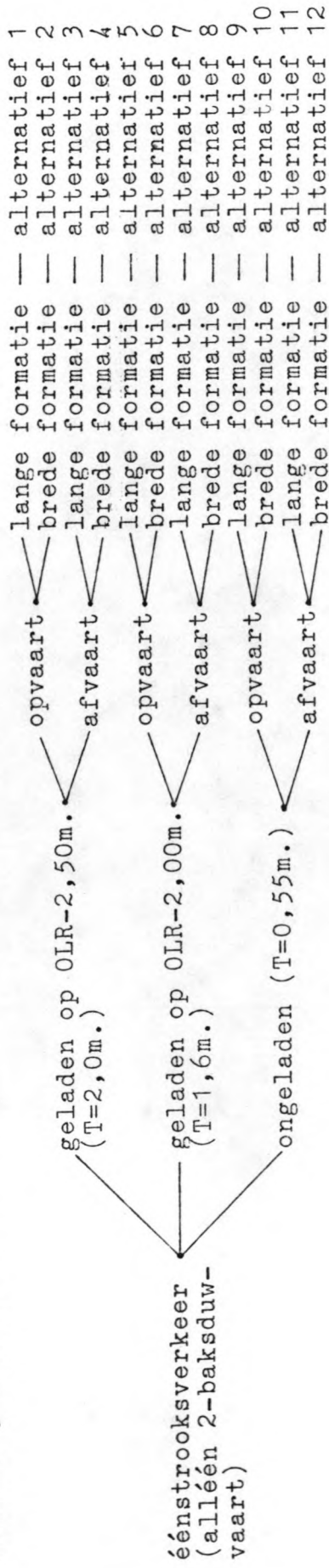


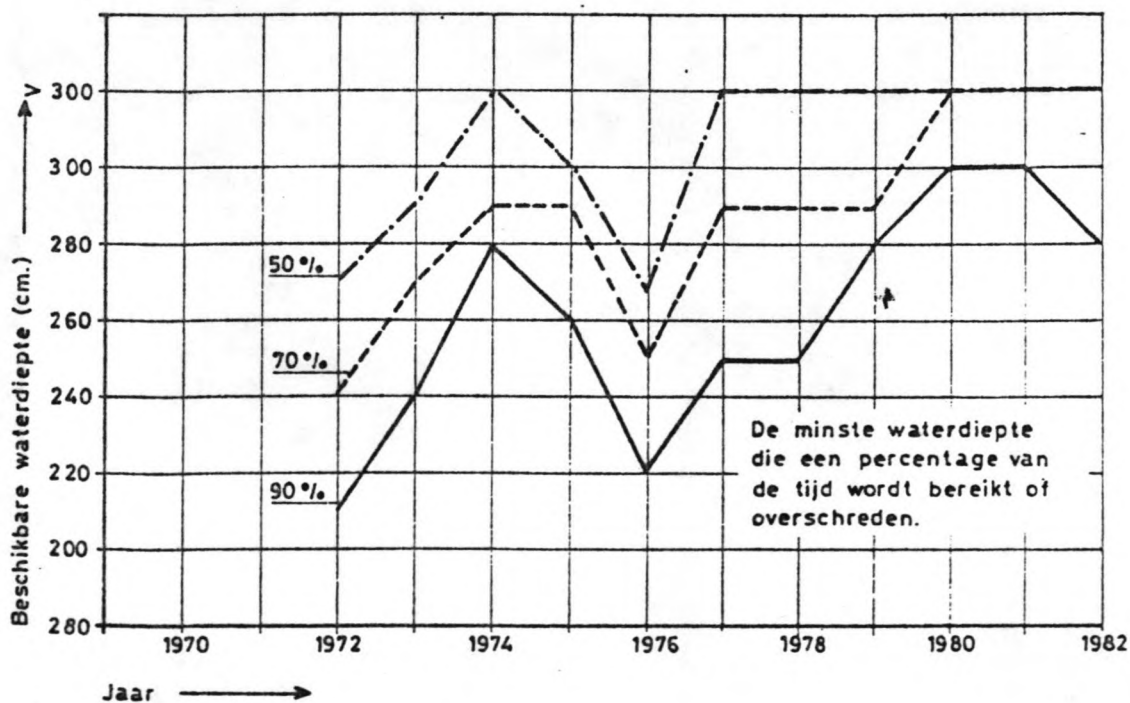
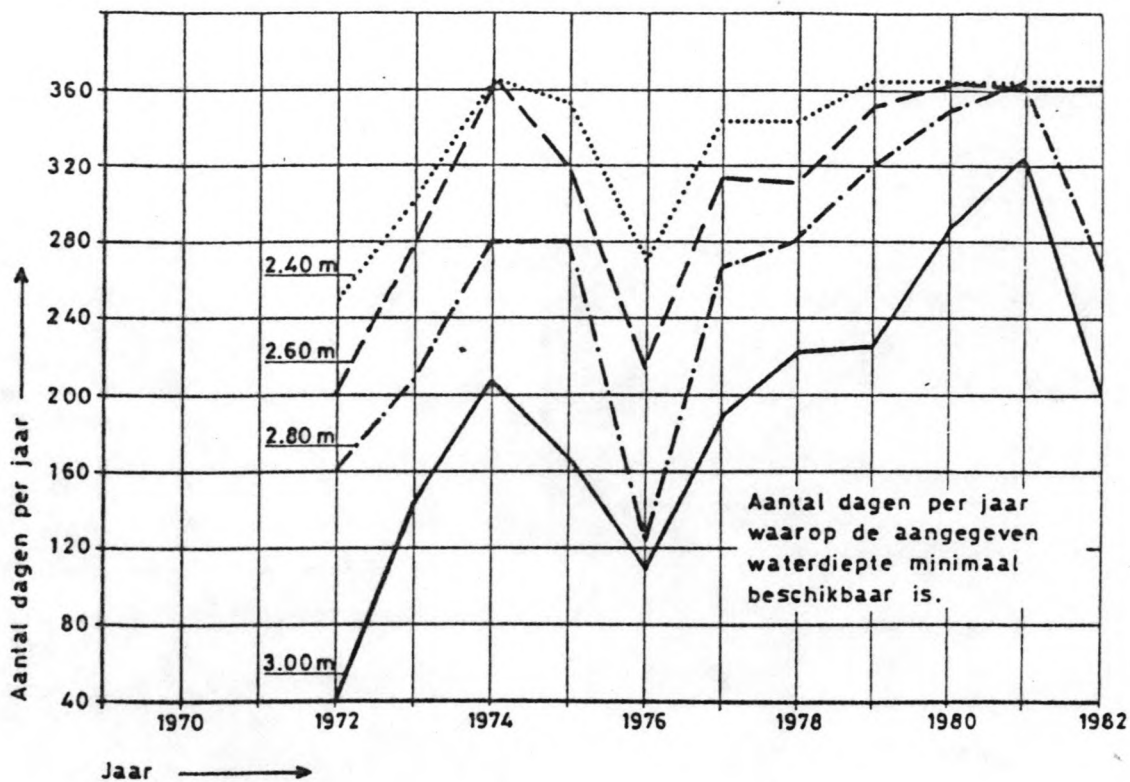
----- O.L.R. - 2,0 m
 _____ O.L.R. - 2,5 m

BRON: DWARSPÉILINGEN 1981
DIREKTIE BOVENRIVIEREN



Lijst van de verschillende alternatieven voor 2-bakduwvaart in de huidige situatie in de bocht bij Gorsseel.





Bron [7]

OVERZICHT MINSTE WATERDIEPTEN OP DE IJSSEL

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL:

get. gez.

051083

RK

Nr. S 81.28

Uitwerking van alternatief 1 t/m 12 : éénstrooksverkeer met 2-baasduwvaart in de huidige situatie.

Te gebruiken formules:

$$* P = 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{L^2}{R} + B \quad (95)$$

$$* \frac{B_{R,min}}{L} = \left[\left(\frac{R}{L} \right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot R \cdot \sin \beta}{L} + n^2 \right] - \frac{R}{L} \quad (100)$$

* formules van bjlagen 28 en 29

Elk alternatief wordt onderzocht voor de drie afzonderlijke bochtstukken:

1. deel 1: $R = 500 \text{ m}$. $\longrightarrow v_{a,max} = 14,2 \text{ km/h}$.
2. deel 2: $R = 355 \text{ m}$. $\longrightarrow v_{a,max} = 10,1 \text{ km/h}$.
3. deel 3: $R = 500 \text{ m}$. $\longrightarrow v_{a,max} = 14,2 \text{ km/h}$.

Alternatief nr. 1: - convex afgeladen op O.L.R - 2,50 m.

- opvaart

- lange formatie.

$$1.1 \quad R = 500 \text{ m}; \quad B_R - \text{O.L.R} - 2,50 \text{ m} = 42 \text{ m}; \quad \text{Bermstrook totaal} = \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3}\right) \cdot B = B = 11,4 \text{ m}.$$

Over voor in te nemen padbreedte: $(42 - 11,4) \text{ m} = 30,6 \text{ m}$.

$$P = 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{L^2}{R} + B \implies 30,6 = 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{(172)^2}{500} + 11,4 = 30,6 \implies v_a = v_{amax} = 10,8$$

$$\text{bjlage 29: } y_g \leq \frac{\sqrt{R_u^2 - (R_i + B - x_g)^2} - \sqrt{R_u^2 - (R_i + B)^2}}{R_i + \frac{1}{2}B} \quad ?$$

$$1g \leq \frac{\sqrt{(530,6)^2 - (500 + 11,4 - 0,575)^2} - \sqrt{(530,6)^2 - (500 + 11,4)^2}}{500 + \frac{1}{2} \cdot 11,4} = 2,06 \longrightarrow \text{nee!}$$

$$\text{dus: } \beta = \arctan \frac{\sqrt{R_u^2 - (R_i + B - x_g)^2} - L \cdot k}{R_i + \frac{1}{2}B} = \arctan \frac{\sqrt{(530,6)^2 - (500 + 11,4 - 0,575)^2} - 88,05}{500 + \frac{1}{2} \cdot 11,4} = 6$$

berekening van n_{min} : $B_{R,min} \hat{=} 50 \text{ m}$. (zie bjlage 41)

$$\frac{B_{R,min}}{L} = \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot R \cdot \sin \beta}{L} + n^2} - \frac{R}{L}$$

$$\frac{50}{172} = \sqrt{\frac{500}{172} - \frac{2 \cdot n \cdot 500 \cdot \sin(6,3^\circ)}{172} + n^2} - \frac{500}{172} \longrightarrow n \hat{=} 1,7 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 1.1 is mogelijk onder de voorwaarde: $v_a \leq 10,8 \text{ km/h}$

$$1.2 \quad R = 355 \text{ m}; \quad B_R - \text{O.L.R} - 2,50 \text{ m} = 50 \text{ m}; \quad \text{Bermstrook totaal} = \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3}\right) \cdot B = B = 11,4 \text{ m}.$$

Stel $v_a = v_{a, \max} = 10,1 \text{ km/h}$

$$P = 0,03 \cdot 10,1 \cdot \frac{(472)^2}{355} + 11,4 = 36,17 \text{ m} < 50 - 11,4 = 38,6 \text{ m} . \text{ dus } v_a = v_{a, \max} = 10,1 \text{ km/h}.$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(39,17)^2 - (355 + 11,4 - 0,575)^2} - 88,05}{355 + 11,4 - \frac{1}{2}} = 8,2^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R, \min} \cong 75 \text{ m}$. (zie bijlage 41)

$$\frac{75}{172} = \sqrt{\left(\frac{355}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 355 \cdot \sin(8,2^\circ)}{172} + n^2} - \frac{355}{172} \longrightarrow n \cong 1,7 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 1.2. is mogelijk.

1.3 $R = 500 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R} - 2,50 \text{ m} = 60 \text{ m}$; Bermstrook = 11,4 m. Stel $v_a = v_{a, \max} = 14,2 \text{ km/h}$.

$$P = 0,03 \cdot 14,2 \cdot \frac{(472)^2}{500} + 11,4 = 36,6 \text{ m} < 60 - 11,4 = 48,6 \text{ m} . \text{ dus } v_a = v_{a, \max} = 14,2 \text{ km/h}.$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(536,6)^2 - (500 + 11,4 - 0,575)^2} - 88,05}{500 + \frac{1}{2} \cdot 11,4} = 8,6^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R, \min} \cong 75 \text{ m}$. (zie bijlage 42)

$$\frac{75}{172} = \sqrt{\left(\frac{500}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 500 \cdot \sin(8,6^\circ)}{172} + n^2} - \frac{500}{172} \longrightarrow n \cong 2,1 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 1.3 is mogelijk.

Alternatief 2: - conuoi afgeladen op O.L.R - 2,50 m.

- opucart

- brede formatie.

2.1 $R = 500 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R} - 2,50 \text{ m} = 42 \text{ m}$; Bermstrook = $B_1 = 22,8 \text{ m}$.

Over voor in te nemen padbreedte: $42 - 22,8 = 19,2 \text{ m}$.

$$19,2 = 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{(95,5)^2}{500} + 22,8 \longrightarrow v_a < 0$$

conclusie: alternatief 2.1 is onmogelijk!

2.2 $R = 355 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R} - 2,50 \text{ m} = 50 \text{ m}$; Bermstrook $B = 22,8 \text{ m}$.

Over voor in te nemen padbreedte: $50 - 22,8 = 27,2 \text{ m}$.

$$27,2 = 0,03 \cdot v_a \cdot \frac{(95,5)^2}{355} + 22,8 \longrightarrow v_a = v_{a, \max} = 5,7 \text{ km/h}.$$

$$19 \leq \sqrt{(382,2)^2 - (355 + 22,8 - 6,275)^2} - \sqrt{(382,2)^2 - (355 + 22,8)^2} = 31,87 \longrightarrow \text{ja!}$$

$$\text{dus } \beta = \arctan \frac{\sqrt{(382,2)^2 - (355 + 22,8)^2} - 34,11}{355 + \frac{1}{2} \cdot 22,8} = 3,7^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R, \min} \cong 75 \text{ m}$

$$\frac{75}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{355}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 355 \cdot \sin(3,7^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{355}{95,5} \longrightarrow n \cong 2,7 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 2.2. is mogelijk onder de voorwaarde: $v_a < 5,7 \text{ km/h}$

2.3 $R = 500 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R} - 2,50 \text{ m} = 60 \text{ m}$; Bermstrook = 22,8 m

Over voor in te nemen padbreedte: $60 - 22,8 = 37,2 \text{ m}$.

Stel $v_a = v_{a, \max} = 14,2 \text{ km/h}$;

$$P = 0,03 \cdot 14,2 \cdot \frac{(95,5)^2}{500} + 22,8 = 30,6 \text{ m.} < 37,2 \text{ m.}, \text{ dus } v_a = v_{a, \max} = 14,2 \text{ km/h.}$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(530,6)^2 - (500 + 22,8)^2} - 34,11}{500 + \frac{1}{2} \cdot 22,8} = 6,3^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R, \min} = 75 \text{ m.}$

$$\frac{75}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{500}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 500 \cdot \sin(6,3^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{500}{95,5} \longrightarrow n \approx 3,5 > 1,5 \text{ O.K.}$$

conclusie: alternatief 2.3 is mogelijk.

Alternatief 3: - conuoi op O.L.R. -2,50 m. afgeladen
- afvaart
- lange formatie.

3.1 $R = 500 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R.} (-2,50 \text{ m}) = 42 \text{ m}$; $B_{\text{ermstrook}} = B = 11,4 \text{ m.}$

Over voor padbreedte: $(42 - 11,4) \text{ m} = 30,6 \text{ m.} \longrightarrow v_a = v_{a, \max} = 10,8 \text{ km/h}$
(zie onder 1.1). Verder idem als 1.1:

$$\beta = 6,3^\circ; n \approx 1,7$$

conclusie: alternatief 3.1 is mogelijk onder de voorwaarde: $v_a \leq 10,8 \text{ km/h}$.

3.2 zie onder 1.2:

$$P = 36,7 \text{ m}; v_{a, \max} = 10,1 \text{ km/h}; \beta = 8,2^\circ; n \approx 1,7$$

conclusie: alternatief 3.2 is mogelijk.

3.3 zie onder 1.3:

$$P = 36,6 \text{ m}; v_{a, \max} = 14,2 \text{ km/h}; \beta = 8,6^\circ; n \approx 2,1.$$

conclusie: alternatief 3.3 is mogelijk.

Alternatief 4: - conuoi op O.L.R. -2,50 m. afgeladen
- afvaart
- brede formatie.

4.1 zie onder 2.1

conclusie: alternatief 4.1 is onmogelijk!

4.2 zie onder 2.2

$$P = 27,2 \text{ m. } v_{a, \max} = 5,7 \text{ km/h.} \longrightarrow v_R = 5,7 - 2,8 = 2,9 \text{ km/h.}$$

Om druk op het roer te houden is gesteld, dat $v_R > 2,7 \text{ km/h}$ dient te zijn.

dus de brede formatie kan met een snelheid van maximaal $5,7 \text{ km/h}$ en minimaal $5,5 \text{ km/h}$ door de bocht. Praktisch gesproken is dit niet mogelijk doch daar we te maken hebben met ongunstige omstandigheden tijdens O.L.R. komen we toch tot de conclusie: ($\beta = 3,7^\circ; n \approx 2,7$)

conclusie: alternatief 4.2 is mogelijk onder de voorwaarde $v_a < 5,7 \text{ km/h}$.
($> 5,5 \text{ km/h}$)

4.3 zie onder 2.3.

$$P = 30,6 \text{ m}; v_a = 14,2 \text{ km/h}; \beta = 6,3^\circ; n \approx 3,5.$$

conclusie: alternatief 4.3 is mogelijk.

Alternatief 5: - convoi geladen op O.L.R. (-2,00 m.)
 - opvaart
 - lange formatie.

5.1 $R = 500 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R.} (-2,00 \text{ m}) = 75 \text{ m}$; Bermstrook = $B = 11,4 \text{ m}$; Stel $v_a = 14,2 \text{ km/h}$

$$P = 0,03 \cdot 14,2 \cdot \frac{(172)^2}{500} + 11,4 = 36,6 \text{ m} < 75 - 11,4 = 63,6 \text{ m}$$

$$19 \leq \sqrt{(536,6)^2 - (500 + 11,4 - 0,575)^2} - \sqrt{(536,6)^2 - (500 + 11,4)^2} = 1,80 \longrightarrow \text{nee!}$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(536,6)^2 - (500 + 11,4 - 0,575)^2} - 86,38}{500 + \pm 11,4} = 8,8^\circ$$

berekening van n_{min} : $B_{R, \text{min}} \approx 100 \text{ m}$. (zie bglage 41)

$$\frac{100}{172} = \sqrt{\left(\frac{500}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 500 \cdot \sin(8,8^\circ)}{172} + n^2} - \frac{500}{172} \longrightarrow n \approx 2,3 > 1,5 \text{ o.k.}$$

conclusie: alternatief 5.1 is mogelijk!

5.2 $R = 355 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R.} (-2,00 \text{ m}) = 75 \text{ m}$; Bermstrook = $B = 11,4 \text{ m}$; Stel $v_a = 10,1 \text{ km/h}$.

$$P = 36,7 \text{ m (zie onder 1.2.)} < 75 - 11,4 = 63,6 \text{ m}$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(391,7)^2 - (355 + 11,4 - 0,575)^2} - 86,38}{355 + \pm 11,4} = 8,5^\circ$$

berekening van n_{min} : $B_{R, \text{min}} \approx 75 \text{ m}$ (zie bglage 41)

$$\frac{75}{172} = \sqrt{\left(\frac{355}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 355 \cdot \sin(8,5^\circ)}{172} + n^2} - \frac{355}{172} \longrightarrow n \approx 1,7 > 1,5 \text{ o.k.}$$

conclusie: alternatief 5.2 is mogelijk!

5.3 $R = 500 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R.} (-2,00 \text{ m}) = 75 \text{ m}$; Bermstrook = $B = 11,4 \text{ m}$; Stel $v_a = 14,2 \text{ km/h}$

$$P = 36,6 \text{ m (zie 5.1)} < 75 - 11,4 = 63,6 \text{ m.}$$

$$\beta = 8,8^\circ \text{ (zie 5.1)}$$

berekening van n_{min} : $B_{R, \text{min}} \approx 90 \text{ m}$. (zie bglage 42)

$$\frac{90}{172} = \sqrt{\left(\frac{500}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 500 \cdot \sin(8,8^\circ)}{172} + n^2} - \frac{500}{172} \longrightarrow n \approx 2,2 > 1,5 \text{ o.k.}$$

conclusie: alternatief 5.3 is mogelijk!

Alternatief 6: - convoi geladen op O.L.R. (-2,00 m)
 - opvaart
 - brede formatie.

6.1 $R = 500 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R.} (-2,00 \text{ m}) = 75 \text{ m}$; Bermstrook = $B = 22,8 \text{ m}$; Stel $v_a = 14,2 \text{ km/h}$.

$$P = 30,6 \text{ m. (zie 2.3)} < 75 - 22,8 = 52,2 \text{ m.}$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(530,6)^2 - (500 + 22,8)^2} - 33,21}{500 + \pm 22,8} = 6,4^\circ$$

berekening van n_{min} : $B_{R, \text{min}} \approx 100 \text{ m}$ (zie bglage 41)

$$\frac{100}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{500}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 500 \cdot \sin(6,4^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{500}{95,5} \longrightarrow n \approx 3,9 > 1,5 \text{ o.k.}$$

conclusie: alternatief 6.1 is mogelijk!

6.2 $R = 355 \text{ m}$; $B_R - \text{O.L.R.} (-2,00 \text{ m}) = 75 \text{ m}$; Bermstrook = $B = 22,8 \text{ m}$; Stel $v_a = 10,1 \text{ km/h}$;

$$P = 0,03 \cdot 10,1 \cdot \frac{(95,5)^2}{355} + 22,8 = 30,6 \text{ m} ;$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(385,6)^2 - (355 + 22,8)^2} - 33,21}{355 + \frac{1}{2} \cdot 22,8} = 6,8^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R, \min} \hat{=} 75 \text{ m}$. (zie bglage 41)

$$\frac{75}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{355}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 355 \cdot \sin(6,8^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{355}{95,5} \longrightarrow n \hat{=} 2,9 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 6.2 is mogelijk!

6.3 $R = 500 \text{ m}$; B_R : O.L.R. (-2,00 m) = 75 m; Bermstrook = 22,8 m; $v_a = 14,2 \text{ km/h}$.

$P = 30,6 \text{ m}$ (zie 2.3) < $75 - 22,8 = 52,2 \text{ m}$.

$\beta = 6,4^\circ$ (zie 6.1)

berekening n_{\min} : $B_{R, \min} \hat{=} 90 \text{ m}$ (zie bglage 42)

$$\frac{90}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{500}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot 500 \cdot \sin(6,4^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{500}{95,5} \longrightarrow n \hat{=} 3,8 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 6.3 is mogelijk!

Alternatief 7: - convooi geladen op O.L.R. (-2,00 m)

- afvaart
- lange formatie.

7.1 $R = 500 \text{ m}$; zie onder 5.1: $P = 36,6 \text{ m}$; $\beta = 8,8^\circ$; $n \hat{=} 2,3$.

conclusie: alternatief 7.1 is mogelijk!

7.2 $R = 355 \text{ m}$; zie onder 5.2: $P = 36,7 \text{ m}$; $\beta = 8,5^\circ$; $n \hat{=} 1,7$.

conclusie: alternatief 7.2 is mogelijk!

7.3 $R = 500 \text{ m}$; zie onder 5.3: $P = 36,6 \text{ m}$; $\beta = 8,8^\circ$; $n \hat{=} 2,2$.

conclusie: alternatief 7.3 is mogelijk!

Alternatief 8: - convooi geladen op O.L.R. (-2,00 m).

- afvaart
- brede formatie.

8.1 $R = 500 \text{ m}$; zie onder 6.1: $P = 30,6 \text{ m}$; $\beta = 6,4^\circ$; $n \hat{=} 3,9$.

conclusie: alternatief 8.1 is mogelijk!

8.2 $R = 355 \text{ m}$; zie onder 6.2: $P = 30,6 \text{ m}$; $\beta = 6,8^\circ$; $n \hat{=} 2,9$.

conclusie: alternatief 8.2 is mogelijk!

8.3 $R = 500 \text{ m}$; zie onder 6.3: $P = 30,6 \text{ m}$; $\beta = 6,4^\circ$; $n \hat{=} 3,8$.

conclusie: alternatief 8.3 is mogelijk!

Alternatief 9: - convooi ongeladen ($T = 0,55 \text{ m}$)

- opvaart
- lange formatie.

9.1 $R = 500 \text{ m}$; Schäles resultaten zijn in eerste instantie geldig voor geladen duwzwehden.

Echter uit proeven op de Donau (zie lit [7]) werden geen noemenswaardige verschillen gevonden tussen de padbreedtes van geladen en ongeladen duwzwehden in de opvaart.

Hierdoor kan voor dit geval (= ongeladen opvaart) de formule van Schäle worden gebruikt, ten bepaling van de padbreedte: (stel $v_a = 14,2 \text{ km/h}$).

$$P = 11,4 + 0,03 \cdot 14,2 \cdot \frac{(172)^2}{500} = 36,6 \text{ m} < 75 - 11,4 = 63,6 \text{ m}$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(536,6)^2 - (500 + 11,4 - 0,575)^2} - 90,94}{500 + \frac{1}{2} \cdot 11,4} = 8,3^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R, \min} \hat{=} 100 \text{ m}$;

$$\frac{100}{172} = \sqrt{\left(\frac{500}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot \sin(8,3^\circ)}{172} + n^2} - \frac{500}{172} \longrightarrow n \hat{=} 2,3 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie alternatief 9.1 is mogelijk!

$$g.2 \quad R = 355 \text{ m}; \quad P = 11,4 + 9,03 \cdot 10,1 \cdot \frac{(172)^4}{355} = 36,7 \text{ m} \quad (v_a = v_{amax} = 10,1 \text{ km/h})$$

$$\beta = \arctan \frac{(391,7)^2 - (355 + 11,4 - 0,575) - 90,94}{355 + \frac{1}{2} \cdot 11,4} = 7,7^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R,\min} \cong 75 \text{ m}$ (zie bijlage 41)

$$\frac{75}{172} = \sqrt{\left(\frac{355}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot \sin(7,7^\circ)}{172} + n^2} - \frac{355}{172} \longrightarrow n \cong 1,6 > 1,5 \text{ o.k.}$$

conclusie: alternatief g.2 is mogelijk!

$$g.3 \quad R = 500 \text{ m}; \quad \text{zie g.1: } P = 36,6 \text{ m}; \quad \beta = 8,3^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R,\min} \cong 90 \text{ m}$. (zie bijlage 42)

$$\frac{90}{172} = \sqrt{\left(\frac{500}{172}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot \sin(8,3^\circ)}{172} + n^2} - \frac{500}{172} \longrightarrow n \cong 2,2 > 1,5 \text{ o.k.}$$

conclusie: alternatief g.3 is mogelijk!

Alternatief 10: - convex ongeladen ($T = 0,55 \text{ m}$)

- opwaart

- brede formatie.

$$10.1 \quad R = 500 \text{ m}; \quad P = 30,6 \text{ m} \text{ en } v_a = 14,2 \text{ km/h} \text{ (zie 6.1)}$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(539,6)^2 - (500 + 22,8)^2} - 26,00}{500 + \frac{1}{2} \cdot 22,8} = 7,2^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R,\min} \cong 100 \text{ m}$.

$$\frac{100}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{500}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot \sin(7,2^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{500}{95,5} \longrightarrow n \cong 4,0 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 10.1 is mogelijk!

$$10.2 \quad R = 355 \text{ m}; \quad P = 30,6 \text{ m} \text{ en } v_a = 10,1 \text{ km/h} \text{ (zie 6.2)}$$

$$\beta = \arctan \frac{\sqrt{(385,6)^2 - (355 + 22,8)^2} - 26,00}{355 + \frac{1}{2} \cdot 22,8} = 7,9^\circ$$

berekening van n_{\min} : $B_{R,\min} \cong 75 \text{ m}$.

$$\frac{75}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{355}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot \sin(7,9^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{355}{95,5} \longrightarrow n \cong 3,0 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 10.2 is mogelijk!

$$10.3 \quad R = 500 \text{ m}; \quad P = 30,6 \text{ m} \text{ en } v_a = 14,2 \text{ km/h} \text{ (zie 10.1)}$$

$$\beta = 7,2^\circ \text{ (zie 10.1)}$$

berekening van n_{\min} : $B_{R,\min} \cong 90 \text{ m}$.

$$\frac{90}{95,5} = \sqrt{\left(\frac{500}{95,5}\right)^2 - \frac{2 \cdot n \cdot \sin(7,2^\circ)}{95,5} + n^2} - \frac{500}{95,5} \longrightarrow n \cong 3,9 > 1,5 \text{ dus o.k.}$$

conclusie: alternatief 10.3 is mogelijk!

Alternatief 11: - convex ongeladen ($T = 0,55 \text{ m}$)

- afwaart

- lange formatie ($4/8 = 15,1$)

Ter berekening van de padbreedtes mag nu niet gebruik gemaakt worden van de resultaten van Schüle, aangezien die niet gelden voor de situatie: ongeladen afwaart. Daarom wordt nu gebruik gemaakt van de formule: $P = B + \alpha \cdot \frac{L^2}{R}$ uit lit.

[]. De waarde voor α kan worden bepaald na lineaire interpolatie in tabel 10.

Dit is echter niet zo gemakkelijk, aangezien de waarden voor α in tabel 10 slechts gelden bij $v_R = 14 \text{ km/h}$ en $v_s = 6 \text{ km/h}$. Daarom wordt hier voor een bewan-

grensbenadering gekozen: Volgens formule (2g) is $\beta :: \left(\frac{2v_a}{v_R} - 1 \right)$.

Bij de omstandigheden die gelden volgens tabel 10 is $\beta :: \left(\frac{2 \cdot 20}{14} - 1 \right) = 1,86$

Bij de omstandigheden die zich hier voordoen:

$$R = 500 \text{ m}; v_{a\max} = 14,2 \text{ km/h}; v_s = 2,8 \text{ km/h} \longrightarrow \beta :: \left(\frac{2 \cdot 14,2}{11,4} - 1 \right) = 1,49$$

$$R = 355 \text{ m}; v_{a\max} = 10,1 \text{ km/h}; v_s = 2,8 \text{ km/h} \longrightarrow \beta :: \left(\frac{2 \cdot 10,1}{7,3} - 1 \right) = 1,77$$

Als we dus de waarden uit tabel 10 aanhouden voor de lege afvaart zitten we aan de veilige kant. De absolute snelheid mag echter ook weer niet te klein worden aangezien de factor $\left(\frac{2v_a}{v_R} - 1 \right)$ dan zo groot wordt dat we weer aan de onveilige kant zitten. Vooral nog ligt een benadering m.b.v. tabel 10 alleszins redelijk:

$$11.1 \quad R = 500 \text{ m}; v_a = 14,2 \text{ km/h}; L/B = 15,1 \longrightarrow \alpha = 0,66;$$

$$P \leq B + \alpha \cdot \frac{L^2}{R} = 11,4 + 0,66 \cdot \frac{(172)^2}{500} = 50,5 \text{ m}$$

$B_R \text{ O.L.R. } (-2,00 \text{ m}) = 75 \text{ m}$; Bermstrook = 11,4 m; Over voor de padbreedte: $75 - 11,4 = 63,6$ m. $> 50,5$ m dus o.k. M.a.w.: als de absolute snelheid v_a wat verder afneemt

is nog wat extra speelruimte over! Een berekening voor β wordt niet gegeven, omdat de formules van bijlage 2g waarschijnlijk niet toepasbaar zijn, aangezien voor de lege afvaart het tactisch draaipunt hoogstwaarschijnlijk vóór de boeg komt te liggen. De waarde van β zal echter zo groot zijn, dat de n -waarde volgens Breedveld ruim boven de 1,5 zal komen te liggen!

conclusie: alternatief 11.1 is mogelijk!

$$11.2 \quad R = 355 \text{ m}; v_a = 10,1 \text{ km/h}; L/B = 15,1 \longrightarrow \alpha = 0,66.$$

$$P \leq B + \alpha \cdot \frac{L^2}{R} = 11,4 + 0,66 \cdot \frac{(172)^2}{355} = 66,4 \text{ m}$$

$B_R \text{ O.L.R. } (-2,00 \text{ m}) = 75 \text{ m}$; Bermstrook = 11,4 m; Over voor de padbreedte: $75 - 11,4 = 63,6$ m. Aangezien v_a ook niet te veel mag afnemen en de breedte tussen de 2,00 m dieptelijnen niet veel speelruimte meer overlaat ook als met een $T = 0,55 \text{ m}$ wordt gevaren, moet dit alternatief toch als te onveilig worden aangemerkt.

conclusie: alternatief 11.2 is onmogelijk!

$$11.3 \quad R = 500 \text{ m}; \text{De situatie is vrijwel identiek als onder 11.1.}$$

conclusie: alternatief 11.3 is mogelijk!

Alternatief 12: - conuoi ongeladen ($T=0,55\text{ m}$)

- afvaart

- brede formatie. ($L/B = 4,2$)

Voor de berekening van dit alternatief gaan we weer net zo te werk als onder 11.

$$12.1 \quad R = 500\text{ m}; v_a = 14,2 \text{ km/h}; L/B = 4,2 \longrightarrow \alpha = 0,178.$$

$$P \leq B + \alpha \cdot \frac{L^2}{R} = 22,8 + 0,178 \cdot \frac{(95,5)^2}{500} = 37,0 \text{ m}.$$

$$B_R - O.L.R (-2,00\text{ m}) = 75\text{ m}. \text{ Bermstrook} = 22,8\text{ m}; \text{ Over voor de padbreedte: } 75 - 22,8 =$$

52,2 m. $> 37,0$ m dus o.k. Hier is dus ook weer wat extra speelruimte.

conclusie: alternatief 12.1 is mogelijk!

$$12.2 \quad R = 355\text{ m}; v_a = 10,1 \text{ km/h}; L/B = 4,2 \longrightarrow \alpha = 0,178.$$

$$P \leq B + \alpha \cdot \frac{L^2}{R} = 22,8 + 0,178 \cdot \frac{(95,5)^2}{355} = 42,8 \text{ m}.$$

$$B_R - O.L.R (-2,00\text{ m}) = 75\text{ m}. \text{ Bermstrook} = 22,8\text{ m}; \text{ Over voor de padbreedte: } 75 - 22,8 =$$

52,2 m $> 42,8$ dus o.k. Dus weer wat speelruimte.

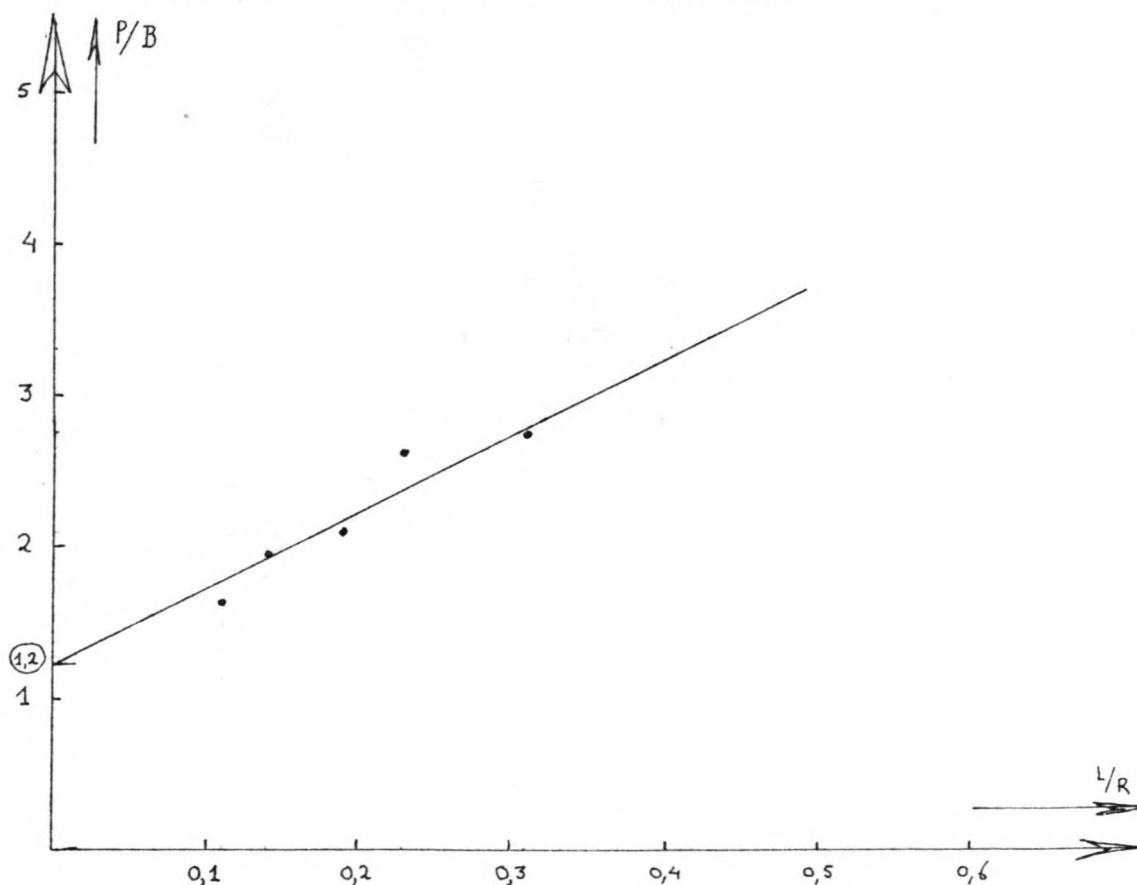
conclusie: alternatief 12.2 is mogelijk!

$$12.3 \quad R = 500\text{ m}. \text{ De situatie is vrijwel identiek als onder 12.1.}$$

conclusie: alternatief 12.3 is mogelijk!

Specificatie van de berekeningen behorende bij tabel 13 t/m 18.

Nu we de beschikking hebben over de padbreedtes van de kleinere schepen, gemeten in de bocht bij Gorssel bij een straal van $R=355\text{m}$. en samengevat in tabel 12 kunnen we een laatste controle uitoefenen door deze gemeten waarden voor de padbreedtes te extrapoleren naar de grotere 2-baksformatie en te bekijken of de praktijkformule van Schäle aan de verwachtingen voldoet. Hiertoe is in onderstaande figuur de factor P/B uitgezet tegen de factor L/R . Dit is gedaan voor de (geladen) afvaart aangezien de formule van Schäle dan het beste tot z'n recht komt.



Na toepassing van de lineaire regressie op de waarden voor de padbreedtes van de kleinere schepen in tabel 12 volgt:

$$P/B = 5,2 \cdot L/R + 1,2.$$

Na extrapolatie naar de grotere 2-baksformatie (lang) volgt: $P/B = 5,2 \cdot 0,48 + 2,1 = 3,73$.

oftewel $P = 42,5$ m.

Met behulp van formule (95) volgt nu: $v_a = 12,4$ km/h.

Zodat de koerhoeksnelheid $\omega = 0,55$ °/sec.

Eerder in dit rapport is vermeld (blz. 60) dat de maximum koershoeksnelheid ligt in het gebied $0,3 < \omega_{max} < 0,6$ /sec. zodat formule (95) een goede benadering van de werkelijkheid geeft.

Bovenstaande controle wordt alleen voor de lange 2-baksformatie uitgevoerd aangezien de breedtematen van de kleinere schepen hierbij het beste aansluiten.

Een ander saillant detail is het punt in de grafiek waar $L/R = 0$ is, met andere woorden daar waar de rivier recht is; de ingenomen padbreedte is hier gelijk aan 1,2 maal de breedte van het schip, hetgeen in de praktijk ook blijkt te kloppen aangezien het schip in de rechtstand een zekere "vetergang" vertoont!

Na deze laatste controle kunnen we overgaan tot berekeningen die geleid hebben tot het resultaat dat vermeld is in de tabellen 13 t/m 18. Aangezien de meeste van deze berekeningen op hetzelfde neerkomen worden slechts enkele berekeningen als voorbeeld voor de andere nader gespecificeerd.

Gebruik wordt gemaakt van hetvolgende:

- formule (95): $P = 0,03 \cdot v_a \cdot L^2/R + B$.

- de gegevens uit tabel 12.

- de berm- en veiligheidsstroken vermeld op pagina 90.

We beginnen met tabel 13: ontmoeting van schepen in het bochtstuk met straal $R = 500$ m.:

Als voorbeeld wordt behandeld :

1. de ontmoeting van een Rijnschip in opvaart en een Rijn-Hernekanaalschip inafvaart.

2. de ontmoeting van een lange 2-baksformatie in afvaart en een Rijnschip in opvaart.

ad 1.

tabel 12: padbreedte Rijnschip in opvaart (ongeladen), dus in de binnenbocht, $P =$ 22,8 m.

fig. 43: berm- en veiligheidsstrook Rijnschip = $B =$

12,0 m.

tabel 12: padbreedte R-H-schip in afvaart (geladen), dus buitenbocht, P =	20,6 m.
fig. 43 : berm- en veiligheidsstrook R-H-schip = 1,5B =	<u>14,25 m.</u>
totaal ruimtebeslag:	69,65 m.

ad 2.

formule (95): padbreedte lange 2-baksformatie is:

$$P = 0,03 \cdot v_a \cdot L^2 / R + B = 0,03 \cdot 14,2 \cdot 172^2 / 500 + 11,4 = 36,6 \text{ m.}$$

fig.43 : berm-en veiligheidsstrook lange 2-baks-

formatie in afvaart (=geladen), in de buiten-

$$\text{bocht} = 1,5B = 17,1 \text{ m.}$$

tabel 12: Rijnschip in opvaart (=ongeladen), in

$$\text{de binnenbocht, } P = 22,8 \text{ m.}$$

$$\text{fig. 43: berm-en veiligheidsstrook Rijnschip} = B = \underline{12,0 \text{ m.}}$$

$$\text{totaal ruimtebeslag: } 88,5 \text{ m.}$$

Dit is groter dan de beschikbare 75 m. Dus de lange 2-baksformatie past z'n snelheid aan, zodanig, dat de beschikbare breedte van 75 m. niet wordt overschreden: over voor de padbreedte van de lange 2-baksformatie:

$$P = 75 - (17,1 + 22,8 + 12,0) = 23,1 = 0,03 \cdot v_a \cdot 172^2 / 500 + 11,4.$$

Waaruit volgt: $v_{a,\max} = 6,6 \text{ km/h.}$

tabel14: De berekeningen verlopen exact op dezelfde wijze als die van tabel 13, echter nu voor $R = 355 \text{ m.}$ in plaats van $R = 500 \text{ m.}$

tabel 15: Ook hier zullen weer twee voorbeelden worden aangehaald:

1. Een Kempenaar, die een spits oploopt. Allebei de schepen zijn in afvaart (dus geladen). Dat wil zeggen het oplopende schip, de Kempenaar, zal via de binnenbocht een inhaalmanoeuvre plegen.
2. Een lange 2-baksformatie die opgelopen wordt door een R-H-schip, ook allebei de schepen zijn in afvaart.

ad 1.

Kempenaar in binnenbocht, P =	11,2 m.
Berm- en veiligheidsstrook Kempenaar = B =	6,6 m.
Spits in buitenbocht, P =	7,9 m.

Berm- en veiligheidsstrook Spits = $1,5B = \frac{7,65 \text{ m.}}{33,35 \text{ m.}}$
 totaal ruimtebeslag:

ad2.

2-baks (lang) in buitenbocht, $P = 0,03 \cdot 14,2 \cdot 172^2 / 500 + 11,4 = 36,6 \text{ m.}$

Berm- en veiligheidsstrook 2-baks (lang) = $1,5B = 17,1 \text{ m.}$

R-H-schip in binnenbocht, $P = 20,6 \text{ m.}$

Berm- en veiligheidsstrook R-H-schip = $B = \frac{9,5 \text{ m.}}{83,8 \text{ m.}}$

totaal ruimtebeslag:

Dit is weer groter dan de beschikbare 75m. Dus de lange 2-baksformatie past z'n snelheid aan. Over voor z'n padbreedte is:

$$P = 75 - (17,1 + 20,6 + 9,5) = 27,8 = 0,03 \cdot v_a \cdot 172^2 / 500 + 11,4.$$

Waaruit volgt: $v_{a,\max} = 9,2 \text{ km/h.}$

tabel 16: Hier worden de oploopmanoeuvres in opvaart behandeld, in het bochtstuk met straal $R = 500 \text{ m.}$ Twee voorbeelden zijn:

1. Een lange 2-baksformatie die opgelopen wordt door een Rijnschip.
2. Een lange 2-baksformatie, die een D-E-schip wil oplopen.

ad1.

Lange 2-baks in binnenbocht, $P = 36,6 \text{ m.}$

Berm- en veiligheidsstrook 2-baks = $B = 11,4 \text{ m.}$

Rijnschip in buitenbocht, $P = 22,8 \text{ m.}$

Berm- en veiligheidsstrook Rijnschip = $1,5B = \frac{18,0 \text{ m.}}{88,8 \text{ m.}}$

totaal ruimtebeslag:

Dus weer aanpassing van de snelheid door de 2-baks:

$$P = 75 - (18 + 22,8 + 11,4) = 22,8 = 0,03 \cdot v_a \cdot 172^2 / 500 + 11,4.$$

Waaruit volgt: $v_{a,\max} = 6,4 \text{ km/h.}$

ad2.

Lange 2-baks in buitenbocht, $P = 36,6 \text{ m.}$

Berm- en veiligheidstrook 2-baks = $1,5B = 17,1 \text{ m.}$

D-E-schip in binnenbocht, $P = 13,8 \text{ m.}$

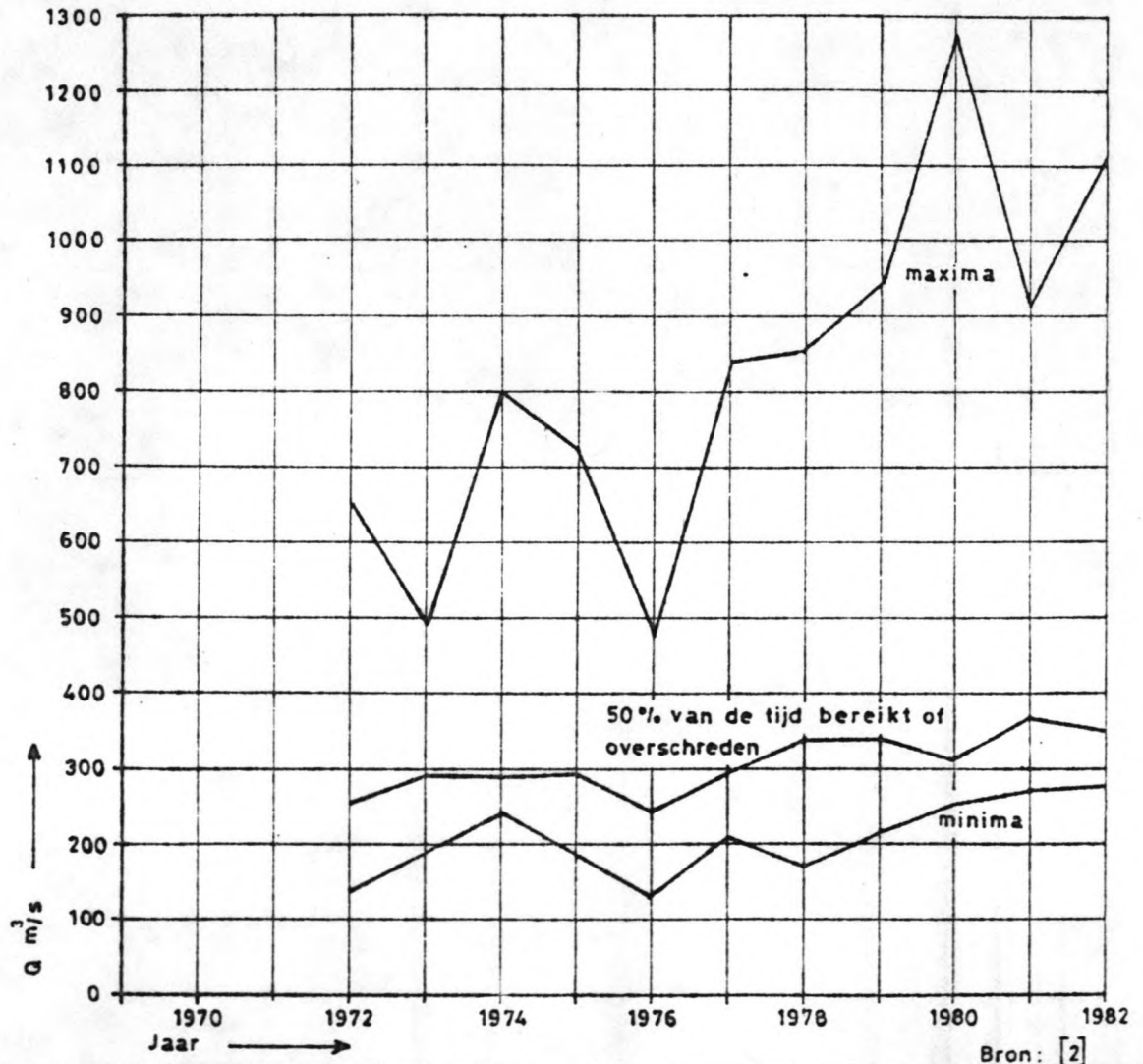
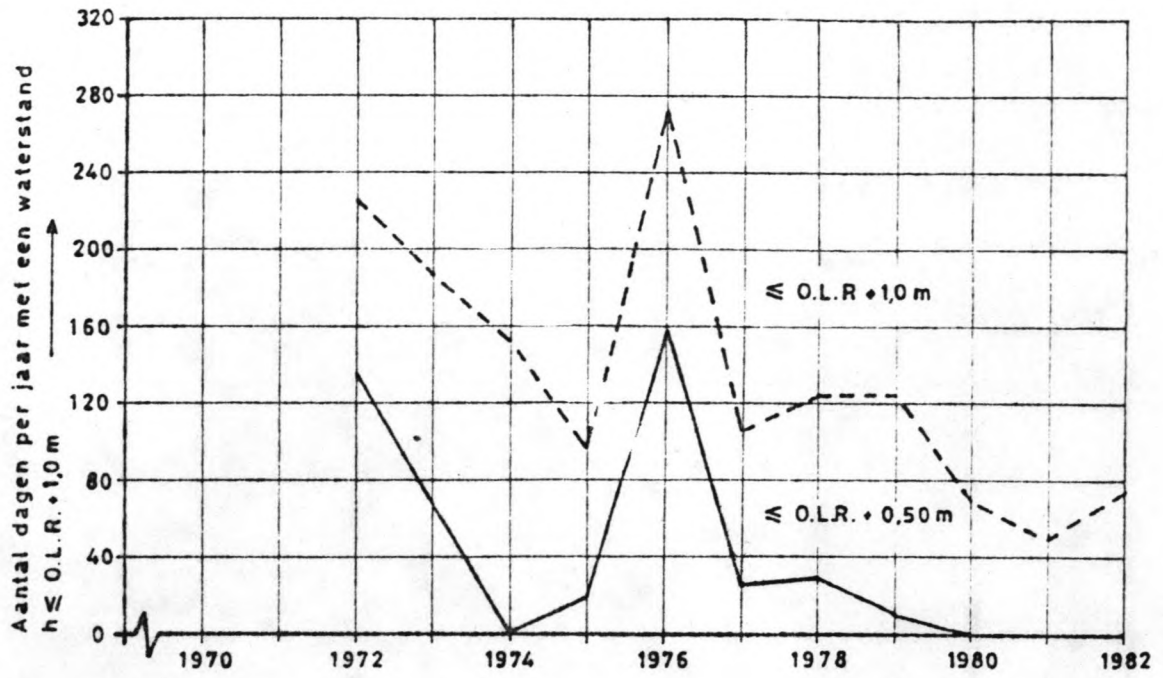
Berm- en veiligheidsstrook D-E-schip = $B = \frac{8,2 \text{ m.}}{75,7 \text{ m.}}$

totaal ruimtebeslag:

Met andere woorden: de lange 2-baksformatie zou volgens de

hier gebruikelijke werkwijze z'n snelheid dienen aan te passen. Echter deze situatie, waarin een oplopend schip z'n snelheid zou moeten verminderen om een langzaam varend schip in te halen, wordt irreëel geacht, zodat deze situatie in de tabel ook met een kruis staat aangegeven. Theoretisch zou natuurlijk eerder het D-E-schip z'n snelheid dienen aan te passen, echter formule (95) is alleen geldig voor duwstellen, zodat verder geen methode beschikbaar is om dit in de berekeningen te verwerken. Toch mag in het hier beschouwde geval, waar het totaal ruimtebeslag nèt boven de 75m. komt, worden aangenomen, dat door een geringe vaartafval van het D-E-schip een oplooptmanoeuvre door een lange 2-baksformatie mogelijk moet zijn!

tabel 17 en 18: De berekeningen verlopen idem als voor tabel 15 en 16, met dien verstande, dat de bochtstraal nu 355 m. bedraagt in plaats van 500 m.



OVERZICHT IJSSELAFVOEREN EN WATERSTANDEN

RIJKSWATERSTAAT
DIENST VERKEERSKUNDE
HOOFDAFDELING SCHEEPVAART

SCHAAL

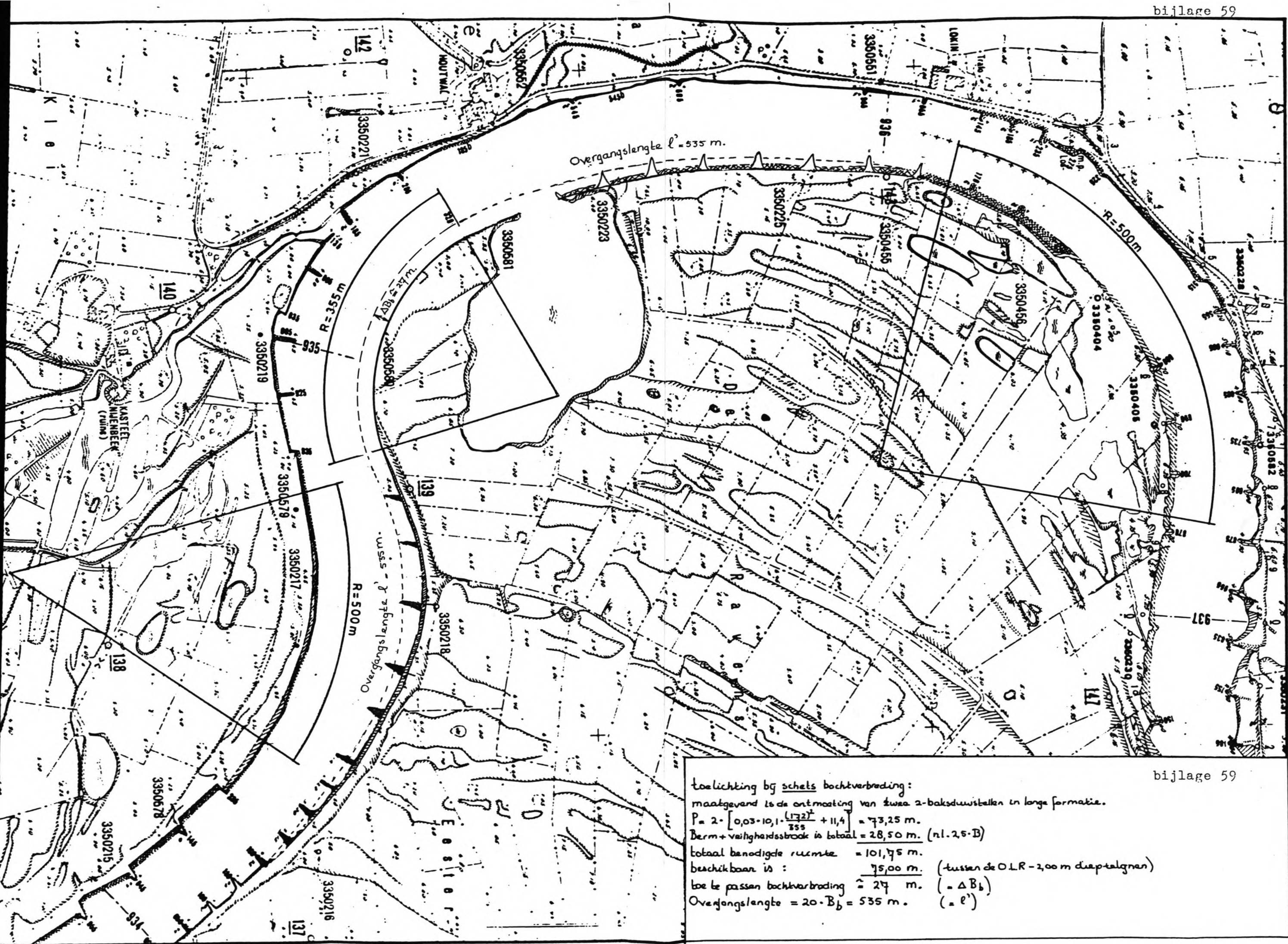
get. ge.

h.k.

Bron: [2]

4

Nr. S 81.28



toelichting bij schets bochtverbreding:
 maatgevend is de ontmoeting van twee 2-bakduwstallen in lange formatie.
 $P = 2 \cdot \left[0,03 \cdot 10,1 \cdot \frac{(172)^2}{535} + 11,4 \right] = 73,25 \text{ m.}$
 Berm + veiligheidsbroek is totaal = 28,50 m. (nl. 25 · B)
 totaal benodigde ruimte = 101,75 m.
 beschikbaar is : 75,00 m. (tussen de O.L.R. - 2,00 m dieptelggen)
 toe te passen bochtverbreding ≈ 27 m. (= Δ B_b)
 Overgangslengte = 20 · B_b = 535 m. (= l')

Duwvaart op de rivier de Moezel.

In april van dit jaar (1984) heeft de schrijver van dit rapport een reis gemaakt met verschillende duwconvoeien om een indruk te krijgen van het gebeuren rondom de duwvaart in het algemeen en 2-baksduwvaart in het bijzonder. De reis voerde vanaf de 3^e Merwedehaven in Dordrecht, waar de lading werd opgepikt, over de Beneden-Merwede, de Boven-Merwede, Waal, Rijn en tenslotte de Moezel. De reis totaan Koblenz, daar waar de Moezel uitmondt in de Rijn, vond plaats met een 4 tot 6-baksduwconvooi (de "Aubergé"), terwijl op de Moezel werd meegevaren met een 2-baksduwconvooi in de lange formatie (de "Mülhouse"). Vooral dit laatste stuk op de Moezel was een interessante ervaring, aangezien deze rivier grote overeenkomsten vertoont met de Gelderse IJssel.

Hoewel misschien interessant, vindt de schrijver het niet zinvol, in het kader van dit afstudeerwerk, een volledig reisverslag te geven; echter van meer belang is het hier een vergelijking te maken van de beide rivieren: de Gelderse IJssel, waar 2-baksduwvaart misschien z'n intrede kan doen, en de Moezel waar 2-baksduwvaart een normaal verschijnsel is.

20 Jaar ervaring met 2-baksduwvaart op de rivier de Moezel.

Een vergelijking van de rivieren de Moezel en de Gelderse IJssel is hier zeker op z'n plaats, daar de Moezel ca. 20 jaar geleden geschikt is gemaakt voor 2-baksduwvaart en sindsdien niet meer is weg te denken als "economisch verantwoord" onderdeel van het vervoerssysteem tussen de Bondsrepubliek en Frankrijk. Temeer daar de Moezel grote overeenkomsten vertoont met de Gelderse IJssel: zowel qua diepte als qua breedte, bochtenwerk en vervoerd tonnage! Voordat op een reële vergelijking van beide rivieren wordt ingegaan volgt eerst een korte algemene beschouwing over de rivier de Moezel.

Moezel algemeen:

Zoals op een overzichtskaart is te zien (zie bijlage 62) ontspringt de Moezel op de Col de Bussang in de Vogezen en mondt-ie uit in de Rijn bij Koblenz. De totale lengte is 520 km., waarbij het verschil in plaatshoogte tussen oorsprong en monding 676 m. bedraagt, zodat het gemiddelde verval op $1,3 \cdot 10^{-3}$ komt. De rivier vervult sinds jaar en dag de volgende functies:

1. afvoer van smelt- en regenwater uit het ontvanggebied (ca 28.000 km²).
2. verkeersweg.
3. winning van drinkwater.
4. opname van koelwater en lozing van afvalwater.
5. energiewinning.
6. recreatie en pleziervaart.
7. onderkomen van verschillende flora en fauna.

Verder is de Moezel gekanaliseerd m.b.v. een groot aantal stuwen (zie bijlage 63), zodat ten allen tijde over voldoende vaardiepte kan worden beschikt. De toegelaten schepen zijn:

- binnenvaartschepen: tot maximaal 110m. lengte en 11,4 m. breedte.
- duwconvoeien met maximaal twee bakken met een totale lengte van 172 m. en een breedte van 11,4 m. (3300 ton bij 2,5 m. diepgang.).

Nu de belangrijkste kenmerken van de rivier de Moezel bekend zijn volgt een vergelijking met de Gelderse IJssel op basis van de volgende criteria:

1. Waterdiepte:

Volgens lit. [29] heeft de Moezel een vaargeuldiepte van minstens 2,7 m., opdat duwconvoeien tot maximaal 2,5 m. kunnen afladen. Uit eigen ervaring kan worden meegedeeld, dat dit in de praktijk niet altijd uitkomt, daar de bakken soms over de bodem "schuren"; of dit aan te grote onffenheden in de rivierbodem ligt, of aan een te grote

Räumliche Gliederung der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest

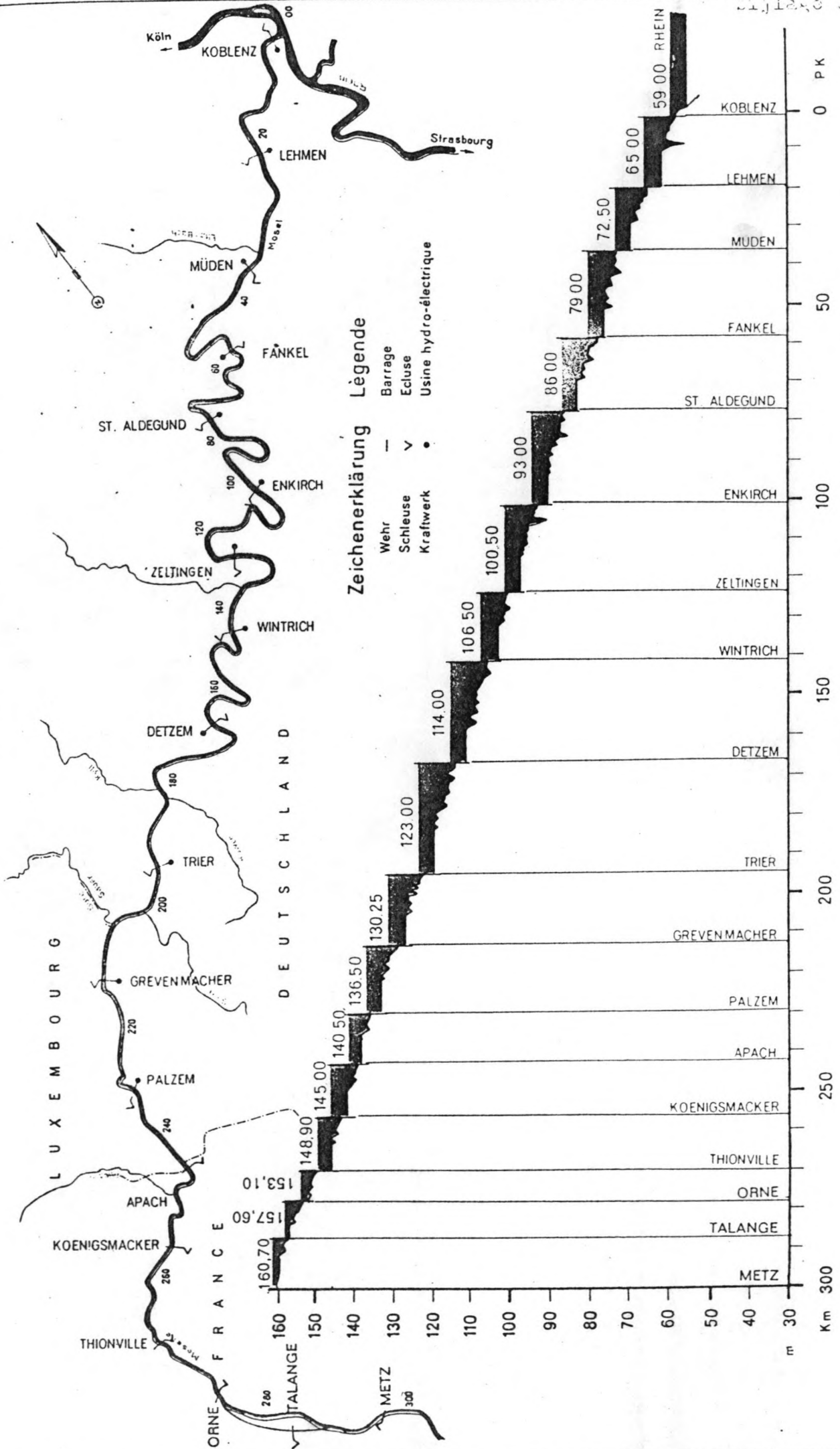


ÜBERSICHTSPLAN DER MOSEL PLAN GÉNÉRAL DE LA MOSELLE

ZWISCHEN METZ UND KOBLENZ

ENTRE METZ ET COBLENCE

1 : 600000



Dachstein

Bijlage 3

diepgang is de schrijver niet bekend.

De Gelderse IJssel heeft nu al een minste vaardiepte van ruim 2,6 m., die 50% van de tijd wordt bereikt of overschreden (zie bijlage 44). Slechts in een gering aantal jaren wordt een waterdiepte van 2,5 m. of minder bereikt of onderschreden (zie de 90%-lijn op bijlage 44).

Conclusie: Een waterdiepte in de vaargeul van 2,5 m. op de Gelderse IJssel kan de meeste tijd gegarandeerd worden, zodat wat betreft de 2-baksduwvaart het criterium diepte het grootste deel van het jaar voldoet.

N.B.: De waterdiepte die op de Moezel wordt gegarandeerd is te danken aan het feit dat deze rivier gekanaliseerd is zodat een vergelijking niet helemaal reëel is.

2. Breedte in combinatie met bochtstraal.

De Moezel heeft op de rechte rakken een vaargeulbreedte van tenminste 40 m. In de bochten zijn bij de werken ter verbetering ten behoeve van 2-baksduwvaart verbredingen toegepast opdat binnenvaartschepen en duwconvoeien elkaar hier zonder gevaar kunnen ontmoeten of oplopen. Ondanks de sterk meanderende Moezel werd er bij de toenmalige rivierwerken naar gestreefd de bochtstralen groter te houden dan 500 m. Slechts in een paar gevallen moest van deze richtlijn worden afgeweken. De bocht met de kleinste straal is de zgn. Bremmer Bogen met een bochtstraal van 350 m. Bij deze bocht werd de toe te passen verbreding gesteld op: $B = L^2/2R$, waarbij voor $L = 165$ m. is genomen, hetgeen niet helemaal juist is geweest aangezien de huidige duwconvoeien een iets grotere lengte hebben (172 m.) Zo kwam men in bv. in de Bemmer Bogen tot een vaargeulbreedte van: $40 + 165^2/2 \cdot 350 = 78,5$ m.

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

Met behulp van de theorie die ons nu ter beschikking

staat is dit wel te begrijpen aangezien het bochtdeel met straal $R = 355$ m. bij Gorssel eveneens problemen zou geven bij een ontmoeting (zie blz. 100) terwijl de beschikbare breedte ongeveer gelijk is!

Voor wat betreft de Gelderse IJssel blijkt, dat de vaargeul zelfs bij O.L.R.(1972) bijna overal de 40 m. overschrijdt zodat op de rechte rakken geen problemen zullen ontstaan. In de bochten is het wat anders. Op de gehele IJssel zijn er een aantal bochten met kleine straal in combinatie met een beperkte breedte van de vaargeul. Om deze "ongemakken" op te vangen zijn er in dit rapport al diverse mogelijkheden ter verbetering aangedragen, opdat gevaarlijke situaties kunnen worden uitgesloten (hierbij is terugname van de snelheid de belangrijkste!).

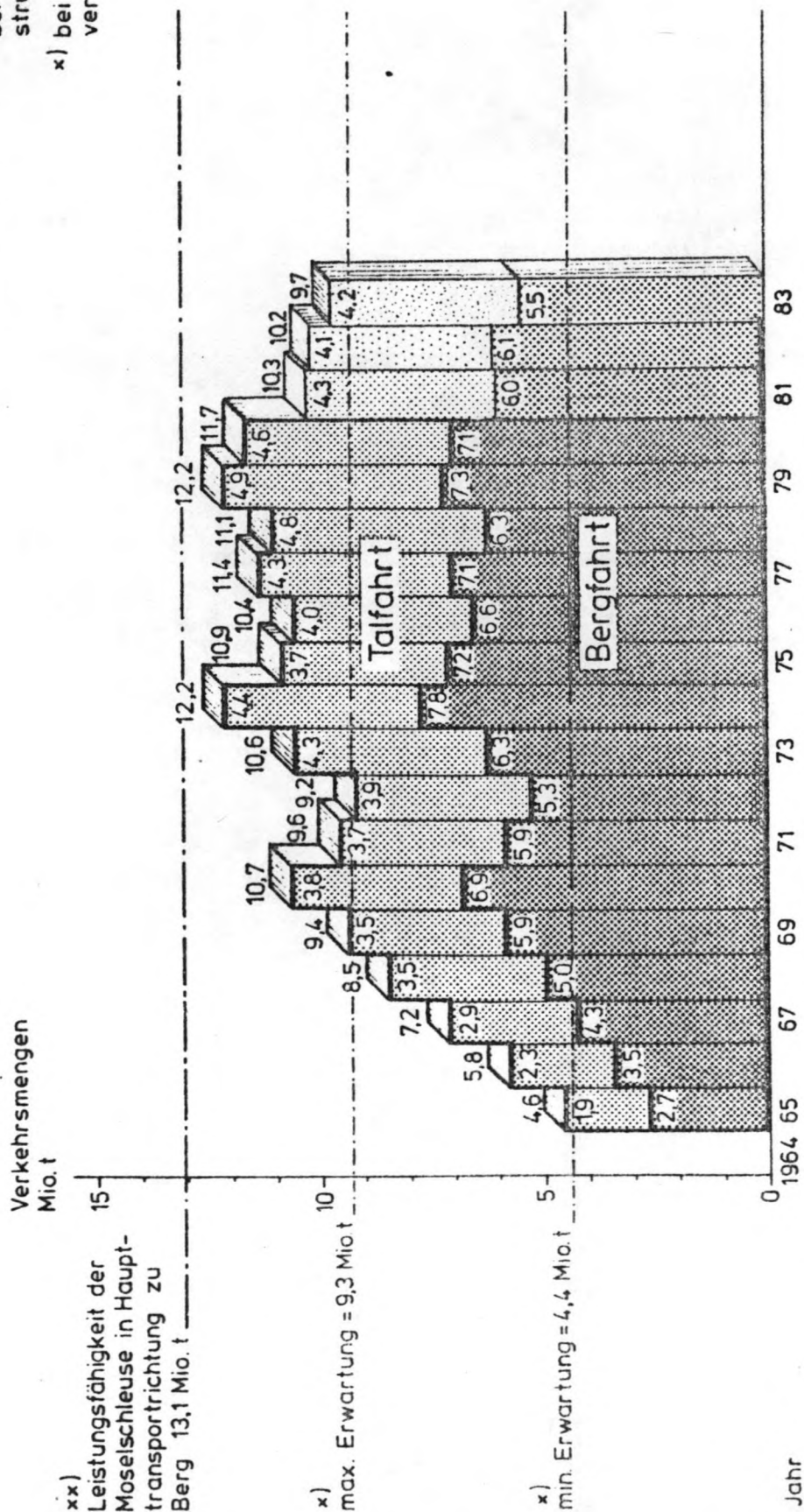
3. Vervoerd tonnage:

Wanneer men de bijlagen 3 en 66 met elkaar vergelijkt komt men tot de conclusie, dat het vervoerd tonnage aan goederen op de Gelderse IJssel al meer is dan op de Moezel! Als nadeel moet worden genoemd, dat op dit moment de goederen die over de Gelderse IJssel worden vervoerd minder geschikt zijn voor het vervoer per duwboot.

4. Vervoerspatroon

Een voordeel voor wat betreft 2-baksduwvaart op de Gelderse IJssel t.o.v. de Moezel is, dat de opvaart op de IJssel meestal ongeladen is en de afvaart geladen terwijl dit op de Moezel net andersom is. Zoals bekend vergt de ongeladen afvaart de grootste padbreedte zodat dit weer in het voordeel van de Gelderse IJssel pleit!

Anmerkung:
 xx) Normale Leistungsfähigkeit bei Jstzustand und Flottenstruktur 1980
 x) bei Abschluß des Moselvertrages 1956



Verkehrsentwicklung auf der Mosel von 1964 - 1983
 (Verkehrsdurchgänge der Schleuse Koblenz)

