



Technische Universiteit Delft

FACULTEIT 3mE

MARITIEME TECHNIEK

Mt 526

Hydromechanica 2

Deel 2 Geometrie en Stabiliteit

**ir. J. Pinkster
ing. C. J. Bom**

DELFT 2006

Voorwoord

In de kern is het dictaat Hydromechanica 2, Deel 2 Geometrie en Stabiliteit, tot stand gekomen dankzij inzet uit het verleden van o.a. Professor ir. J. Gerritsma, professor ir. J. A. Korteweg, universitair hoofddocent dr. ir. J.A. Keuning en docent ing. C. J. Bom.

Vanaf het studiejaar 2006-2007 zijn de vakken Beweging en Sturen 1 (mt 519, (1,5 EC)) en Geometrie en Stabiliteit (mt517, (2 EC)) opgenomen in het vak Hydromechanica 2 (mt526, (3 EC)).

Voorlopig bestaat het vak Hydromechanica 2 uit twee delen:

- Deel 1 Beweging en Sturen 1
- Deel 2 Geometrie en Stabiliteit

Het vak Hydromechanica 2 vertegenwoordigt een studielast van 3 EC (European Credits) i.p.v 3,5 EC (de oorspronkelijke som der bovengenoemde vakken "voor de fusie"). Binnen Hydromechanica 2 zal er t.z.t een selectie bekend gemaakt worden van de te bestuderen hoofdstukken van beide delen om zodoende aan de studielast van 2 EC te voldoen.

De verantwoordelijke docent voor het vak Hydromechanica 2 is ir. Jakob Pinkster.

De colleges en ondersteuning voor de beide delen worden verzorgd door:

- Deel 1 Beweging en Sturen 1 ir. Peter Naaijen
- Deel 2 Geometrie en Stabiliteit ir. Jakob Pinkster

Het dictaat is erop gericht om kennis en inzicht te geven in de materie aangaande Geometrie en Stabiliteit van het Schip. Eventuele op- of aanmerkingen gaarne richten aan J.Pinkster@tudelft.nl .

Ik wens een en ieder veel fijne leermomenten toe in dit boeiend vakgebied,

ir. Jakob Pinkster
8 augustus 2006
Delft

INHOUD

Lijst van Symbolen

1	Inleiding.....	1.1
1.1	Begripsbepaling.....	1.1
1.2	* Geschiedenis.....	1.1
1.3	* Literatuur hoofdstuk 1.....	1.2
2	Geometrie van het schip	2.1
2.1	Het lijnenplan.....	2.1
2.2	De hoofdafmetingen	2.4
2.3	De vormcoëfficiënten	2.8
2.4	* Het ontwerpen en tekenen van het lijnenplan.....	2.10
2.5	* Systematische modelseries	2.13
2.6	* "Formdata"	2.13
2.7	* Affine transformatie	2.14
2.8	* Literatuur hoofdstuk 2.....	2.15
3	Hydrostatische grootheden en carènediagram	3.1
3.1	De berekening van hydrostatische grootheden	3.1
3.2	Numerieke integratie	3.5
3.3	Carènediagram.....	3.12
3.4	* Computerprogrammatuur	3.18
3.5	Gebruik carènediagram	3.22
4	De stabiliteit van drijvende lichamen (schepen).....	4.1
4.1	Het evenwicht van drijvende lichamen.....	4.1
4.2	De aard van het evenwicht van drijvende lichamen	4.2
4.3	De verschuivingswet	4.4
4.4	De plaats van het metacenter	4.5
4.5	Dwarsscheepse stabiliteit	4.7
4.6	Langsscheepse stabiliteit.....	4.9
5	Dwarsscheepse stabiliteit (vervolg).....	5.1
5.1	Geometrische eigenschappen van de scheepsvorm.....	5.1
5.2	Dynamische stabiliteit en weg.....	5.2
5.3	De aard van het evenwicht bij uitwendige belasting.....	5.5
5.4	Het slingeren in vlak water	5.8
	Bepaling van de stabiliteit.....	5.13
5.5	Dwarskrommen van stabiliteit.....	5.13
5.6	Planimetermethode.....	5.14
5.7	* Benaderingsmethoden.....	5.16
5.8	Het uitzetten van de kromme van armen van statische stabiliteit	5.19
5.9	Invloed van vrijboord, laadhoofden, bovenbouwen, enz.	5.20
5.10	De invloed van de voorwaartse snelheid op de stabiliteit (in vlak water)	5.21
5.11	* Literatuur hoofdstuk 5.....	5.26
6	Dwarsscheepse stabiliteit (toepassingen)	6.1
6.1	Inleiding	6.1
6.2	Verplaatsen van gewichten	6.2
6.3	De hellingproef.....	6.3
6.4	Invloed van vrije vloeistofoppervlakken	6.5
6.5	Windbelasting	6.10
6.6	Aan de grond lopen	6.15
6.7	Schuivende lading	6.19
6.8	Waterovername.....	6.19

6.9	IJsafzetting	6.21
6.10	Bijzondere gevallen.....	6.23
6.11	* Bepaling van de GZ ϕ -kromme van een zeilschip m.b.v. computerprogrammatuur	6.26
6.12	* Literatuur hoofdstuk 6.....	6.29
7	Stabiliteit in zeegang	7.1
7.1	Inleiding	7.1
7.2	Stabiliteit in langsscheepse golven	7.1
7.3	Berekening van de stabiliteit in zeegang	7.4
7.4	* Modelproeven.....	7.6
7.5	* Criteria voor de beoordeling van de stabiliteit bij achter inkomende golven	7.7
7.6	* Literatuur hoofdstuk 7.....	7.7
8	Dwarsscheepse stabiliteit (beoordeling)	8.1
8.1	Inleiding	8.1
8.2	Stabiliteitscriteria	8.1
8.3	Het werk van J. Rahola	8.4
8.4	De stabiliteitsbalans (Prof. Wendel).....	8.5
8.5	De waarschijnlijkheid van niet-kenteren.....	8.7
8.6	* Stabiliteitsvoorschriften (intacte stabiliteit)	8.7
8.7	* Literatuur hoofdstuk 8.....	8.10
9	Verplaatsen van gewichten; laden en lossen	9.1
9.1	Het verplaatsen van gewichten	9.1
9.2	Het laden en lossen van kleine gewichten.....	9.1
9.3	Het laden en lossen van grote gewichten.....	9.4
9.4	* Enkele voorbeelden van trimdiagrammen berekend met behulp van computerprogrammatuur	9.8
9.5	* Literatuur hoofdstuk 9.....	9.9
10	Lekberekening.....	10.1
10.1	Historisch overzicht.....	10.1
10.2	Inleiding	10.1
10.3	Uitgewerkte voorbeelden.....	10.2
10.4	Lekberekening bij kleine diepgangs-, slagzij- en trimveranderingen.....	10.5
10.5	* Methode Kriloff.....	10.8
10.6	* Benaderingsmethoden.....	10.8
10.7	* Rekenmethoden	10.9
10.8	* Voorschriften op het gebied van de lekstabiliteit van diverse scheepstypen.....	10.9
10.9	'Overvloed' inrichtingen	10.11
10.10	'Damage-control'	10.12
10.11	* Literatuur hoofdstuk 10	10.13
11	Waterdichte indeling (schottenkromme).....	11.1
11.1	Inleiding	11.1
11.2	Uitgangspunten, begrippen en definities.....	11.1
11.3	* Computerprogrammatuur	11.4
11.4	Gebruik schottenkromme	11.4
11.5	Kromme van vulbare lengten	11.5
11.6	Permeabiliteit, indelingsfactor en criterium van dienst.....	11.9
11.7	* Benaderingsmethoden.....	11.10
11.8	* Literatuur hoofdstuk 11	11.11
12	Waterdichte indeling (equivalente methode)	12.1
12.1	Inleiding	12.1
12.2	Kritiek op de "factorenmethode"	12.1

* deze onderdelen hoeven niet voor het tentamen bestudeerd te worden

12.3	Uitgangspunten equivalente methode.....	12.3
12.4	Aanvullende eisen.....	12.3
12.5	"Required" and "attained subdivision index"	12.4
12.6	Bepaling "attained subdivision index A"	12.4
12.7	* Bepaling "attained subdivision index" bij horizontale en verticale langsscheepse waterdichte indeling.....	12.9
12.8	Enige voorbeelden	12.10
12.9	* Verdere ontwikkelingen	12.13
12.10	* Russische voorschriften	12.13
12.11	* Literatuur Hoofdstuk 12.....	12.14

Bijlagen

Bijlage 1	Capaciteitsplan van een motorvrachtschip
Bijlage 2	Carènediagram van een motorvrachtschip L = 75 m.
Bijlage 2A	Carènediagram van een motorvrachtschip L = 94 m.
Bijlage 3	Dwarskrommen van stabiliteit van een motorvrachtschip L = 75 m.
Bijlage 4	Trimdiagram van een motorvrachtschip L = 75 m.

* deze onderdelen hoeven niet voor het tentamen bestudeerd te worden

Lijst van Symbolen

symbool	betekenis	eenheid
A	oppervlak	m ²
A	arbeid	J (Nm)
A _m	grootspantoppervlak	m ²
A _w	waterlijnoppervlak	m ²
A _x	spantoppervlak ordinaat x	m ²
A _z	potentiële energie bij verplaatsing z	J (Nm)
x _B	afstand drukkingpunt tot 1/2 L _{ORD}	m
x _F (x _A)	afstand waterlijnzwaartepunt tot 1/2 L _{ORD}	m
x _G	afstand gewichtszwaartepunt tot 1/2 L _{ORD}	m
B	scheepsbreedte over alles	m
B _{OA}	scheepsbreedte volgens de mal	m
B	drukkingpunt	
BM	afstand van drukkingpunt tot aanvangsmetacenter	m
BM _L	afstand van drukkingpunt tot langsmetacenter	m
c	volume coëfficiënt = $\frac{\Delta}{\rho \nabla}$	
C _B	blok coëfficiënt	
C _{BA}	blok coëfficiënt achterschip tot 1/2 L _{ORD}	
C _{BF}	blok coëfficiënt voorschip tot 1/2 L _{ORD}	
C _m	grootspant coëfficiënt	
C _p	prismatische coëfficiënt	
C _{PA}	prismatische coëfficiënt achterschip tot 1/2 L _{ORD}	
C _{PF}	prismatische coëfficiënt voorschip tot 1/2 L _{ORD}	
C _{VP}	vertikale prismatische coëfficiënt	
C _{WP}	waterlijn coëfficiënt	
CWL	constructiewaterlijn of ontwerplastlijn	
D	scheepsholte volgens de mal	
D _{ST}	dynamische stabiliteit	J (Nm)

symbool	betekenis	eenheid
D_W	draagvermogen, deadweight	t
e_φ	dynamische weg	m rad
E_K	kinetische energie	J (Nm)
E_p	potentiële energie	J (Nm)
F	vrijboord	m
F	kracht	N
F	waterlijn zwaartepunt	
F_N	getal van Froude	
g	versnelling van de zwaartekracht	m/s^2
G	massa zwaartepunt	
GM	aanvangsmetacenterhoogte	m
GM_L	langsmetacenterhoogte	m
GN_φ	afstand van vals metacenter bij helling 0° tot massazwaartepunt	m
GZ_φ	arm van statische stabiliteit	m
i_E	halve intreehoek waterlijn	gr
I_L	langstraagheidsmoment (v.e. waterlijn)	m^4
I_T	dwarstraagheidsmoment (v.e. waterlijn)	m^4
k_φ	$KN_N \sin\varphi$	m
K	kielpunt (snijpunt van symmetrievlak en basislijn)	
KB	afstand drukingspunt boven basis	m
KG	afstand massa zwaartepunt boven basis	m
KM	afstand aanvangsmetacenter boven basis	m
KM_L	afstand langsmetacenter boven basis	m
KN_φ	afstand vals metacenter bij hellingshoek φ boven basis	m
L_{OA}	lengte over alles	m
L_{ORD}	lengte tussen ord. 0 - 20	m
L_{PP}	lengte tussen de loodlijnen	m

symbool	betekenis	eenheid
L_{WL}	lengte van de waterlijn	m
L_{Δ}	deplacementslengte	m
LCB	afstand drukingspunt tot ALL	m
LCF	afstand waterlijnzwaartepunt tot ALL	m
LCG	afstand gewichtszwaartepunt tot ALL	m
l_a	afstand van zwaartepunt lastlijn tot ord. 0	m
l_f	afstand van zwaartepunt lastlijn tot ord. 20	m
m	massa	t
M	moment	Nm
M	aanvangsmetacentrum	
M_{ϕ}	ware metacentrum bij een hellingshoek	
M_L	langsmetacentrum	
$M_{0.01}$	moment voor 1 cm trimverandering	Nm
M_K	kenterend of hellend moment	Nm
M_{TR}	trimmend moment	Nm
M_{ST}	stabiliteitsmoment (langs of dwars)	Nm
R	kimstraal, kromtestraal	m
R	reactiekracht	N
S	nat oppervlak	m ²
S_A	zeeg achter	m
S_F	zeeg voor	m
S_x, S_y, S_z	statisch moment oppervlak t.o.v. resp x, y en z-as	m ³
T	slingerperiode	sec
T	diepgang volgens de mal	m
ΔT	diepgangsverandering	m
T_A	diepgang op ord. 0	m
T_F	diepgang op ord. 20	m
T_M	diepgang tot onderkant kiel op $\frac{1}{2} L_{ORD}$	m

symbool	betekenis	eenheid
$T_{\max}$	maximale diepgang (incl. kiel)	m
t	totale trim	m
t	vlaktiling	m
v	scheepssnelheid	m/s
v	volume	m ³
∇	waterverplaatsing volgens de mal	m ³
∇_A	waterverplaatsing achterschip tot $\frac{1}{2} L_{ORD}$	m ³
∇_F	waterverplaatsing voorschip tot $\frac{1}{2} L_{ORD}$	m ³
∇_φ	waterverplaatsing bij hellingshoek φ	m ³
Δ	massa van het verplaatste water (displacement)	t
$\Delta\Delta$	toename displacement bij 1 cm diepgangsvermeerdering	t
ρ	dichtheid of soortelijke massa	t/m ³
θ	trimhoek	gr
μ	permeabiliteit	
ω	hoeksnelheid	rad/sec
φ	hellingshoek, slagzij	gr
φ_D	slagzij waarbij het dek te water komt	gr
φ_d	dynamische taludhoek (lading)	gr
φ_K	kenterhoek, stabiliteitsomvang	gr
φ_L	"angle of loll"	gr
$\varphi_{\max}$	slagzij waarbij GZ maximaal is	gr
φ_r	dwarsscheepse hellingshoek i.v.m. de dynamische stabiliteit	gr
φ_s	statische taludhoek (lading)	gr
φ_{WD}	slagzij waarbij niet waterdichte openingen te water komen	gr

Opmerking: Vaak worden in publicaties en voorschriften afwijkende symbolen en definities gebruikt. Men raadplege daarom steeds de oorspronkelijke tekst!

HOOFDSTUK 1

1 Inleiding

1.1 Begripsbepaling

Stabiliteit is een algemeen begrip. Wij kunnen er onder verstaan:

alle eigenschappen die een schip, of een andere drijvende constructie, vertoont als het uit een evenwichtsstand wordt gebracht.

Het is daarbij niet van belang of de verstoring een hoekverdraaiing of een lineaire verplaatsing ten opzichte van de evenwichtsstand ten gevolge heeft. In het algemeen zullen zowel statische als dynamische verschijnselen een rol spelen. In dit college zal de behandeling in hoofdzaak beperkt worden tot de statische verschijnselen; de verstoring van het evenwicht komt oneindig langzaam tot stand. Bij de bespreking van het slingeren wordt wel enige aandacht gegeven aan dynamische aspecten.

Onder **geometrie** wordt hier de meetkunde van de (ruimtelijke) scheepsvorm verstaan alsmede de meetkundige eigenschappen die de vorm van het schip, of een andere drijvende constructie, bezit.

1.2 * Geschiedenis

Het is nuttig enkele hoofdzaken uit de geschiedenis van dit vakgebied te memoreren.

Bekend is natuurlijk Archimedes (212 jr. voor Chr.) met onderzoek aan drijvende lichamen. Wet van Archimedes.

De Griekse wetenschap was "1500 in West-Europa echter geheel onbekend, dus ook het werk van Archimedes.

Simon Stevin (1548 - 1620), generaal-kwartiermeester in het Hollandse leger heeft het evenwicht van drijvende lichamen opnieuw onderzocht en daarbij de Wet van Archimedes herontdekt.

"Wisconstige Gedachtnisse" (1608).

Pierre Bouguer (1698 - 1758) hydrograaf en wiskundige ontdekt het metacentrum en de trapeziumregel en noemt de hellingproef.

"Traité du Navire, de sa construction de ses mouvements" (1746).

Leonhard Euler (1707 - 1783), professor in de wiskunde in St. Petersburg berekent het traagheidsmoment van de lastlijn, stelde de drie evenwichtstoestanden van drijvende lichamen op, bepaalde het moment van de in- en uittredende wiggen enz. Zijn belangrijkste werk is: "Scientia navalis, seu tractatus de construendis ac dirigendis navibus" (1749).

Van belang is verder de oprichting van de "Académie Française des Sciences" in 1666, welke in later jaren ("1750) prijsvragen uitschrijft voor werken op het gebied van de scheepstheorie. Daarvan gaat een grote stimulans uit waardoor Frankrijk's scheepsbouw in de 18e eeuw een leidende positie inneemt.

Daniel Bernouilli (1700 - 1782) natuurkundige.

Definieert het stabiliteitsmoment als product van scheepsgewicht en arm van stabiliteit. Bekendste werk op het gebied van slingeren van schepen: "Le roulis et le tangage" (1757). Deze studie verkrijgt de prijs van de Academie.

Frederic Hendrik Chapman (1721 - 1808). Zweed van Engelse afkomst, chef-constructeur van de Zweedse Marine brengt de nieuwe verworven kennis als eerste in de praktijk. Studeerde wiskunde o.a. bij Thomas Simpson in London. Ontwierp vaartuigen voor de Zweedse Marine die tot de beste van zijn tijd werden gerekend.

"Architecture navalis mercatoria" (1768) met tekeningen van diverse typen vaartuigen.

"Tractat on Skeppsbyggeriet" (1775) leer- en handboek voor theoretische scheepsbouw en ontwerpen van schepen.

De berekening van de stabiliteit bij grotere hellingshoeken werd eerst mogelijk toen Atwood zijn formule voor de grootte van het stabiliteitsmoment had gepubliceerd:

"Disquisition on the stability of ships" in de Philosophical transactions of the Royal Society of London 1796 -1798.

Het belang van kennis omtrent de slingerbeweging voor de stabiliteit van een schip wordt onderkend door de bekende Engelse onderzoeker William Froude:

"On the rolling of ships" in de transactions van de Institute of Naval Architects 1861.

Rahola publiceert in zijn doctoraal thesis de eerste aanzet voor criteria voor intacte stabiliteit gebaseerd op een statistische analyse van gekapseide schepen:

"The judging of the stability of ships and the determination of the minimum amount of stability", 1939.

Een probabilistische benadering (op basis van kansrekening) van waterdichte indeling en lekstabiliteit werd door de Duitser Kurt Wendel mogelijk gemaakt:

"Die Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Verletzungen" in Schiffstechnik 1960.

1.3 * Literatuur hoofdstuk 1

- [1.1] Theorie du Navire, Pollard et Dudebout
Paris 1890
- [1.2] Die Stabilität von Schiffen, A. Schmidt
Berlin 1892
- [1.3] "Quelques aspects de l'architecture navale au cours du XVIIIe siècle"
W.F. Stoot
ATMA 1958 bl. 127 - 165
- [1.4] "Zeichnerische Festlegung der Schiffsform in der Vergangenheit"
Gerhard Timmermann
Schiff und Hafen 1961, Heft 1 bl. 43 - 47
- [1.5] "Schiffstheorie im 17. und 18. Jahrhundert"
G. Timmermann
Schiff und Hafen 1962, Heft 6 bl. 553 - 556
- [1.6] "Das Eindringen der Naturwissenschaft in das Schiffbauhandwerk"
Gerhard Timmermann
Deutsches Museum Abhandlungen und Berichte 30. Jahrgang, Heft 3 München 1962
- [1.7] "Historical roots of the theory of hydrostatic stability of ships"
Horst Nowacki, Proceedings 8th International Conference on the Stability of Ships and Ocean
ehicles, 2003.

HOOFDSTUK 2

2 Geometrie van het schip

Teneinde de vorm van een lichaam eenduidig vast te leggen, staan een aantal mogelijkheden ter beschikking, afhankelijk van in hoeveel dimensies het lichaam is gedefinieerd en de complexiteit van de vorm.

De eerste mogelijkheid is een **analytische formulering** te geven voor de vorm van een lichaam.

Meestal is dit slechts mogelijk voor relatief eenvoudige geometrieën, zoals cirkels, ellipsen, parabolen en rechthoeken en voor omwentelingslichamen zoals bijv. bollen, ellipsoïden, kegels, resp. twee- en driedimensionaal.

Bij zeer ingewikkelde vormen, zoals bijvoorbeeld de scheepsvorm, is het bijna nooit mogelijk een analytische formulering te vinden. In dat geval wordt voor het weergeven van de vorm de toevlucht genomen tot **grafische presentatie**.

In een plat vlak (2-D), is het mogelijk ingewikkelde vormen weer te geven. Door van een 3-D vorm op verschillende plaatsen doorsneden te maken (2-D) en de onderlinge relaties, bijv. afstand en oriëntatie, ten opzichte van elkaar vast te leggen, ontstaat een beeld van de weer te geven vorm.

2.1 Het lijnenplan

De vorm van het schip wordt vastgelegd in een verzameling doorsneden: het **lijnenplan** (lines drawing).

Men denke zich de huid van het schip oneindig dun en de vorm van het driedimensionaal gebogen oppervlak dat op deze wijze ontstaat, wordt beschreven door de lijnentekening. Het zogenaamde gemalde oppervlak wordt gevormd door de buitenkant van de spanten. Bij stalen schepen wordt het scheepsoppervlak volgens de mal weergegeven. Bij houten schepen is de buitenkant van de planken glad en daarom worden de lijnen op de buitenkant van de huid getekend; het is niet ongebruikelijk een tweede tekening op de buitenkant van de spanten te maken voor constructiedoeleinden.

De scheepsvorm is meestal symmetrisch t.o.v. het langsscheepse vlak dat gaat door het midden van kiel en stevens. Slechts één helft van het schip hoeft dus getekend te worden.

Het scheepsoppervlak wordt doorsneden door drie stelsels evenwijdige vlakken, die loodrecht op elkaar staan.

Het eerste stelsel evenwijdige vlakken is evenwijdig aan het wateroppervlak; deze doorsnijdingskrommen met het scheepsoppervlak zijn de **waterlijnen**. De doorsnijdingskrommen die samenvalt met het wateroppervlak is de **lastlijn**, constructiewaterlijn of ontwerpwaterlijn (designed loadwaterline).

Het tweede stelsel evenwijdige vlakken is evenwijdig aan het langsscheepse symmetrievlak; deze doorsnijdingskrommen met het scheepsoppervlak zijn de **verticalen** (buttock lines).

Het derde stelsel doorsnijdingskrommen staat loodrecht op de beide andere stelsels. De doorsnijdingskrommen zijn in dit geval: de **ordinaten**, verdeelspanten of kortweg spanten (ordinates); niet te verwarren met bouwspanten (frames).

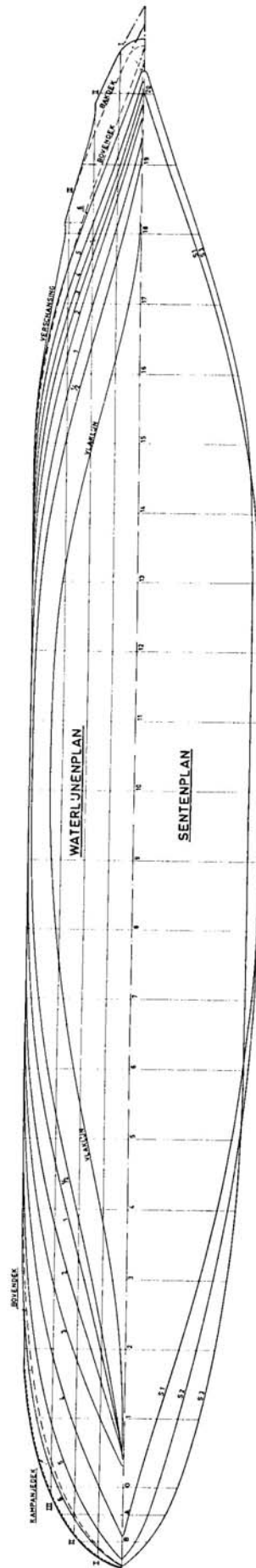
De doorsnijdingskrommen worden geprojecteerd op drie onderling loodrechte vlakken, die evenwijdig zijn aan de drie stelsels van snijvlakken; zo ontstaan **waterlijnenplan, langsplan** en **spantenraam** (half breathplan, sheerplan, bodyplan) zie fig. 2.1.

Als extra controle op de scheepsvorm worden een aantal **senten** getekend

(diagonals). Dit zijn vlakken die het middenlangsvlak horizontaal doorsnijden; ze worden zodanig gekozen dat ze zoveel mogelijk spanten min of meer loodrecht doorsnijden.

figuur 2.1

2.2



ZIEG IN DE ZIJDE VAN HET BOVENROCK OP DE VIL.
 ZIEG IN DE ZIJDE VAN HET BOVENROCK OP DE ALL.
 VLAETTING OP DE GROOTSTE BREEDTE
 KONSTRAAL
 OERBONDE VAN HET BOVENROCK
 AFSTAND ORDINATEN
 AFSTAND WATERLUIJEN
 AFSTAND VERTIKALEN.

LENTIE OVER ALLES	t_{sp}
LENTIE OP DE KONSTRUKTIEWATERLIN	t_{sp}
LENTIE TUSSEN DE LOODLIJNEN (ORD 5 EN ORD 28)	t_{sp}
GRADOSTE BREEDTE NAAR DE MAL	B
MOLTE IN DE ZIJDE TOT HET BOVENDEK OP $\frac{1}{2} l_{sp}$	$\frac{1}{2} l_{sp}$
ONTWERPDEPAG OP $\frac{1}{2} l_{sp}$	$\frac{1}{2} l_{sp}$
VOLUME BU DEE DEPAG NAAR DE MAL	V
AFSTAND DRUKKINGSPUNT (8) TOT $\frac{1}{2} l_{sp}$	$\frac{1}{2} l_{sp}$
AFSTAND DRUKKINGSPUNT (18) TOT BASISLIN	l_{sp}
COEFFICIENTEN VOOR	C_p C_p C_m

De coördinaten van een punt van het scheepsoppervlak moeten in de verschillende projecties uiteraard met elkaar overeenstemmen.

Een voorwaarde is dat de vorm in alle richtingen moet stroken.

Ter onderscheid worden alle waterlijnen, verticalen, ordinaten en senten genummerd.

Het aantal doorsnijdingskrommen dat men kiest hangt af van de vorm van het schip en de verlangde nauwkeurigheid. Bij het voorontwerp is de nauwkeurigheid kleiner dan bij het definitieve lijnenplan.

Voor dit lijnenplan gebruikt men tenminste 21 ordinaten op gelijke afstanden verdeeld over de lengte. Extra ordinaten worden getekend t.p.v. sterke krommingen van het scheepsoppervlak; bijv. bij volle schepen in het voor- en achterschip.

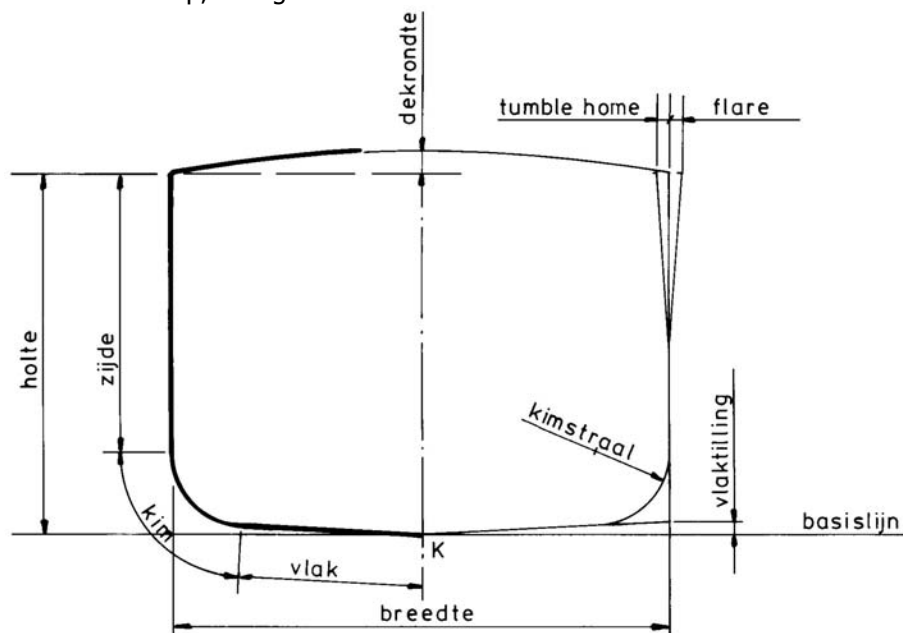
Er zijn meestal 3 tot 5 verticalen en 6 of meer waterlijnen. Het is gebruikelijk om de waterlijnen en verticalen op afstanden te plaatsen die een afgeronde maat hebben; voor waterlijnen en verticalen geldt een afstand van 100 mm of een veelvoud ervan.

Voor schepen die met een hellende kiellijn zijn ontworpen (stuurlast), worden de waterlijnen evenwijdig aan de ontwerpwaterlijn en de spanten loodrecht op de waterlijnen getekend.

Zeegaande schepen, jachten enz. kunnen **zeeg** (sheer) hebben om het vrijboord aan de einden te vergroten; er is daardoor minder kans op water aan dek en het reservedrijfvermogen wordt vergroot. Dit komt tot uiting in de vorm van het bovenste doorlopende dek, dat dan enigszins hol verloopt; de snijlijn van dit dek met de scheepshuid is de **deklijn in de zijde** (fig. 2.24). Als gevolg van de **dekrondte** (camber) kan een deklijn op hartschip worden onderscheiden. De dekrondte t.p.v. het grootspant bedraagt veelal $1/50$ van de breedte van het schip.

Het deel van het schip dat zich achter en boven het roer bevindt is het **hek**; de snijlijn van het hek met het langsscheepse symmetrievlak is de **gillinglijn** (fig. 2.22). Afhankelijk van de vorm van het hek wordt gesproken over spiegel-, kruiser- of elliptisch hek.

Het **grootspant** (midship section) is de verticale dwarsdoorsnede van het scheepsoppervlak t.p.v. de grootste breedte van het schip, zie fig. 2.2.



figuur 2.2

Bij deze doorsnede worden onderscheiden:

- het **vlak** (bottom) met eventueel **vlaktilling** (deadrise);
 - de **kim** (bilge) met cirkelvormige, parabolisch gevormde, geknikte of rechte hoek;
 - de **zijden** (sides)
- invallende spanten **tumblehome**;
het uitwaaien van de spanten wordt **flare** genoemd.

2.2 De hoofdafmetingen

Lengte

In de scheepsbouwkunde wordt de lengte van het schip zeer verschillend gedefinieerd, zie fig. 2.3; het is dus steeds noodzakelijk na te gaan welke lengte bedoeld wordt. De belangrijkste zijn:

Lengte volgens klassebureau: L

Deze lengte is de afstand gemeten op de zomerlastlijn van de voorkant van de voorsteven tot de achterkant van de roersteven of tot hart roerkoning als geen roersteven aanwezig is. De lengte mag niet kleiner zijn dan 96% en hoeft niet groter te zijn dan 97% van de lengte op de zomerlastlijn. Deze lengte wordt door de classificatiemaatschappijen Lloyds register, Det Norske Veritas, Bureau Veritas, Duitsch Lloyd en American Bureau of shipping gebruikt bij het vaststellen van de afmetingen van de verbanddelen.

Lengte tussen ord. 0 en 20: L_{ord}

Op deze lengte wordt de ordinaatverdeling van het lijnenplan gebaseerd. Ord. 0 ligt gewoonlijk op hart roerkoning of op de achterkant roersteven op hart schip; ord. 20 gaat door het snijpunt van de ontwerpwaterlijn en de malkant (binnenkant huid) van de voorsteven.

Lengte tussen de loodlijnen: L_{ll}

(length between perpendiculars L_{pp})

Deze lengte wordt gemeten tussen twee denkbeeldige verticale lijnen: de voorloodlijn (VLL) en de achterloodlijn (ALL). De VLL gaat door het snijpunt van de ontwerpwaterlijn en de voorkant van de voorsteven en de ALL valt samen met de achterkant van de roersteven op hart schip of met hart roerkoning wanneer geen roersteven aanwezig is. De lengte tussen de loodlijnen is een praktische lengtemaat, die in veel gevallen slechts weinig afwijkt van L en L_{ord} .

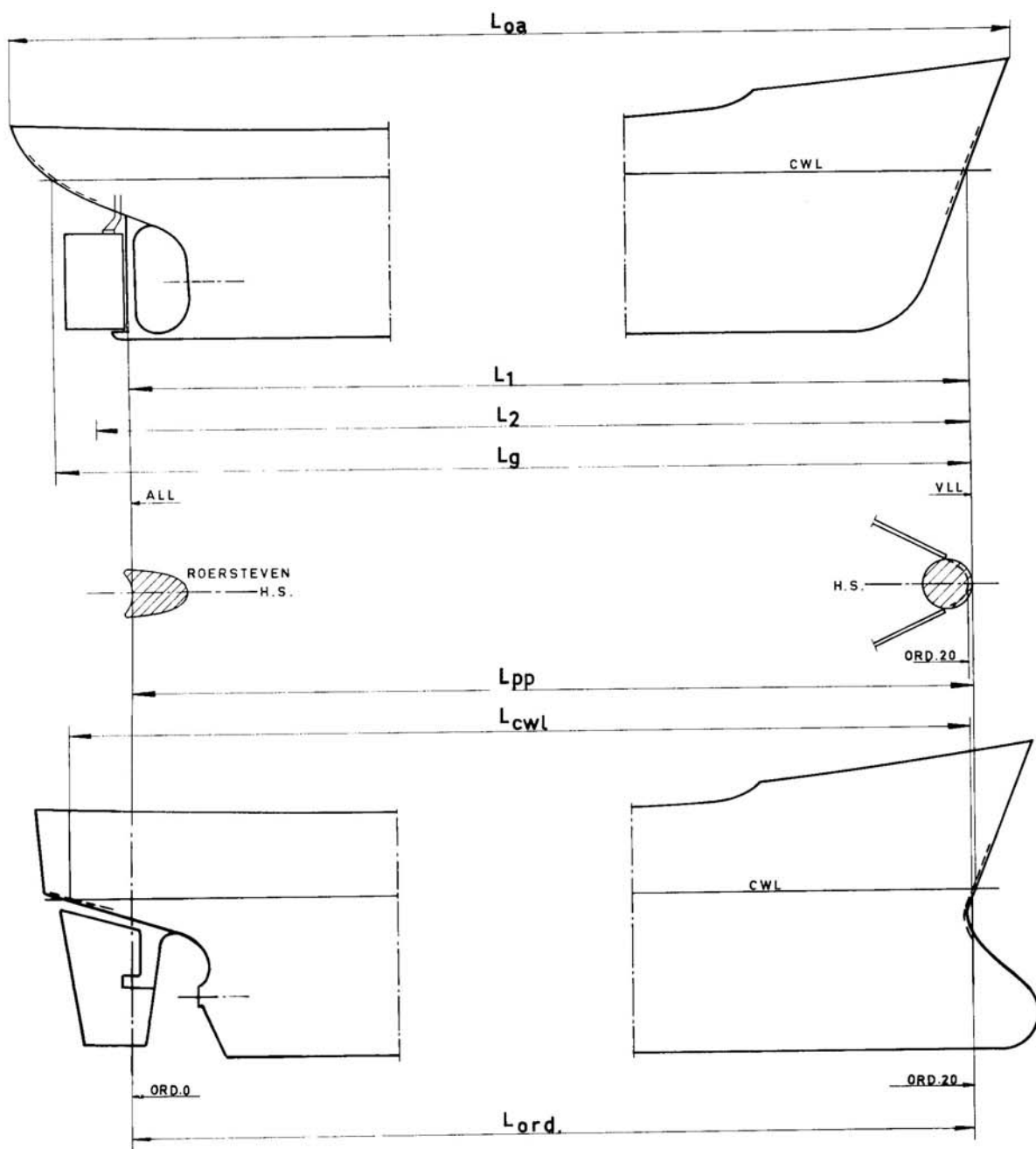
Lengte op de lastlijn of constructiewaterlijn: L_{cwl}

Dit is de horizontale afstand op de ontwerpwaterlijn tussen de malkant van de voor- en achtersteven (binnenkant huid). Deze lengte is van belang voor hydrodynamische berekeningen.

Lengte over alles: L_{oa}

Dit is de horizontale afstand tussen het voorste en achterste punt van de scheepsromp, gemeten op buitenkant huid. Losse aanhangsels als vlaggenstokken e.d. worden niet meegerekend. Deze lengte is van belang voor dokken, sluizen en kadelen.

NB. Afwijkende definities van scheepslengte worden gehanteerd bij vele overheidsinstanties (o.a. bij uitwaterings-, scheepsmeting- en bemanningsvoorschriften).



- L = LENGTE VOLGENS KLASSEBUREAU = L_1 OF L_2 ; $L_2 = 0,96 L_g$
 GROOTSTE WAARDE AANHOUDEN. (MET EEN MAXIMUM $0,97 L_g$)
 L_{oa} = LENGTE OVER ALLES.
 L_{cwl} = LENGTE WATERLUN GEMETEN OP DE CWL.
 L_g = LENGTE OVER ALLES GEMETEN OP DE WATERLUN
 $L_{ord.}$ = LENGTE TUSSEN ORD. 0 EN ORD. 20.
 L_{pp} = LENGTE TUSSEN DE LOODLIJNEN

figuur 2.3

De breedte: B

De breedte naar de mal **B_{mal}** is de grootste breedte van het schip gemeten op buitenkant spanten. De breedte over alles **B_{oa}** is de grootste breedte, gemeten over de buitenkant van het schip inclusief vaste delen zoals berghouten e.d.

De holte: D (depth)

De holte wordt op $\frac{1}{2} L_{ll}$ gemeten en is de verticale afstand tussen het bovenste doorlopende dek in de zijde op bovenkant dekbalken en de basislijn.

De diepgang: T (draft, draught)

De gemalde diepgang T is de verticale afstand tussen de ontwerpwaterlijn en de basislijn (bovenkant kielplaat), gemeten op $\frac{1}{2} L_{ll}$. De diepgang **T_{max}** wordt gemeten tot de onderkant van de kiel.

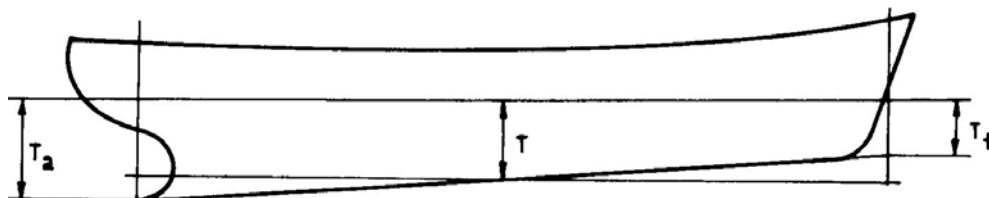
Verder worden nog onderscheiden de diepgang vóór **T_f** en de diepgang achter **T_a**, die op de loodlijnen worden gemeten.

$$T = (T_f + T_a)/2 \quad \begin{array}{ll} \text{als } T_f < T_a & \text{dan is het schip } \mathbf{stuurlastig}; \\ \text{als } T_f > T_a & \text{dan is het schip } \mathbf{koplastig}. \end{array}$$

het verschil tussen T_f en T_a is de **trim = t**.

Bij een rechtsdraaiend assenstelsel is de trim voorover (koplast) positief; echter in verschillende publicaties en boeken wordt hiervan afgeweken, let daarom altijd goed op de gebruikte tekenafspraken.

figuur 2.4



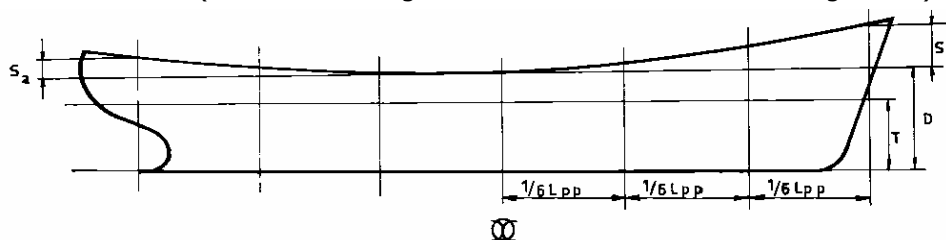
De zeeg

De zeeg is de verticale afstand tussen het laagste punt van de deklijn in de zijde (op bovenkant dekbalk) en het beschouwde punt van de deklijn in de zijde. De zeeg op VLL is **S_f** en op de ALL **S_a** (sheer forward, sheer aft). De standaardzeeg volgens de uitwateringsvoorschriften is in de onderstaande tabel gegeven:

standaard zeeg (mm)

ALL	25 * c	VLL	50 * c	$c = L_{pp}/3 + 10$
$1/6 L_{pp}$	11.1 * c	$1/6 L_{pp}$	22.2 * c	L_{pp} in m
$1/3 L_{pp}$	2.8 * c	$1/3 L_{pp}$	5.6 * c	
midscheeps	0	(de standaardzeeg vóór is tweemaal de standaardzeeg achter)		

figuur 2.5



De waterverplaatsing en het displacement

De **waterverplaatsing** is het volume van het deel van het schip onder de ontwerpwaterlijn (lastlijn). Onderscheiden wordt:

- waterverplaatsing op buitenkant spanten: L (m^3)
- waterverplaatsing incl. huid, anhangsels, e.d.: $c.L$ (m^3)
- het **displacement** is de massa van het verplaatste water: $\rho = D.c.L$ (t)

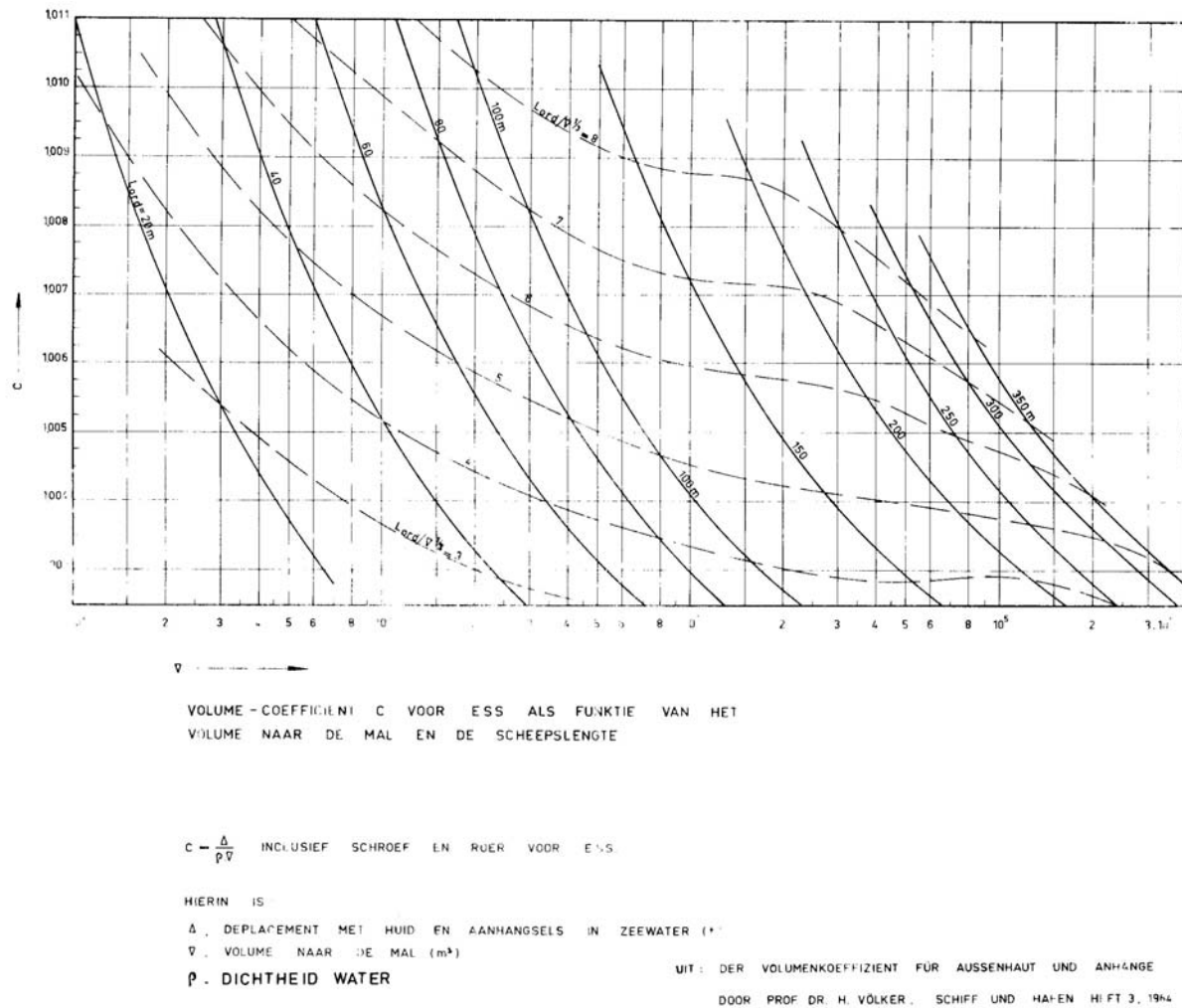
D is de dichtheid van water in t/m^3

D = 1.000 t/m^3 zoet water **D** = 1.028 t/m^3 Atlantische Oceaan

D = 1.015 t/m^3 Oostzee **D** = 1.030 t/m^3 Middellandse Zee

D = 1.025 t/m^3 Noordzee

Voor coëfficiënt c zie figuur 2.6.



figuur 2.6

De verhoudingen van de hoofdafmetingen

Er zijn een aantal dimensieloze verhoudingen tussen de hoofdafmetingen in gebruik die een globaal beeld geven van de vorm van een schip. Zij worden gebruikt bij het ontwerp van het schip om bijvoorbeeld vergelijking mogelijk te maken. Soms zijn deze verhoudingen van belang voor berekeningen op het gebied van sterkte, weerstand, voortstuwing, stabiliteit en scheepsbewegingen. We kennen in dit verband:

- L/B 6.0 - 7.5 (snelle containerschepen max. 8.6; sleepboten min. 3.5)
- L/D 10.5 - 14.0 (binnenvaart 30)
- B/T 2.2 - 2.8 (passagiersschepen, Ro-Ro en veerboten maximaal 4.5)
- D/T 1.2 - 1.8 (autotransportschepen, Ro-Ro en veerboten maximaal 2.8)

2.3 De vormcoëfficiënten

Dit zijn de verhoudingen tussen oppervlakken, inhouden en de hoofdafmetingen, zie figuur 2.7.

$$\text{waterlijn - of laslijncoëfficiënt : } c_{wp} = \frac{\text{oppervlak lastlijn}}{L_{ord} B} = \frac{A_w}{L_{ord} B}$$

$$\text{grootspantcoëfficiënt : } c_{wp} = \frac{\text{oppervlak grootspant}}{B T} = \frac{A_m}{B T}$$

$$\text{blokcoëfficiënt : } c_{wp} = \frac{\text{waterverplaatsing}}{L_{ord} B T} = \frac{\nabla}{L_{ord} B T}$$

langsscheepse prismatische coëfficiënt :

$$c_p = \frac{\text{waterverplaatsing}}{\text{inhoud cilinder met lengte } L_{ord} \text{ en doorsnede } A_m} = \frac{\nabla}{L_{ord} A_m}$$

verticale prismatische coëfficiënt :

$$c_{vp} = \frac{\text{waterverplaatsing}}{\text{inhoud cilinder met hoogte } T \text{ en doorsnede } A_w} = \frac{\nabla}{T A_w}$$

Er geldt:

$$c_p = \frac{\nabla}{L_{ord} A_m} = \frac{c_b L_{ord} B T}{L_{ord} c_m B T} = \frac{c_b}{c_m}$$

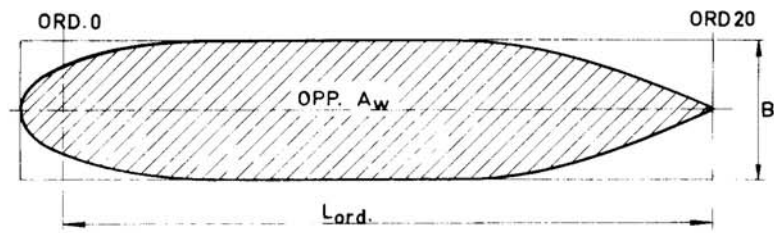
$$c_{vp} = \frac{\nabla}{T A_w} = \frac{c_b L_{ord} B T}{T c_{wp} L_{ord} T} = \frac{c_b}{c_{wp}}$$

De langsscheepse prismatische coëfficiënt c_p kan worden gesplitst in een coëfficiënt voor het achter-schip c_{pa} en voor het voorschip c_{pf} , die gescheiden worden door ord. 10.

$$c_{pa} = \frac{\nabla_a}{1/2 L_{ord} B T c_m} = \frac{\nabla_a}{1/2 L_{ord} A_m}$$

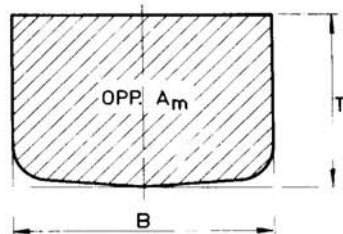
$$c_{pf} = \frac{\nabla_f}{1/2 L_{ord} B T c_m} = \frac{\nabla_f}{1/2 L_{ord} A_m}$$

$$\text{steeds geldt: } \frac{c_{pa} + c_{pf}}{2} = c_p$$



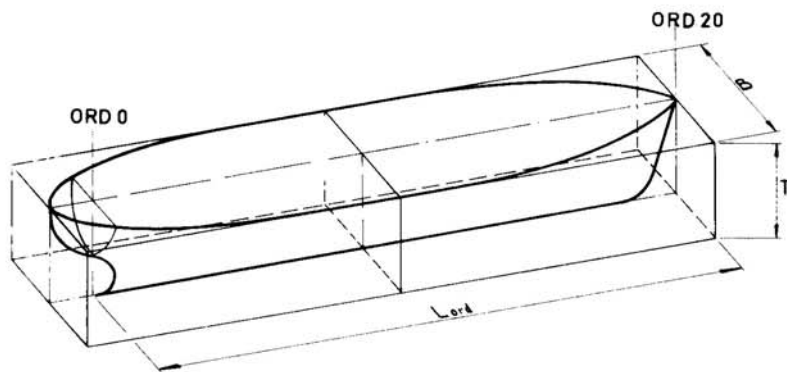
LASTLUN - COËFFICIËNT

$$C_{wp} = \frac{A_w}{L_{ord} \cdot B}$$



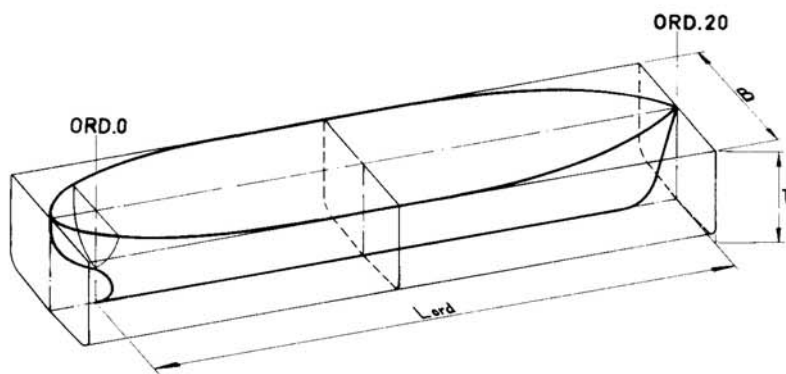
GROOTSPANT - COËFFICIËNT

$$C_m = \frac{A_m}{B \cdot T}$$



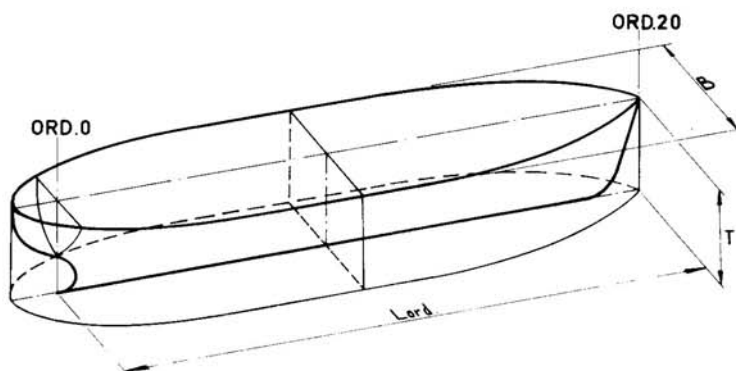
BLOK - COËFFICIËNT

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{ord} \cdot B \cdot T}$$



LANGSSCHEEPSE
PRISMATISCHE - COËFFICIËNT

$$C_p = \frac{\nabla}{A_m \cdot L_{ord}}$$



VERTIKALE
PRISMATISCHE - COËFFICIËNT

$$C_{vp} = \frac{\nabla}{A_w \cdot T}$$

figuur 2.7

2.4 * Het ontwerpen en tekenen van het lijnenplan

Enkele voorbeelden van verschillende typen scheepsvormen zijn gegeven in de figuren 2.8 t/m 2.19.

De basisgegevens die nodig zijn voor het ontwerp van een scheepsvorm zijn:

scheepstype, hoofdafmetingen, waterverplaatsing, snelheid en vaargebied.

Een aantal van deze gegevens wordt door de reder geformuleerd, andere volgen uit het ontwerp van het schip.

Enkele hoofdzaken zijn:

- deadweight/deplacement verhouding
- snelheid
- lengtebepaling: o.a. Posdunine, Schneekluth
- breedte, diepgang en holte
- blok- en grootspantcoëfficiënt
- drukingspunt in lengte
- controle stabiliteit
- weerstand: wrijvings- en restweerstand

Contouren

In de eerste plaats is het nodig om de contour van het langsplan en het grootspant te tekenen. Deze geven de begrenzingen van de diverse doorsneden aan.

Achtersterven

Voordat de vorm van de achtersterven kan worden vastgelegd moeten het type en de afmetingen van het roer worden bepaald; hiervoor zijn in figuur 2.20 de nodige gegevens verzameld.

De vorm van de schroefsterven wordt bepaald door de afmetingen van de schroef en de noodzakelijke vrijslagen. De diameter van de schroef is in het algemeen niet groter dan 70 % van de ontwerpdiepgang. De grootte van het bladoppervlak wordt o.m. bepaald door de eis van cavitatievrijheid of een zodanige cavitatie dat het rendement van de schroef niet ongunstig beïnvloed wordt. Bij marineschepen kan geringe ruisvorming van belang zijn.

In figuur 2.21 zijn in tabelvorm de projecties gegeven van de vierbladige B-serie schroeven van het MARIN met een bladoppervlakte verhouding van 40 % en spoedverhoudingen van 0.6 t/m 1.4.

De belangrijkste vrijslagen tussen schroef en schroefsterven zijn gegeven in figuur 2.22 en 2.23. Volgende grote vrijslagen zijn nodig om het gevaar van trillingen in het achterschip zoveel mogelijk te beperken. Als de vrijslagen al te groot zijn, kan de interactie schip/voortstuwder slechter worden.

Zeeg- en deklijnen

De zeeg is voorgeschreven in de uitwateringsvoorschriften. Afwijken van de standaardzeeg is mogelijk en is bijna altijd het geval, maar dit kan resulteren in een groter vrijboord.

De deklijn midscheeps wordt gevonden door in het langsplan de zijzeeg te verhogen met de plaatselijke deklindte. De deklindte bedraagt t.p.v. de grootste breedte veelal $1/50 B$.

Voor het tekenen van de verschillende dekken in het langsplan is in figuur 2.24 de samenhang gegeven tussen de dekhoogte, de deklindte en de vorm van de dekken.

Voorsterven

Zie voor de constructie van de voorsterven figuur 2.25.

De toepassing van bulbstevens heeft de vorm van de stervencontour sterk beïnvloed; een bulb kan, als eerste benadering, beschouwd worden als een bol, die onder water ligt met zijn middelpunt op de voorloodlijn. Zo'n bol zou, als hij op zichzelf door het water beweegt, aan de oppervlakte van het water een golfsysteem opwekken dat begint met een dal. Indien de bulb goed aangebracht is, kan dit dal gebruikt worden om de eerste top van het boeggolfsysteem te verlagen en daardoor de totale weerstand.

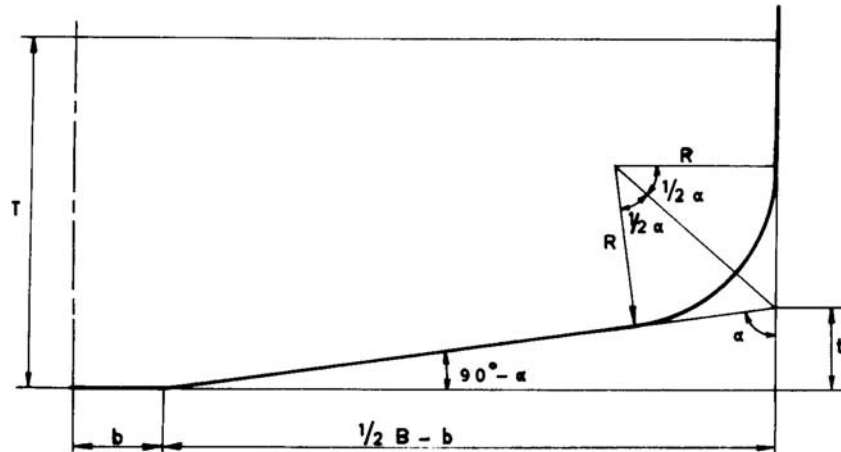
Bij langzame zeer volle schepen is het gunstig gebleken de waterlijnen vóór rond te maken; cilindersterven, zie figuur 2.11; in dit geval is het schip uitgevoerd met een bulb. Deze bulb is niet bedoeld om in volbeladen conditie de golfweerstand te verminderen, maar om in ballastvaart de waterlijnlengte te vergroten. De bulb is dan ook niet rond maar maakt een scherpe hoek met de hartschip lijn. Door de grotere waterlijnlengte in ballastvaart wordt het Froude-getal lager en dus de golfweerstand. De vormweerstand zal ook lager zijn.

De plaats van het drukingspunt in lengte voor dit type schepen is afhankelijk van de volheid en snelheid, zoals gegeven in figuur 2.26. [2.1] [2.2]

Kim

De vorm van de kim kan uitgevoerd worden als een deel van een cirkel of een parabool, geknikt zijn of een rechte hoek hebben. In het geval dat de kim een deel van een cirkel is, kan met bekende B, T en c_m het grootstapant getekend worden. De kimstraal R wordt dan gevonden uit:

$$R = \sqrt{\frac{B T (1 - c_m) - t (1/2 B - b)}{2 \tan 1/2 \alpha - \pi \alpha / 180}} \quad \text{de hoek } \alpha \text{ is met } t, b \text{ en } B \text{ eenvoudig te bepalen.}$$



figuur 2.27

Meestal is het voldoende nauwkeurig om te stellen $b = 0$, dan:

$$R = \sqrt{\frac{B T (1 - c_m) - 1/2 B t}{2 \tan 1/2 \alpha - \pi \alpha / 180}}$$

Voor een schip zonder vlaktilling geldt $t = 0$, dan:

$$R = \sqrt{\frac{B T (1 - c_m)}{2 - 1/2 \pi}} \quad \text{en} \quad A_m = B T - 0.4292 R^2$$

Drukkingspunt en kromme van spantoppervlakken

De verdeling van de waterverplaatsing over de lengte van het schip wordt gegeven in de kromme van spantoppervlakken: **KVS**.

Het onderwater zwaartepunt van het schip komt overeen met het zwaartepunt in lengte van de KVS en wordt drukkingspunt genoemd (B = centre of buoyancy).

Vanwege hydrodynamisch overwegingen heeft een oppervlaktevaartuig de minimum weerstand als vóór- en achterschip symmetrisch zijn en het golfsysteem van beide einden uit fase is. Ten gevolge van de viscositeit is het golfsysteem van het achterschip kleiner dan van het voorschip. Dus de golfweerstand kan verminderd worden door het drukkingspunt naar achteren te verplaatsen. Als echter het achterschip te vol wordt treedt loslating op waardoor de vormweerstand groter wordt.

Van slanke schepen ligt daarom het drukkingspunt tot enkele procenten achter $L/2$; voor volle schepen is dit niet mogelijk. Voor zeer volle schepen, die bij kleine Froude-getallen varen, is de golfweerstand van minder belang en het drukkingspunt ligt voorlijk om het achterschip zo slank mogelijk te houden en loslating te vermijden en een goede aanstroming naar de schroef te verkrijgen [2.3]

De plaats van B in lengte (x_B) kan gevonden worden m.b.v. de figuren 2.28, 2.29 en 2.30. In figuur 2.29 wordt de optimale ligging van het drukkingspunt gegeven rekening houdend met de volheid *en* snelheid van het schip. In de figuren 2.28 voor enkel- en dubbelschroefschepen en 2.30 voor kustvaartuigen worden de spantoppervlakken gegeven met het bijbehorende drukkingspunt.

Als c_m afwijkt van de in de figuur gegeven waarde, dan moeten de oppervlakken behorende bij c_p genomen worden (figuur 2.28).

De plaats van B van het ontwerp kan afwijken van die volgens de figuren 2.28 en 2.30; in dat geval moet de gevonden KVS getransformeerd worden, zie figuur 2.31.

In figuur 2.32 is voor kustvaartuigen vermeld wat een normaal verband is tussen c_b en snelheidsgraad (v / L_{pp}) . [2.4]

Er kan voor het bepalen van de KVS ook worden uitgegaan van figuur 2.37 voor enkel- (ESS) en figuur 2.38 voor dubbelschroefschepen (DSS), waar, afhankelijk van de prismatische coëfficiënt van vóór- en achterschip de spantoppervlakken gegeven worden. De prismatische coëfficiënt van vóór- en achterschip worden bepaald met figuur 2.35 voor ESS en 2.36 voor DSS. De figuren 2.33 voor ESS en 2.34 voor DSS geven voor de eerder bepaalde x_B en c_p aan tot welke van de categorieën A, B, C, D of E deze combinatie behoort. [2.5] [2.6]

Ordinaten (spanten)

Is de KVS bepaald dan moeten de spanten op zodanige wijze getekend worden dat hun oppervlakken corresponderen met de ordinaten van de KVS. Tevens moet voldaan worden aan de eisen die gesteld worden aan de vorm van intrede en uitrede van de waterlijnen.

De verticale verdeling van de inhoud speelt ook een rol bij de weerstand van een schip. Bij U-vormige spantvormen zit de inhoud verder onder water en is de golfweerstand minder; in het achterschip daarentegen treedt gemakkelijker loslating op, waardoor de vormweerstand groter wordt.

V-vormige spanten hebben over het algemeen minder weerstand bij gematigde Froude getallen, maar de volgstroom is niet gunstig voor voortstuwing.

Voor kleine schepen is de golfweerstand in het algemeen dominant.

De spanten kunnen dus normaal, U- of V-vormig zijn.

In het algemeen worden in het achterschip U-vormige spanten gekozen voor enkelschroefschepen en matig V-vormige spanten voor dubbelschroefschepen. Voor grote schepen zijn de spanten in het voorschip matig U- of V-vormig; bij kleine schepen zijn zij meer V-vormig in verband met zeegangseigenschappen.

Dit zijn zeer algemene en summiere aanwijzingen; betrek in de spantvormkeuze de weerstands-, voortstuwing- en zeegangseigenschappen van de vorm, wel of geen bulbsteven, enz. Constructieve mogelijkheden kunnen ook van invloed zijn op de vorm van het schip evenals het scheepstype en de vaarroute.

Het tekenen van spanten met een gegeven oppervlak is verduidelijkt in figuur 2.39; eerst wordt een rechthoek getekend met het vereiste oppervlak, daarna wordt uit de hand het spant geschetst op zodanige wijze dat de gearceerde oppervlakken aan elkaar gelijk zijn. Het oppervlak is, na het zo goed mogelijk op zicht bepaald te hebben, te controleren met een planimeter.

Het tekenen van de spanten is een kwestie van "trial and error", waarbij als hulpmiddel bijv. het stroken van de lijn door de snijpunten van de spanten met de verticalen of de waterlijnen in het spantenplan gebruikt kan worden, zoals aangegeven in figuur 2.39.

Waterlijnen

De vorm van de waterlijnen is belangrijk i.v.m. de weerstand en zeewaardigheid van het schip. De waterlijnen moeten goed strokende lijnen zijn met zo mogelijk zachte overgangen; afgezien van eventuele kniklijnen.

Een indicatie voor de halve intreehoek van de lastlijn i_e wordt gegeven in figuur 2.40; de getrokken lijn geldt voor matige V-spanten in het voorschip, de gestippelde lijn voor U-spanten. In figuur 2.41 wordt dit voor kustvaartuigen gegeven met een aanbeveling voor de vorm van de lastlijn in het voorschip.

Afwijkingen tot 3° zijn toelaatbaar bij hogere blokcoëfficiënt. De halve intreehoek van de waterlijnen op enige afstand boven de lastlijn mogen niet te veel van de grootte t.p.v de lastlijn afwijken, omdat anders de weerstand in zeegang nadelig beïnvloed wordt. Voor een schip met bijv. een lengte van 120 m moet deze hoek over 1° 1 m boven de lastlijn aangehouden worden.

De overgangen van de waterlijnen naar het rechte gedeelte in de zijde moeten zeer geleidelijk zijn en mogen niet alle recht boven elkaar liggen omdat dan een uitgesproken schouder ontstaat met dienovereenkomstige golfvorming; de schouder moet als het ware over enige lengte uitgesmeerd worden.

De halve uittreehoek mag ter hoogte van de schroeftip maximaal 18° á 20° bedragen, bij grotere uittreehoeken laat de stroming los, treedt een excessieve wervelvorming op en is de aanstroming naar de schroef minder goed; de voortstuwing wordt hierdoor nadelig beïnvloed en het optreden van trillingen in het achterschip bevordert. Bij volle schepen is dit vaak een probleem.

Schepen met een grote dekbreedte achter, zelfs tot aan de volle breedte, zoals Ro-Ro en containerschepen, hebben vlakke spanten en volle waterlijnen in het achterschip. Het is nu noodzakelijk de goede aanstroming naar de schroef te realiseren via een geleidelijk oplopend vlak, zie figuur 2.19; de helling van de verticalen mag dan niet groter zijn dan ca 20° .

Stroken waterlijnen, verticalen en senten

Na het tekenen van de spanten worden de waterlijnen getekend. Daarna worden de verticalen geconstrueerd uitgaande van de snijpunten met de spanten **en** de waterlijnen. Als laatste controle wordt de kimsentlijn getekend met zo nodig extra senten t.p.v. sterk gekromde delen van het schip.

In het lijnenplan moeten uiteindelijk alle punten in de projecties met elkaar overeenstemmen.

In figuur 2.42 worden nog enkele praktische aanwijzingen gegeven.

2.5 * Systematische modelseries

In de loop der tijd heeft een aantal bekende sleeptanks zich bezig gehouden met systematisch modelonderzoek.

Systematisch modelonderzoek betekent dat het onderzoek is uitgevoerd aan een serie modellen met **systematisch gevarieerde parameters**, zoals c_B , x_B , L/B , B/T , enz. Daarbij worden dan weerstands- en voortstuwingseigenschappen bepaald.

Door middel van interpolatie en dimensieloze voorstelling van modelresultaten kan een gunstige scheepsvorm uit de serie worden gelicht inclusief de nodige gegevens op het gebied van weerstands en voortstuwing.

Deze systematische modelseries lijken ideaal om de ontwerper een houvast te bieden bij het ontwerpen van een optimale scheepsvorm. Daarbij moet echter worden geconstateerd dat de meest bekende series dateren uit de jaren 50 en 60 en niet meer overeenkomen met de huidige praktijk. (geen spiegelhek, bulbboeg of praamvormig achterschip, enz.)

De scheepsvormen zijn soms ook in andere opzichten ongebruikelijk.

De meest bekende series zijn:

- series - 60 (David Taylor Model Basin, USA, o.l.v. F.H. Todd) [2.7] [2.8]
- BSRA - serie (British Shipbuilding Research Association) [2.9] [2.10]
- SSPA - serie (Statens Skepp Provvnings Anstalt te Göteborg) [2.11] [2.12] [2.13] [2.14]
- Townsaend - serie (US Salvage Association) [2.15]
- SRAJ - serie (Shipbuilding Research Association of Japan) [2.16] [2.17]

Naast bovengenoemde series zijn resultaten gepubliceerd van kleinere modelseries van: kust- en visserijvaartuigen, motorboten, zeiljachten, enz.

2.6 * "Formdata"

Een andere methode voor het ontwerpen van scheepsvormen is ontwikkeld door H.E. Guldhammer van de Technische Hogeschool te Kopenhagen in de jaren 1962-1969.

Het betreft hier geen systematische modelserie maar **systematisch gevarieerde scheepsvormen** t.b.v. het ontwerpen. Aangezien de scheepsvormen enige malen zijn aangepast en gemoderniseerd, sluiten zij beter aan bij de ontwikkeling der scheepsvormen dan de modelseries van nog oudere datum. Zo zijn eveneens scheepsvormen opgenomen van zeer volle tankers, container-schepen en Ro/Ro-schepen incl. spiegelhekken en bulbstevens van verschillende grootte.

De werkwijze is als volgt:

met een gegeven blokcoëfficiënt en gegeven ligging van het drukkingpunt worden met behulp van figuur 2.43 de blokcoëfficiënten van voor- en achterschip bepaald (c_{BF} en c_{BA}). Uit figuren als 2.44, 2.45 en 2.46 kunnen dimensieloze spantvormen worden afgelezen voor de gewenste c_{BF} -en c_{BA} (interpoleren).

De methode steunt niet op modelonderzoek, zodat de kwaliteit van de scheepsvormen niet concreet is te beoordelen.

Een vergelijking van "Formdata" scheepsvormen met nieuwere schepen is opgenomen in [2.20] .

Onderstaand volgt een overzicht van de verschillende publicaties die in deze serie het licht zagen:

FORMDATA (1962) [2.18]

- verzameling van halve scheepsvormen voor- en achterschip) $c_M = 0.98$
- $c_B = 0,55 - 0,75$
- 3 typen: normaal - U - V

- normale koopvaardij schepen (geen bulb, geen spiegel)
- FORMDATA II (1963) [2.19]
- zeer volle schepen als tankers en bulkcarriers met $c_B = 0,70 - 0,80$
 - alleen U-vorm
 - zeer slanke schepen als passagiersschepen en fruitschepen met $c_B = 0,45 - 0,70$ en $c_M = 0,94$ en 0.88 zowel U - N - V vormen

FORMDATA III (1967) [2.20]

- grote tankers met bulb; $c_{BF} = 0,70 - 0,90$; $c_{BA} = 0,70 - 0,85$
- 2 nieuwe series voor snelle schepen met bulb (fruitschepen en passagiersschepen) serie B3F: $c_m = 0,98$; $c_{BF} = 0,50 - 0,90$; $c_{BA} = 0,70 - 0,85$ (uitbreiding tot 0,50 in Formdata IV) serie B3F: $c_M = 0,94$; $c_{BF} = 0,50 - 0,70$; alleen vóórschepen.

FORMDATA IV (1969) [2.21]

- twee series met spiegelhek van opklimmende spiegelbreedte.

2.7 * Affine transformatie

Bij het ontwerpen van een scheepsvorm kan soms gebruik worden gemaakt van de methode van de affine transformatie (vervorming waarbij de samenhang bewaard blijft).

Bij het ontwerpen kan men als volgt te werk gaan:

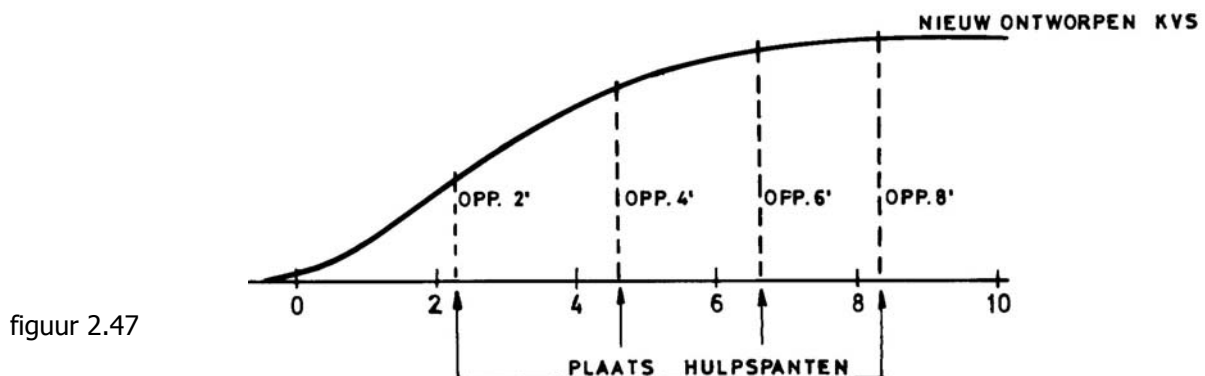
van een spantenraam van een bestaande goede scheepsvorm worden enige spanten (4 of 5 in vóór- en achterschip) opgemeten, omgerekend naar de nieuwe breedte en diepgang en in dezelfde verhoudingen uitgezet in een nieuw spantenraam; dit geeft een aantal spantdoorsneden sterk gelijkend op het voorbeeldschip, maar enigszins vervormd.

De plaats van deze hulpspanten wordt bepaald door de KVS, ontworpen voor de nieuwe scheepsvorm, en valt niet samen met de normale ordinat indeling.

Met behulp van deze ordinaten worden enige waterlijnen, verticalen, senten en de deklijn uitgestrookt, zie figuur 2.47.

Als een en ander overeenstemt, kunnen de spanten op de juiste plaats worden ingetekend, waarbij hun maten aan de genoemde waterlijnen, verticalen, senten en deklijn worden ontleend.

Een bezwaar daarbij kan zijn dat ook de contouren, intreehoeken enz. enigszins de invloed van de affine transformatie ondergaan. De methode van affine transformatie is daarom slechts bruikbaar bij beperkte afwijkingen ten opzichte van het voorbeeldschip.



figuur 2.47

Gezien het arbeidsintensieve karakter van het ontwerpen en in tekening brengen van een scheepsvorm ligt het voor de hand dat gezocht is naar wegen om dit werk door middel van de computer uit te voeren. Van de verschillende methoden die hiervoor zijn ontwikkeld noemen wij:

"Transformatie van scheepsvormen" van ing. A. Versluis [2.22]

Hierbij wordt, uitgaande van een serie basisschepen (scheepstypen) een nieuwe scheepsvorm gegenereerd met behulp van affine transformatie, zodat aan de gewenste waterverplaatsing en ligging van het drukingspunt wordt voldaan.

Hierna volgt een deel van dat rapport:

(opgemerkt moet worden dat de prismatische coëfficiënt wordt aangegeven met ϕ in plaats van c_P)

De kromme van spantoppervlakken wordt in x-richting dimensieloos gemaakt met de halve lengte tussen de loodlijnen, terwijl de spantoppervlakken dimensieloos gemaakt worden met het grootspantoppervlak, zie figuur 2.47.

Bij het verschuiven van de ontwerpordinaten wordt gebruik gemaakt van een goniometrische functie:

$$a_j = A x_j \sin(\pi |x_j|) \quad \text{waarin } A = \text{een werkparameter}$$

$$x_j = \frac{\text{afstand ord } j \text{ tot ord } 10}{L_{\text{ord}} / 2}$$

Figuur 2.49 laat zien dat voor $A > 0$ de basisordinaten verder naar de einden worden verschoven, waardoor de prismatische coëfficiënt van het schip zal toenemen. Voor $A < 0$ worden de basisordinaten naar het grootspant verschoven, waardoor de prismatische coëfficiënt van het schip zal afnemen.

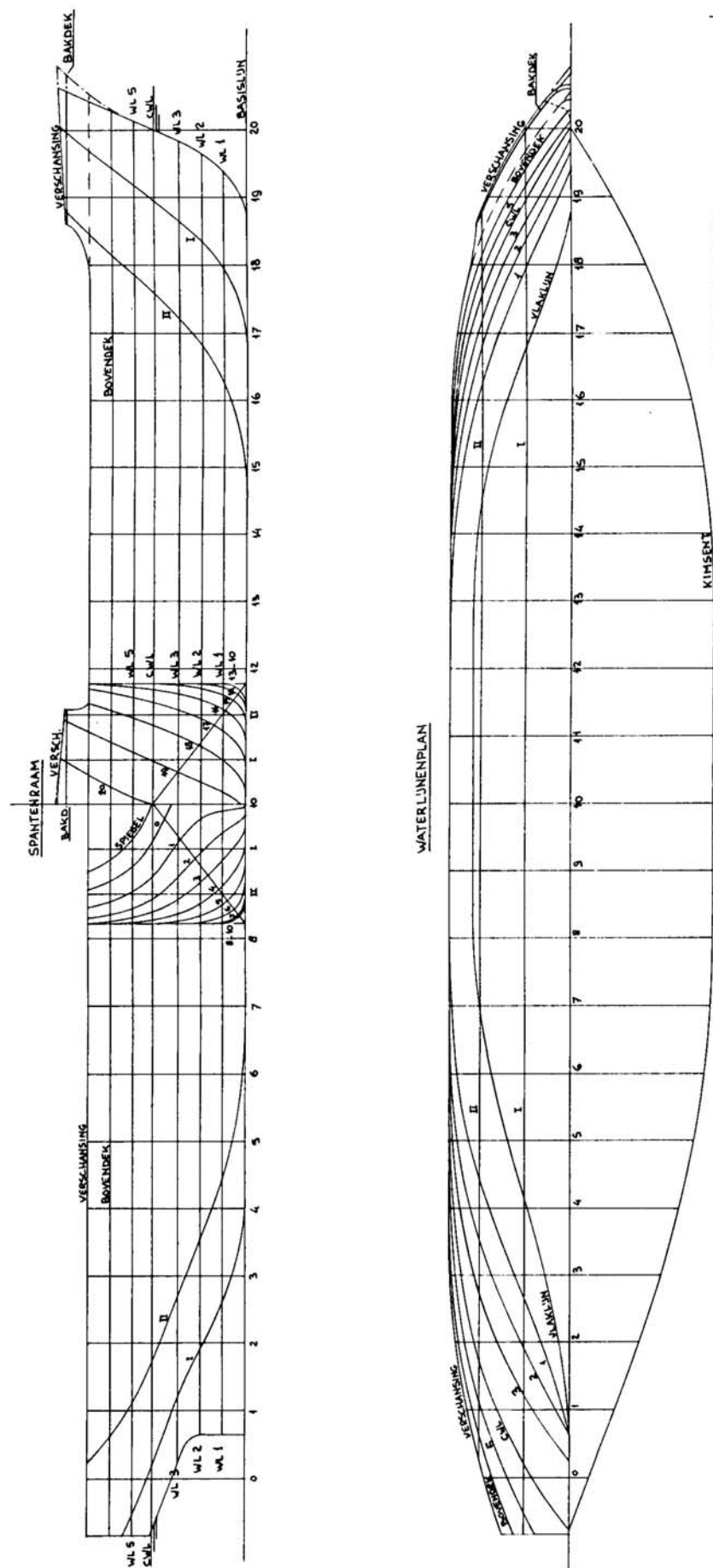
Vervolgens moet nog gecorrigeerd worden voor de ligging van het drukkingpunt in lengte. Om het drukkingpunt in lengte te verplaatsen zonder verandering van de prismatische coëfficiënt, wordt te werk gegaan zoals getoond in figuur 2.31. De kromme van spantoppervlakken wordt via een hoek α verschoven.

De grenzen voor het voor het vergroten of verkleinen van c_p zijn resp. "0.05 en voor de verplaatsing van B naar vóór of achter resp. "1 %.

2.8 * Literatuur hoofdstuk 2

- [2.1] Hydrodynamic considerations in the design of full hull forms
(J.J. Blok en J. Holtrop, MARIN)
- [2.2] Ir. J.J. Muntiewerf: "Methodical series experiments on cylindrical bows"
Publ. NSMB No. 327
- [2.3] Resistance and Propulsion of Ships. Preliminary
prof. Dr. Ir. G. Kuiper
collegedictaat mt512, juli 1991
- [2.4] J.K.O. van der Klis en J. Kamps: Enige gegevens voor het ontwerpen van scheepsvormen voor
A: Zeegaande vrachten passagiersschepen;
B: Kustvaartuigen
Publ. No. 73 van het NSP, Wageningen.
- [2.5] Ir. A.J.W. Lap: "Fundamentals of ship resistance and propulsion"
PART A: RESISTANCE,
Publ. NSMB no.129 A
- [2.6] Ir. A.J.W. Lap: "Diagrammes pour la détermination de la résistance des navires à deux hélices"
- [2.7] F.H. Todd: "Series-60 Methodical experiments with models of single screw merchant ships"
Report 1712 van het David Taylor Model Basin, U.S.A.
- [2.8] F.H. Todd: "Some further experiments on single screw merchant ship forms (SERIES-60)"
SNAME 1953 blz. 516 - 574
- [2.9] D.I. Moor, M.N. Parker, R.N.M. Pattulo: "The BSRA-methodical series"
An overall presentation, TRINA 1961 blz. 324 - 415
- [2.10] H. Lackenby, M.N. Parker: "The BSRA methodical series, an overall presentation"
TRINA 1966, blz. 363 - 404
- [2.11] H.F. Nordström: "Some systematic tests with models of fast cargo vessels ($C_B = 0.625$)"
SSPA No. 10/1948

- [2.12] H.F. Nordström: "Systematic tests with models of cargo vessels with $c_B = 0.575$
SSPA No. 16/1950
- [2.13] H. Edstrand, H. Lindgren: "Systematic tests with models of ships with $c_B = 0.525$
SSPA No. 38/1956
- [2.14] E. Freimanis, H. Lindgren: "Systematic tests with shipmodels with $c_B = 0.675$
SSPA No. 39/1957
- [2.15] H.S. Townsend: "Series of cargo vessel hull forms"
United States Salvage Association Inc.
New York 1965
- [2.16] K. Yokoo: "Design charts for the propulsive performances of high speed cargo liners with $c_B = 0.625$ "
Shipbuilding Research Association of Japan, 1964
- [2.17] K. Yokoo: "Design charts for the propulsive performances of high speed cargo liners with $c_B = 0.575$ "
Ship Research Institute of Japan 1966
- [2.18] H.E. Guldhammer: FORMDATA
Some systematically varied ship forms and their hydrostatic data
Danish Technical Press, Copenhagen, 1962
- [2.19] H.E. Guldhammer: FORMDATA II
Hydrostatic data for ship forms of full and finer type. Hydrostatic data trimmed conditions.
Danish Technical Press, Copenhagen, 1963
- [2.20] H.E. Guldhammer: FORMDATA III
Hydrostatic data, tanker and bulbous bow series. Wetted surface Comparisons with other series and existing ships
Danish Technical Press, Copenhagen, 1967
- [2.21] H.E. Guldhammer: FORMDATA IV
Hydrostatic data for transom stern series of varied stern breadths
Danish Technical Press, Copenhagen, 1969
- [2.22] A. Versluis: "Transformatie van scheepsvormen"
Rapport No. 438 van het Laboratorium voor Scheepshydropneumica van de TH-Delft, incl. rapport no. 438A "Basisscheepsvormen"

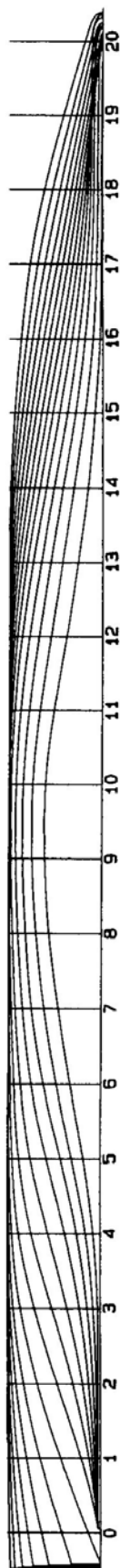
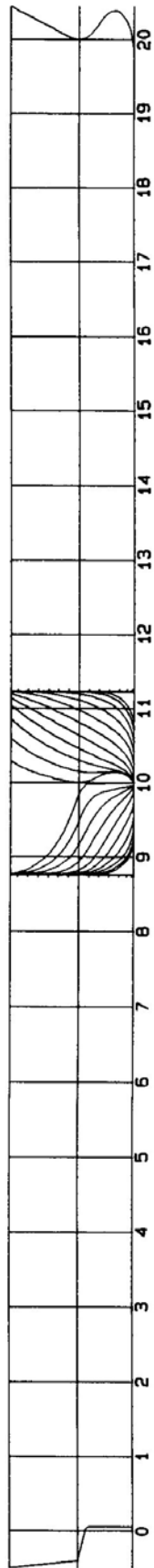


HOOFDAFMETINGEN

LENGTE TUSSEN DE ORDINATEN	----	m
BREEDTE	----	m
HOLTE	----	m
DIEPGANG	----	m
KIMSTRAAL	----	m

LIJNENPLAN COASTER	

figuur 2.8



Name: CONTAINERSHIP

Based on Parent 5

Scale 1 : 1500

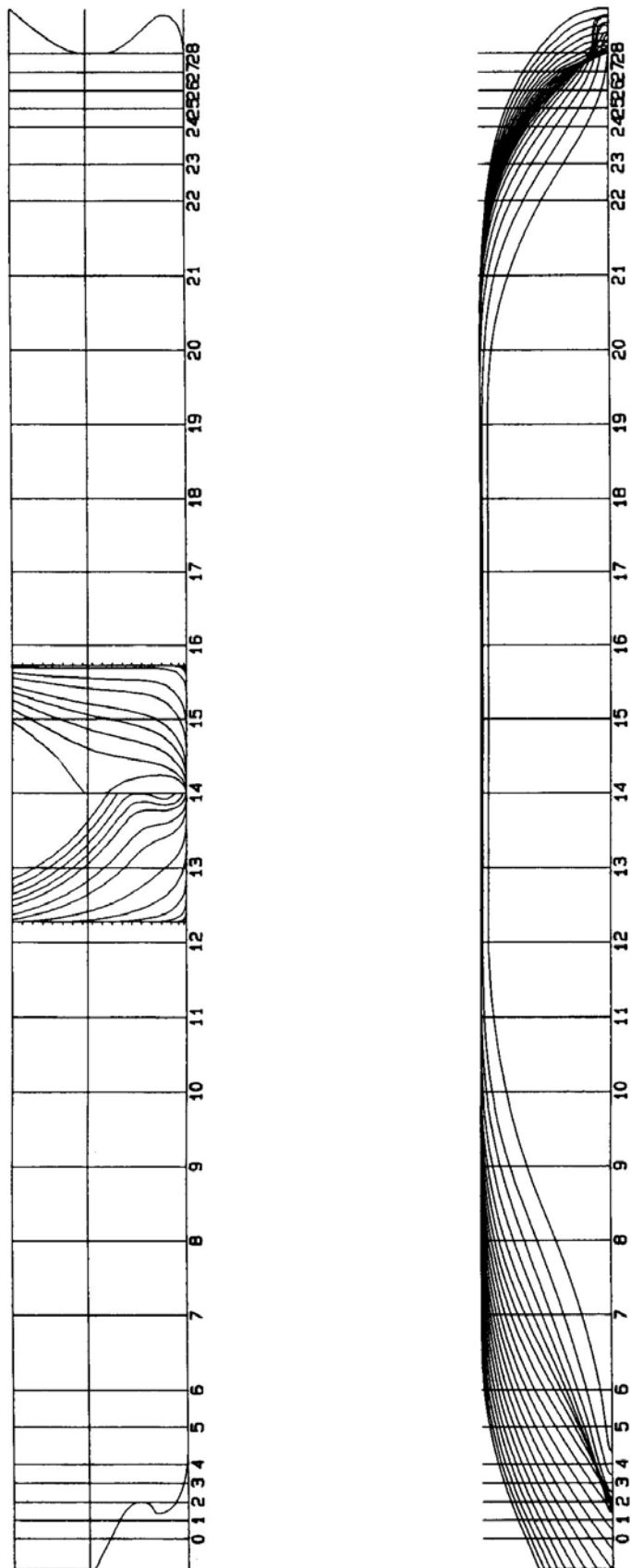
Main Dimensions

Length between Design Ordinates	300.000 [m]
Moulded Breadth	37.000 [m]
Draught at Construction Waterline	11.000 [m]
Block Coefficient	0.554 [-]

Length Center of Buoyancy	-9.190 [m]
Midship Area Coefficient	0.945 [-]
L / B	8.1 [-]
B / T	3.4 [-]

figuur 2.9

figuur 2.10



Name: CRUDE-OIL TANKER

Based on Parent 6

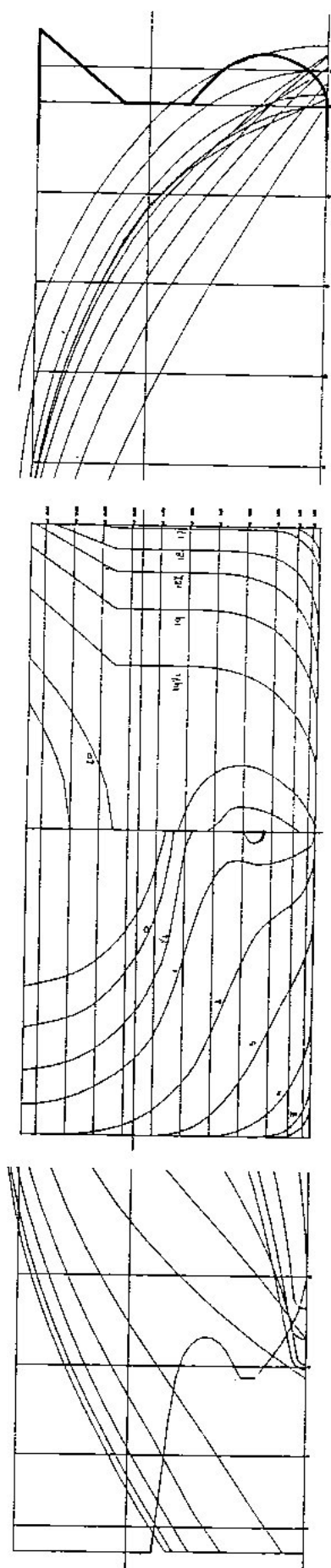
Scale 1 : 1500

Main Dimensions

Length between Design Ordinates	302.000 (m)
Moulded Breadth	52.100 (m)
Draught at Construction Waterline	20.000 (m)
Block Coefficient	0.840 (-)

Length Center of Buoyancy	8.750 (m)
Midship Area Coefficient	0.999 (-)
L / B	5.8 (-)
B / T	2.6 (-)

figuur 2.11

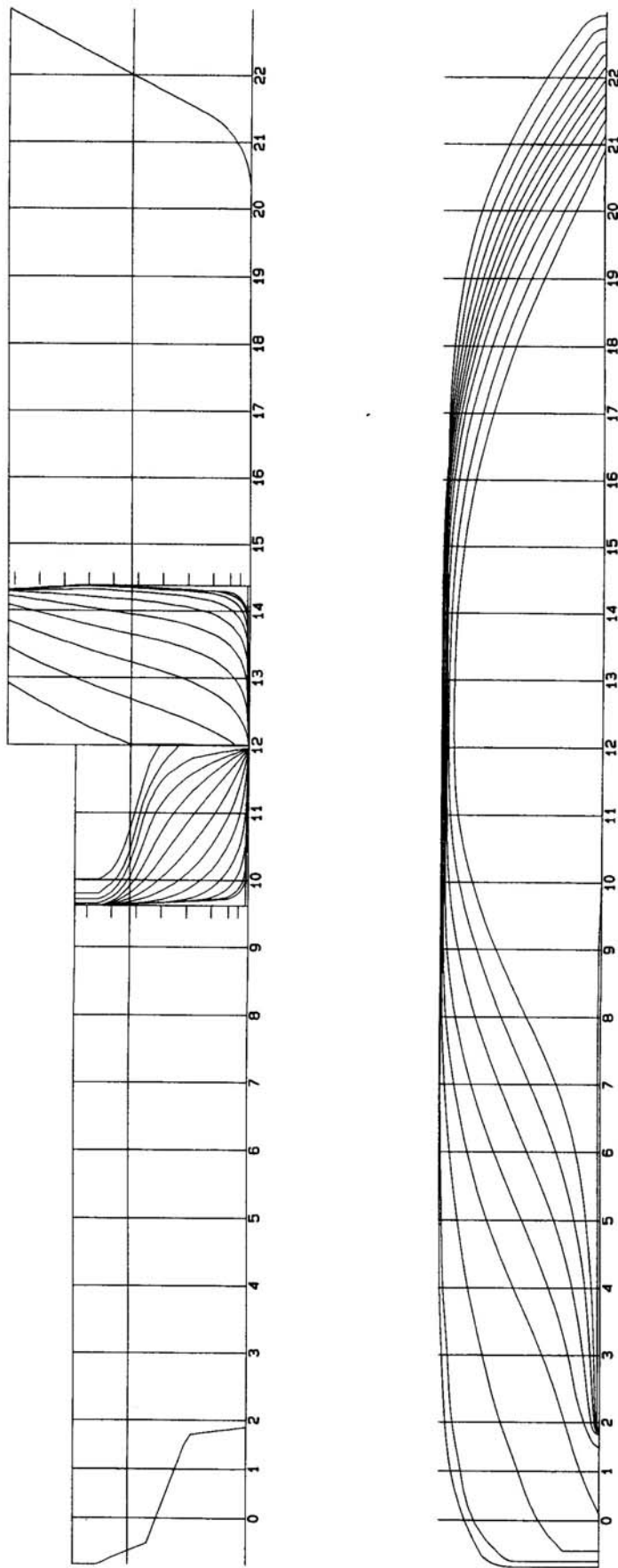


TYPE: TANKER

HOOFDAFMETINGEN

Lengte (Lpp)..... 251.00 m
 Breedte..... 42.50 m
 Diepgang..... 12.25 m
 Cb..... .864
 LCB t.o.v. 1/2Lpp.. +2.6%

figuur 2.12



Name: SUPPLY VESSEL

Based on Parent 7

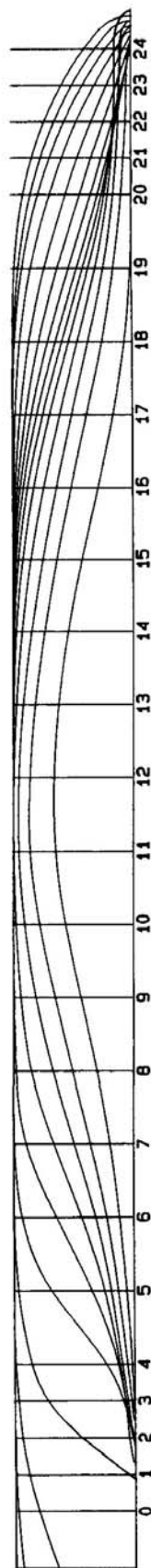
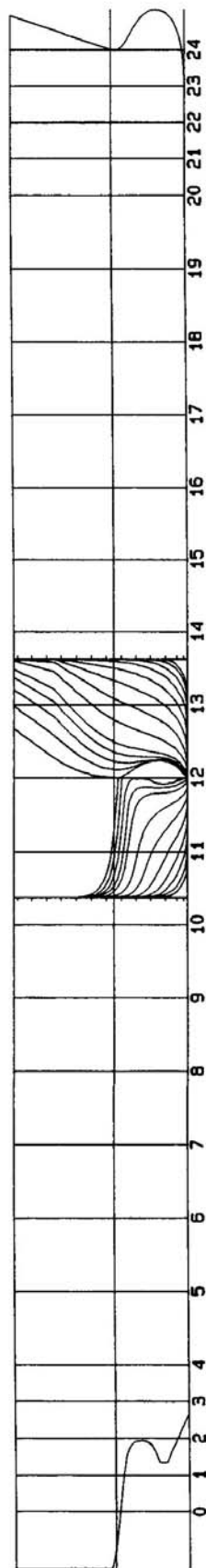
Scale 1 : 250

Main Dimensions

Length between Design Ordinates 54.630 [m]
 Moulded Breadth 13.000 [m]
 Draught at Construction Waterline 4.750 [m]
 Block Coefficient 0.675 [-]

Length Center of Buoyancy -0.190 [m]
 Midship Area Coefficient 0.957 [-]
 L / B 4.2 [-]
 B / T 2.7 [-]

figuur 2.13



Name: R0-R0 SHIP

Based on Parent 10

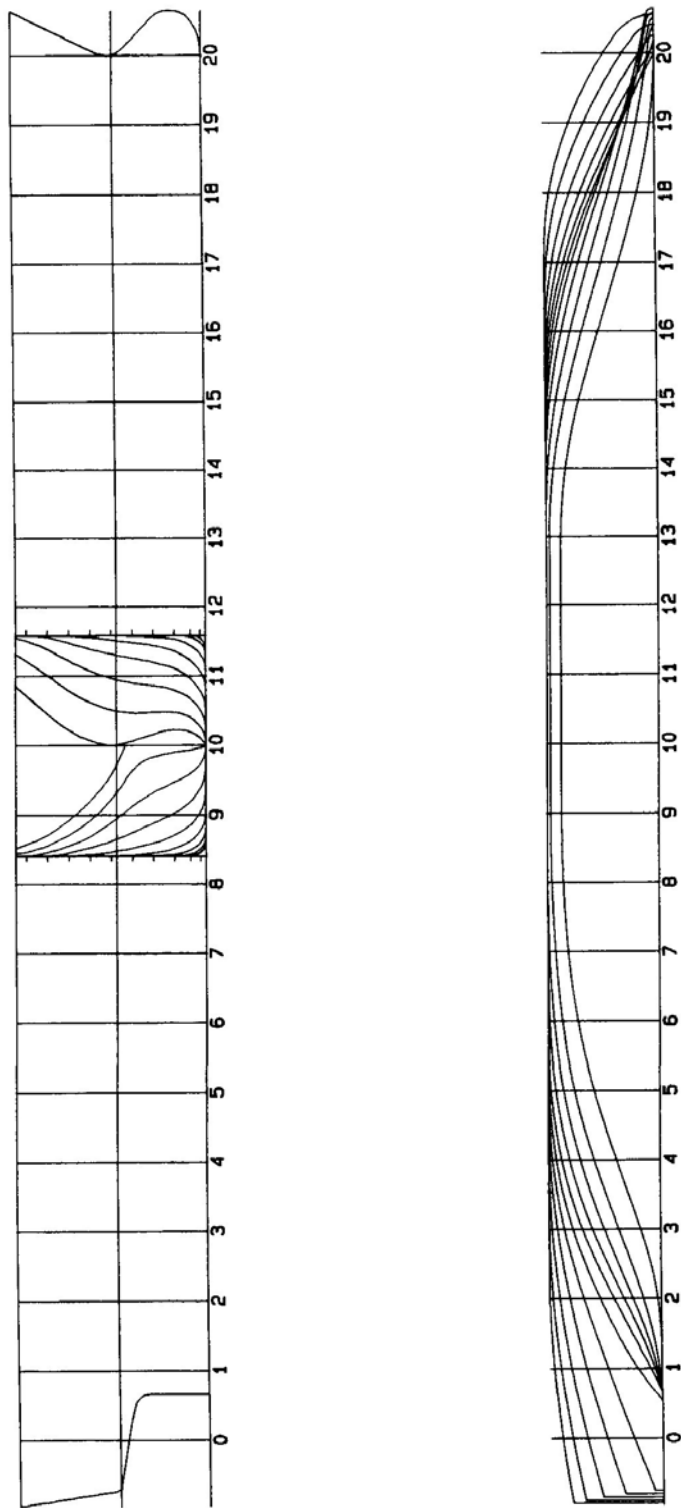
Scale 1 : 1000

Main Dimensions

Length between Design Ordinates	198.800 [m]
Moulded Breadth	32.240 [m]
Draught at Construction Waterline	10.000 [m]
Block Coefficient	0.625 [-]

Length Center of Buoyancy	-2.580 [m]
Midship Area Coefficient	0.979 [-]
L / B	6.2 [-]
B / T	3.2 [-]

figuur 2.14



Name: MULTI PURPOSE SHIP

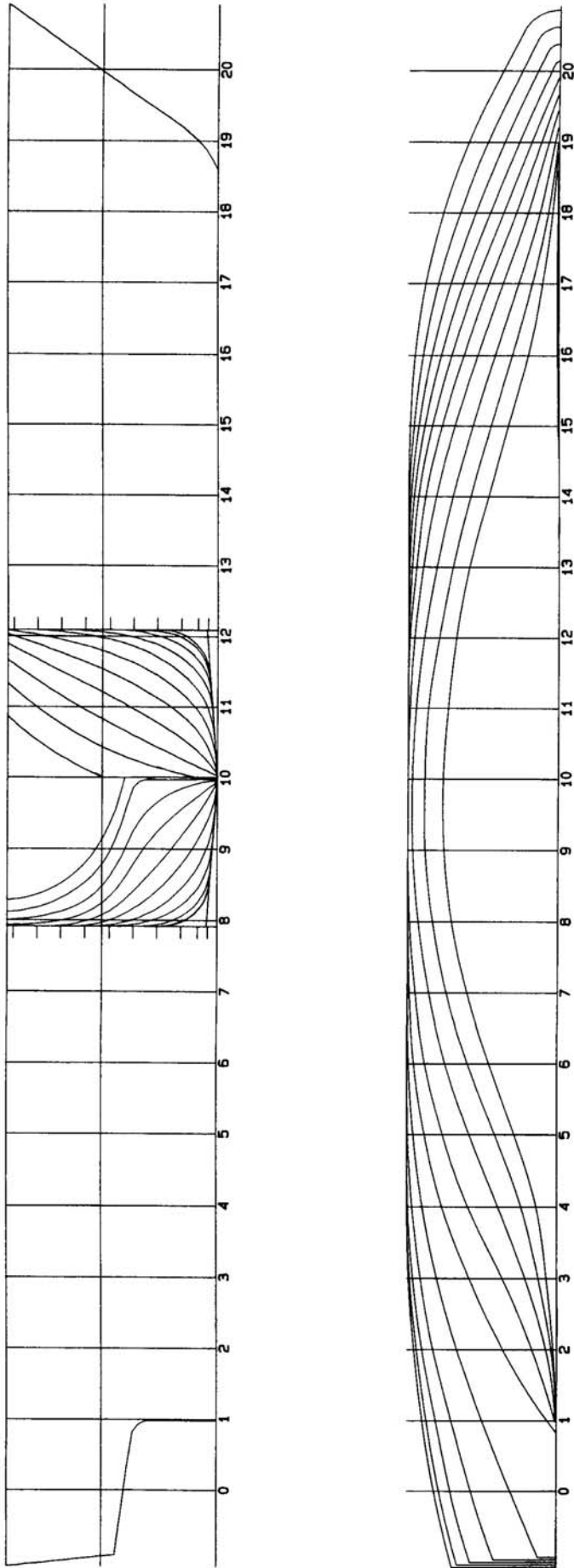
Based on Parent 16

Scale 1 : 750

Main Dimensions

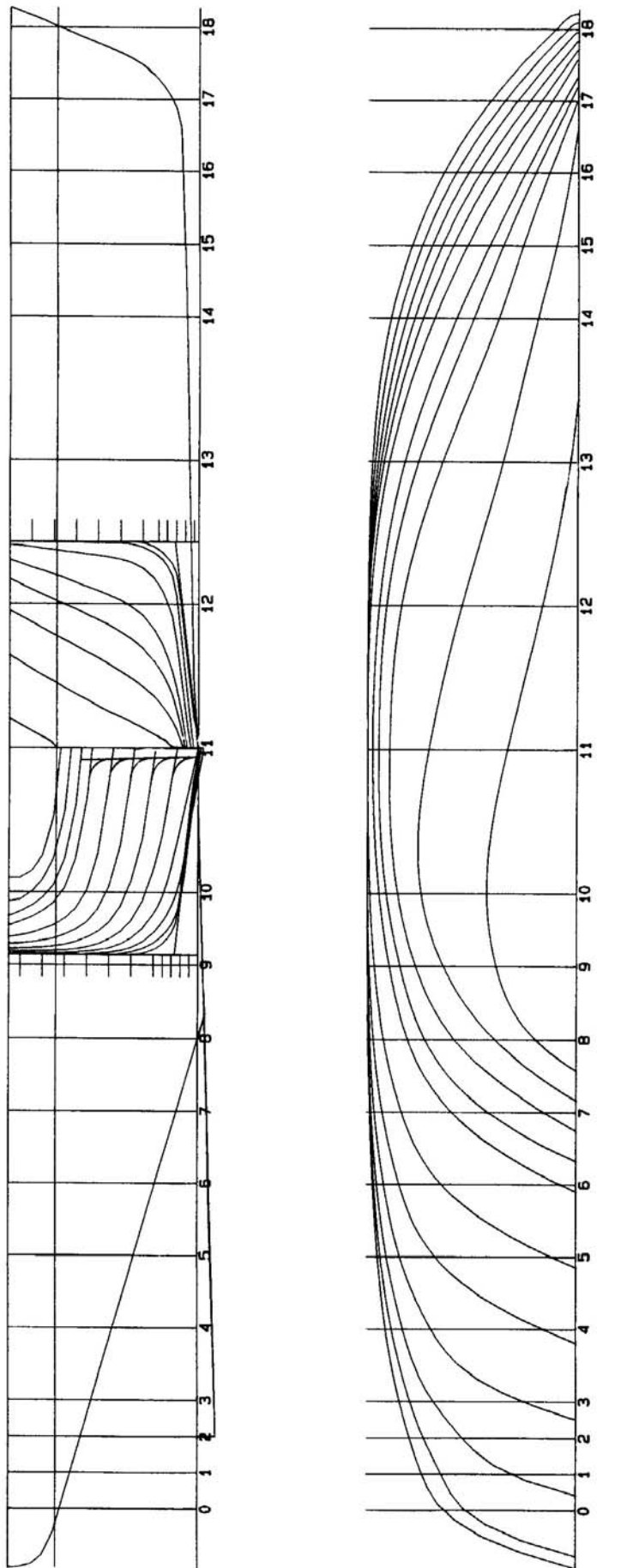
Length between Design Ordinates	132.000 [m]
Moulded Breadth	21.000 [m]
Draught at Construction Waterline	8.530 [m]
Block Coefficient	0.760 [-]

Length Center of Buoyancy	1.580 [m]
Midship Area Coefficient	0.996 [-]
L / B	6.3 [-]
B / T	2.5 [-]



figuur 2.15

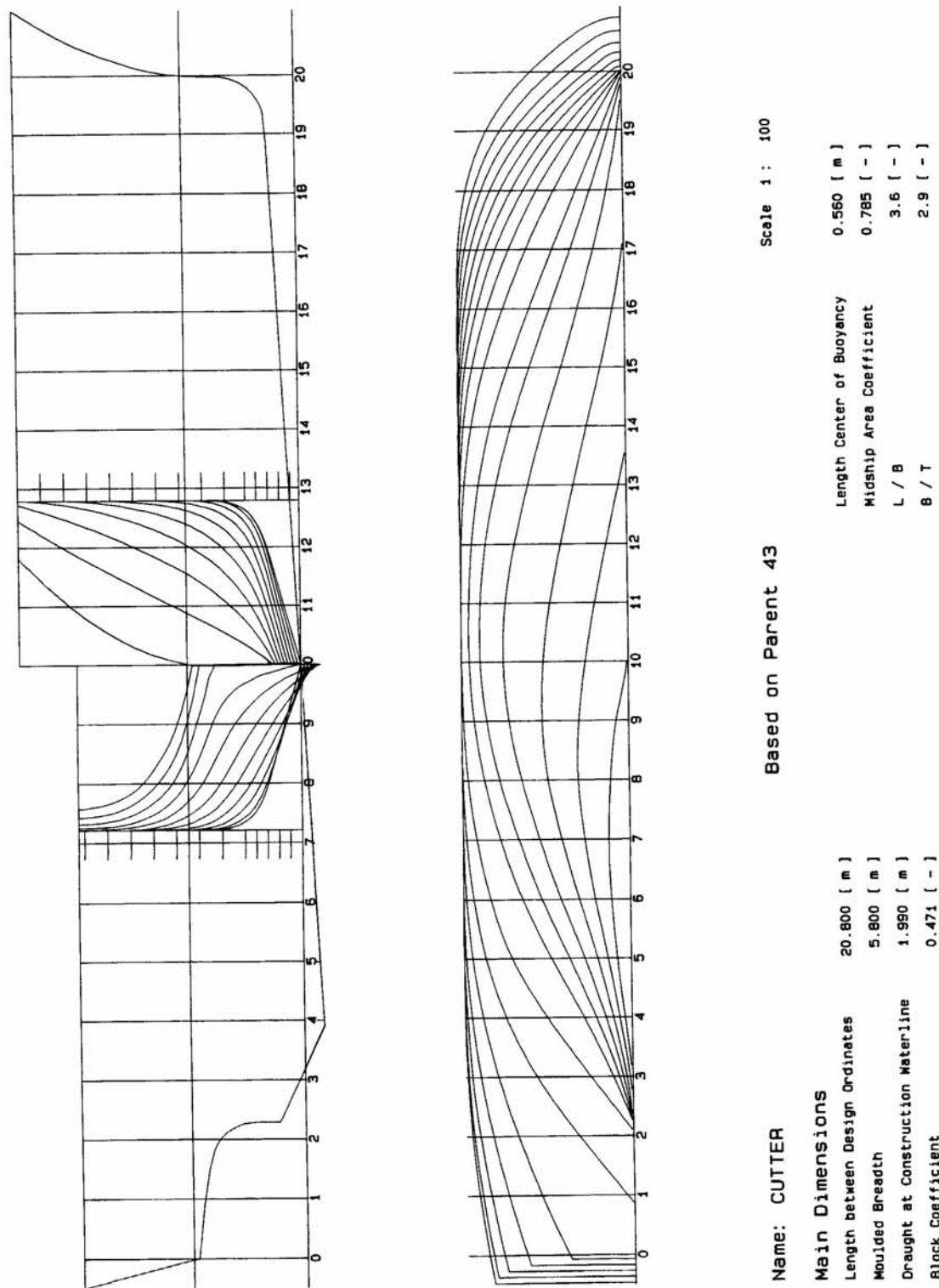
Name: STERNTRAWLER		Based on Parent 25		Scale 1 : 250	
Main Dimensions					
Length between Design Ordinates	59.800 [m]	Length Center of Buoyancy	-0.510 [m]		
Moulded Breadth	12.500 [m]	Midship Area Coefficient	0.930 [-]		
Draught at Construction Waterline	4.800 [m]	L / B	4.8 [-]		
Block Coefficient	0.578 [-]	B / T	2.6 [-]		



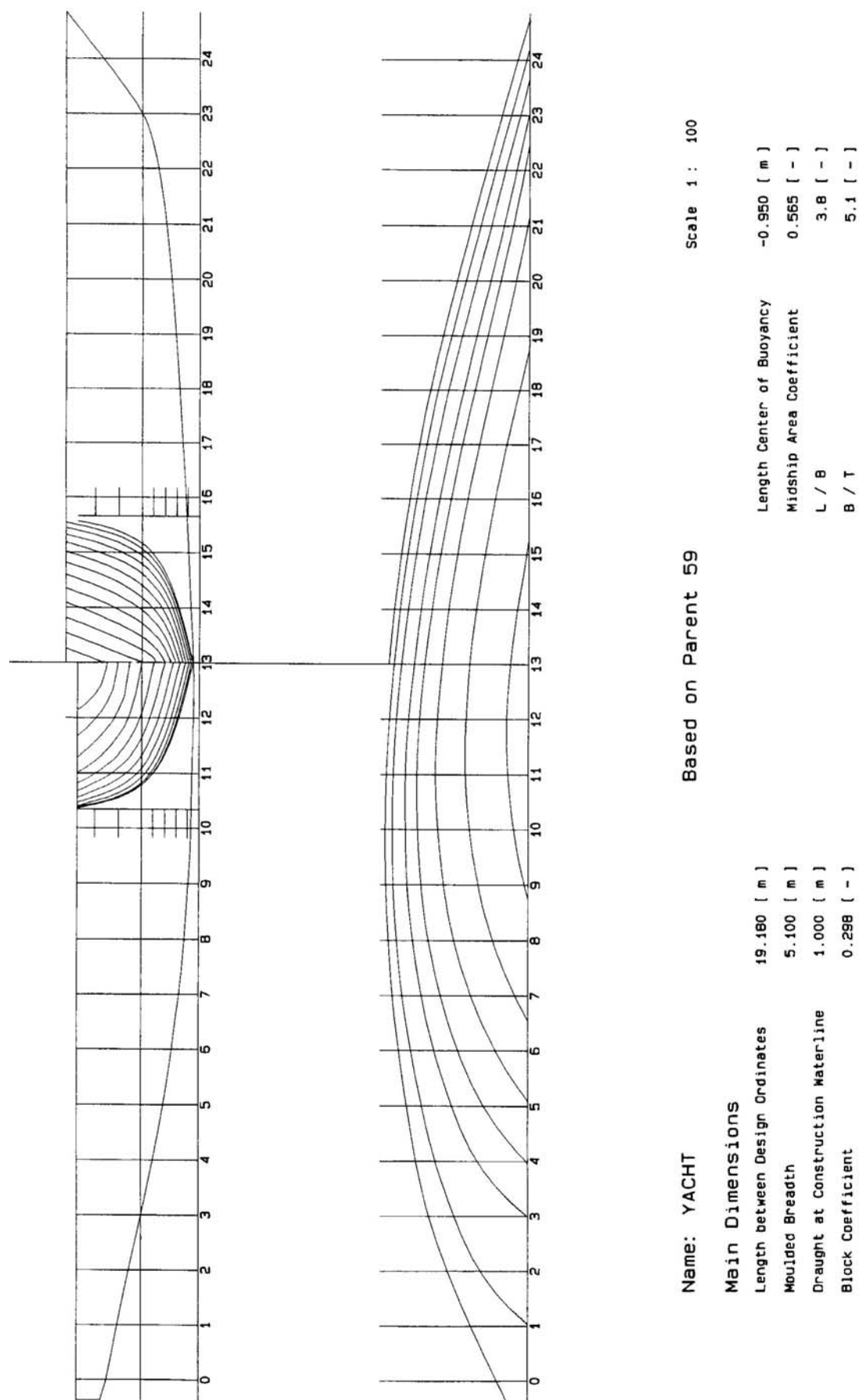
figuur 2.16

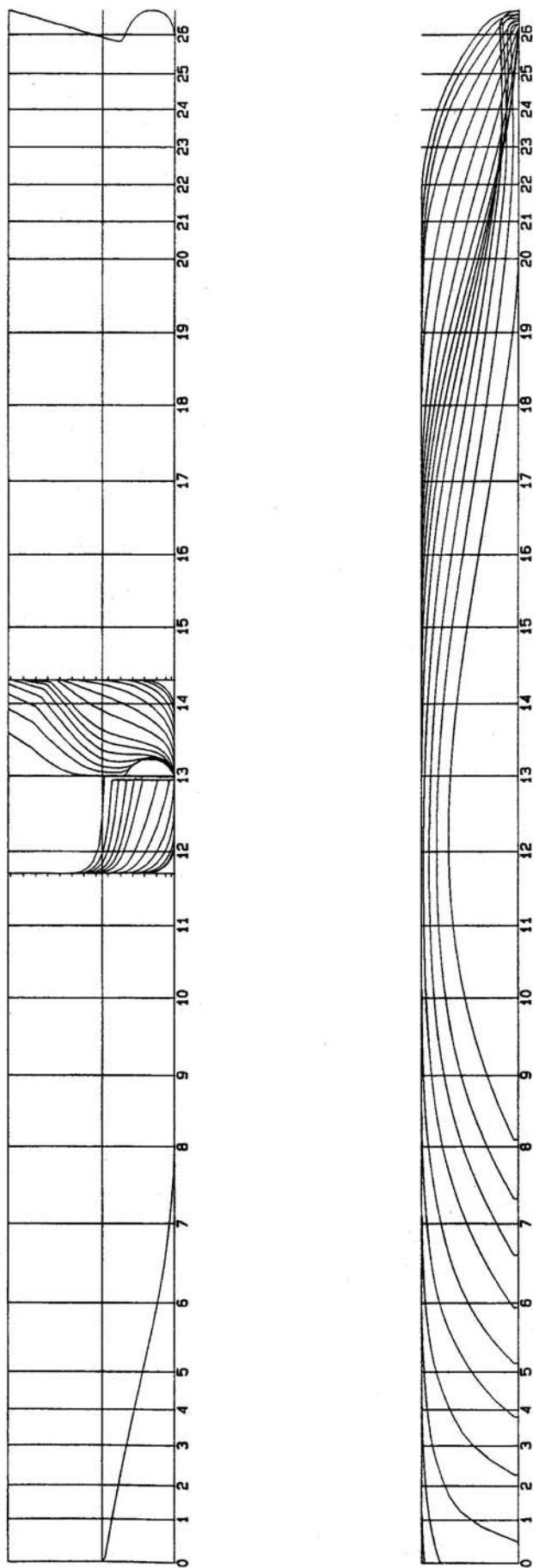
Name: TUG		Based on Parent 24		Scale 1 : 150	
Main Dimensions					
Length between Design Ordinates	33.000 [m]	Length Center of Buoyancy	0.143 [m]		
Moulded Breadth	9.450 [m]	Midship Area Coefficient	0.898 [-]		
Draught at Construction Waterline	3.200 [m]	L / B	3.5 [-]		
Block Coefficient	0.595 [-]	B / T	3.0 [-]		

figuur 2.17



figuur 2.18

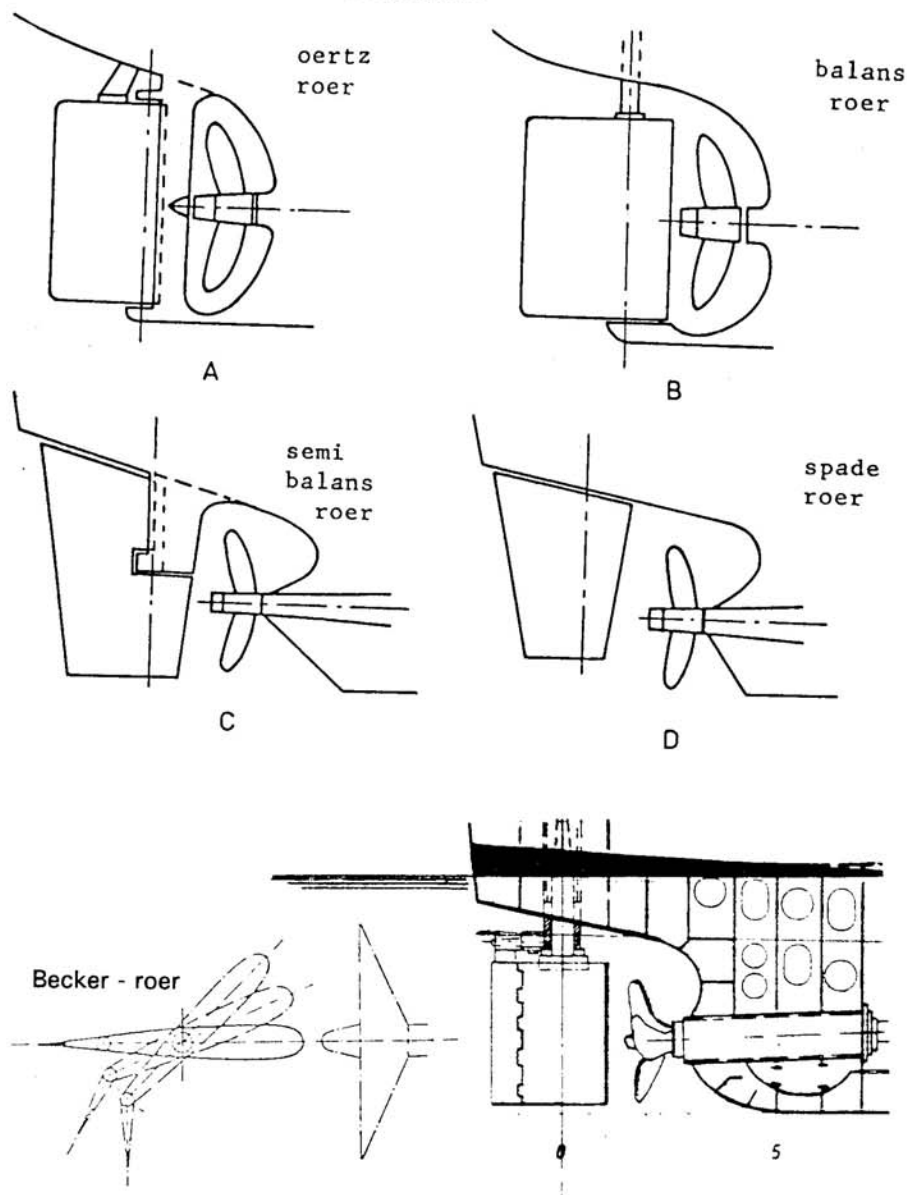




figuur 2.19

Name: CONTAINERSHIP		Based on Parent 31		Scale 1 : 1000	
Main Dimensions					
Length between Design Ordinates	247.000 [m]	Length Center of Buoyancy	-7.310 [m]		
Moulded Breadth	32.260 [m]	Midship Area Coefficient	0.975 [-]		
Draught at Construction Waterline	12.000 [m]	L / B	7.7 [-]		
Block Coefficient	0.648 [-]	B / T	2.7 [-]		

ROERVORMEN



ROEROPPERVLAK $L \times h$ IS VOOR

KLEINE VRACHT - EN PASSAGIERSCHEPEN $1,7 - 2,3 \% L \times T$

GROTE " " " " MIN. $1,2 \% L \times T$

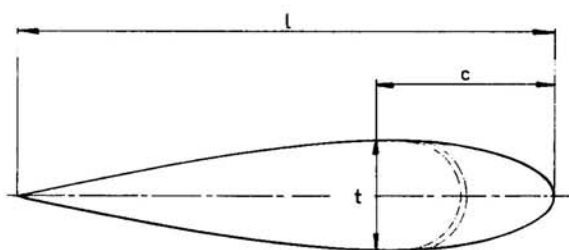
KUSTVAARTUIGEN $2,0 - 3,3 \% L \times T$

DE VERHOUDING L/t IS: $5 - 8$

DE PLAATS VAN DE GROOTSTE DIKTE

MAAT "c" IS VOOR: OERTZROEREN $\pm 0,32 l$

BALANSROEREN $\pm 0,25 l$



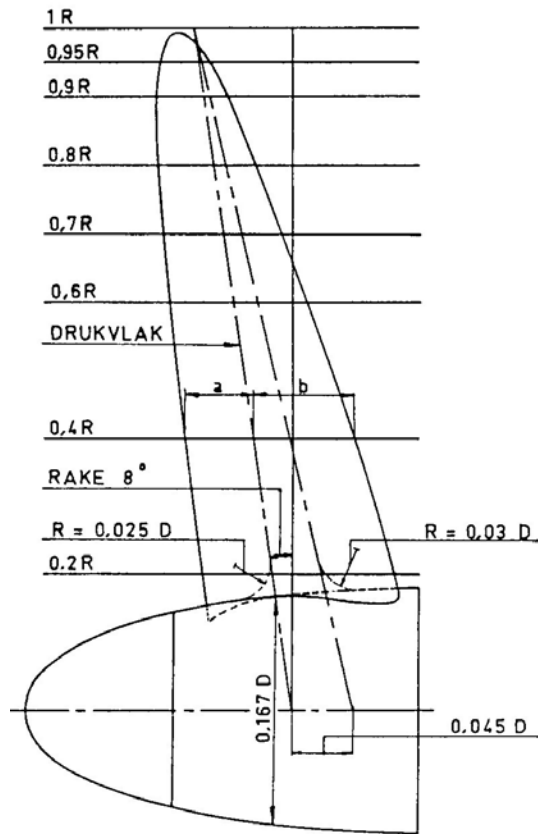
figuur 2.20

PROJECTIE DER SCHROEVEN B 4.40.

VAN HET N.S.P. TE WAGENINGEN.

SPOEDVERHOUDING $P/D = 1.0$.
E.S. SCHEPEN.

ALGEMENE GEGEVENS:



D = DIAMETER VAN DE SCHROEF

P = SPOED VAN DE SCHROEF

AANTAL BLADEN = 4

$A_E / A_0 = 0.40$, WAARIN:

A_E = ONTW. GESTREKT OPP. DER BLADEN,

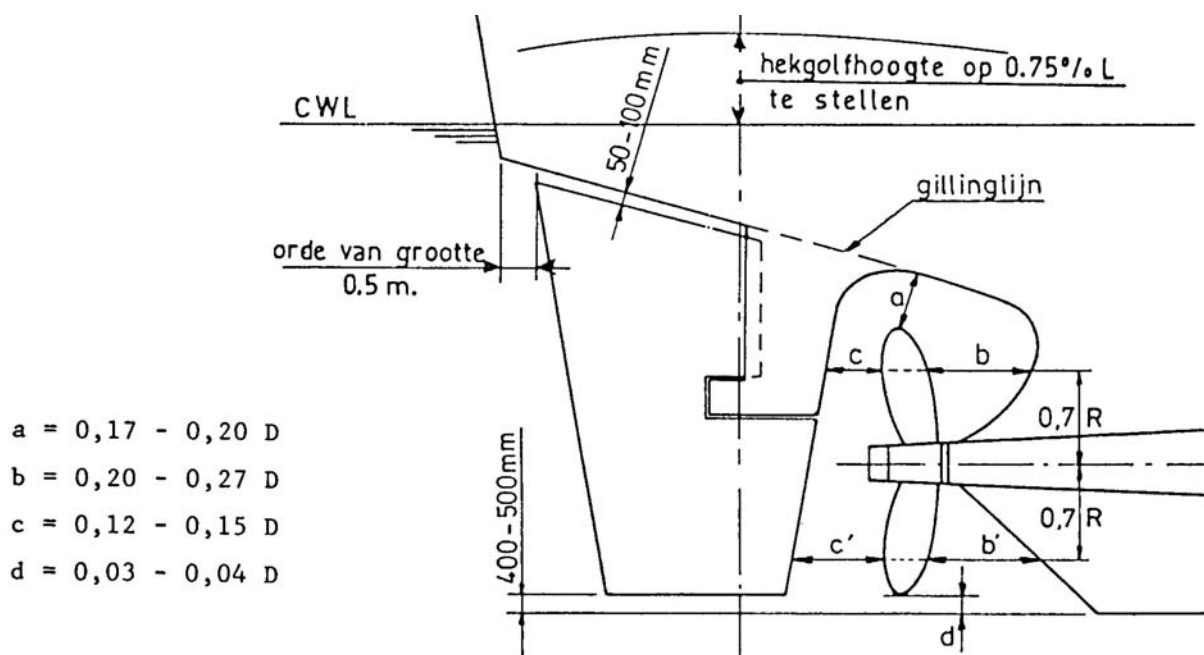
A_0 = SCHROEFSCHUFOPP. = $\frac{1}{2} \pi D^2$.

DE GETEKENDE SCHROEF HEEFT EEN CON-
STANTE SPOED. VOLGENS HET N.S.P. ZIJN
VOOR MATIG BELASTE SCHROEVEN VAN HAN-
DELSSCHEPEN DE GRENZEN VAN DE TREK-
KERHOEK $6^\circ - 10^\circ$ BIJ ENKELSCHROEFSCHEPEN
EN $8^\circ - 12^\circ$ BIJ DUBBELSCHROEFSCHEPEN.

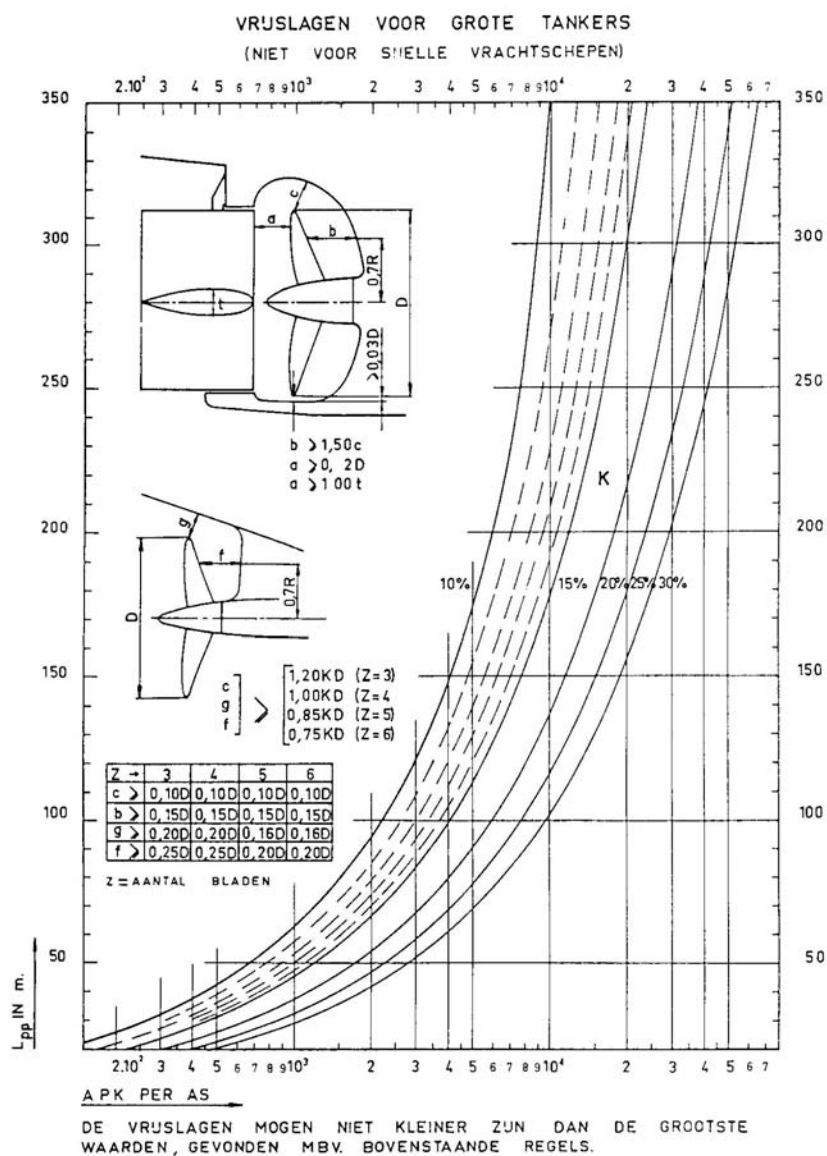
SCHROEFTABEL VOOR
SPOEDVERHOUDINGEN $P/D = 0.6 - 0.8 - 1.0 - 1.2 - 1.4$

AFSTANDEN UIT HART AS	$P/D = 0.6$		$P/D = 0.8$		$P/D = 1.0$		$P/D = 1.2$		$P/D = 1.4$	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
	0.01R	0.01R	0.01R	0.01R	0.01R	0.01R	0.01R	0.01R	0.01R	0.01R
0.2R	7.80	14.13	9.35	16.58	10.23	18.13	10.91	18.96	11.38	19.53
0.4R	6.86	10.08	8.68	12.73	9.97	14.86	11.17	16.78	12.05	18.49
0.6R	6.24	6.81	7.84	8.73	9.40	10.75	10.70	12.41	11.79	13.77
0.7R	5.82	5.35	7.43	6.91	8.83	8.41	10.18	9.87	11.32	11.12
0.8R	5.35	3.90	6.81	5.20	8.16	6.18	9.40	7.27	0.59	8.26
0.9R	4.52	2.34	5.77	2.97	6.86	3.53	7.95	4.10	9.09	4.67
0.95R	3.69	1.35	4.73	1.46	5.66	1.71	6.75	1.97	7.69	2.23

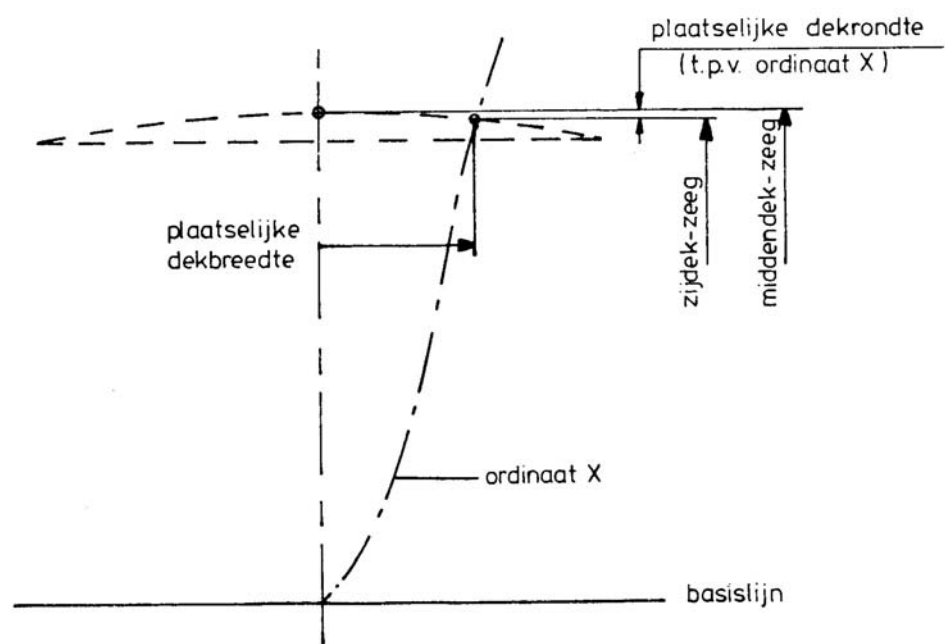
figuur 2.21



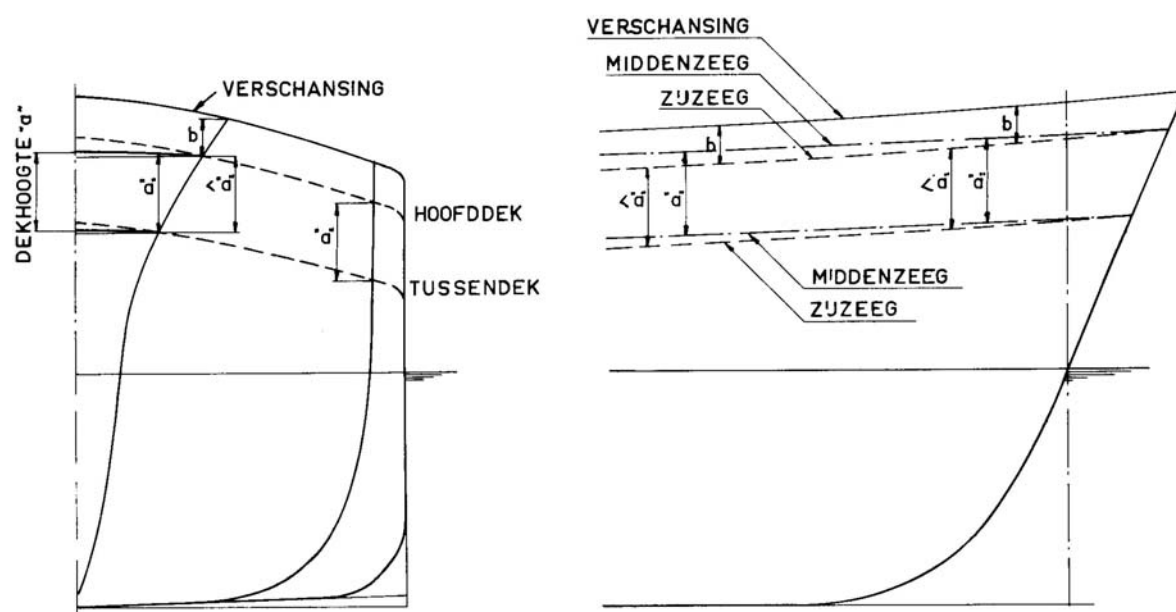
figuur 2.22



figuur 2.23



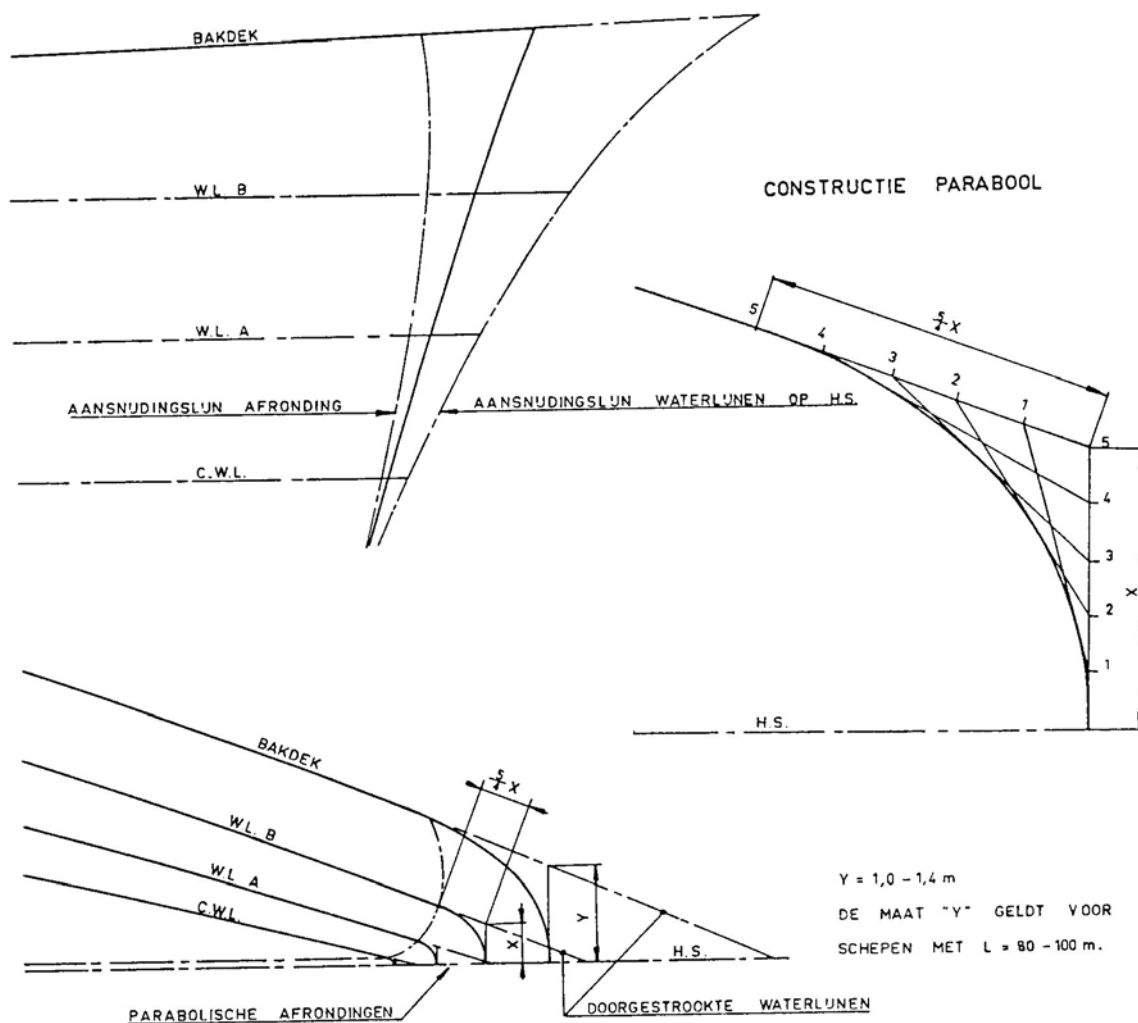
DEKHOOGTE EN ZEEGLIJNEN



figuur 2.24

AFRONDING VAN WATERLUNEN T.P.V. DE VOORSTEVEN

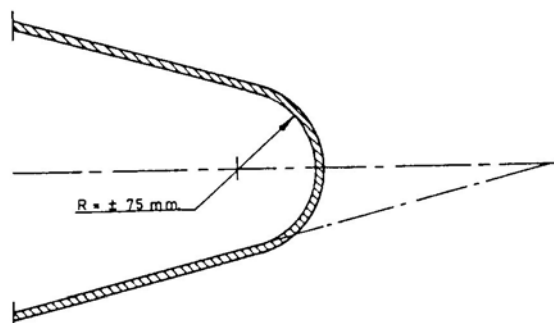
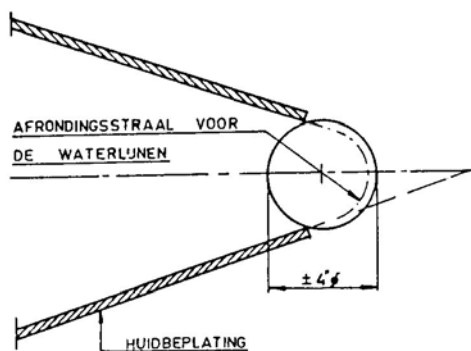
PLAATSTEVEN BOVEN DE C.W.L.
GELDT IN PRINCIPE OOK VOOR ACHTERSTEVEN



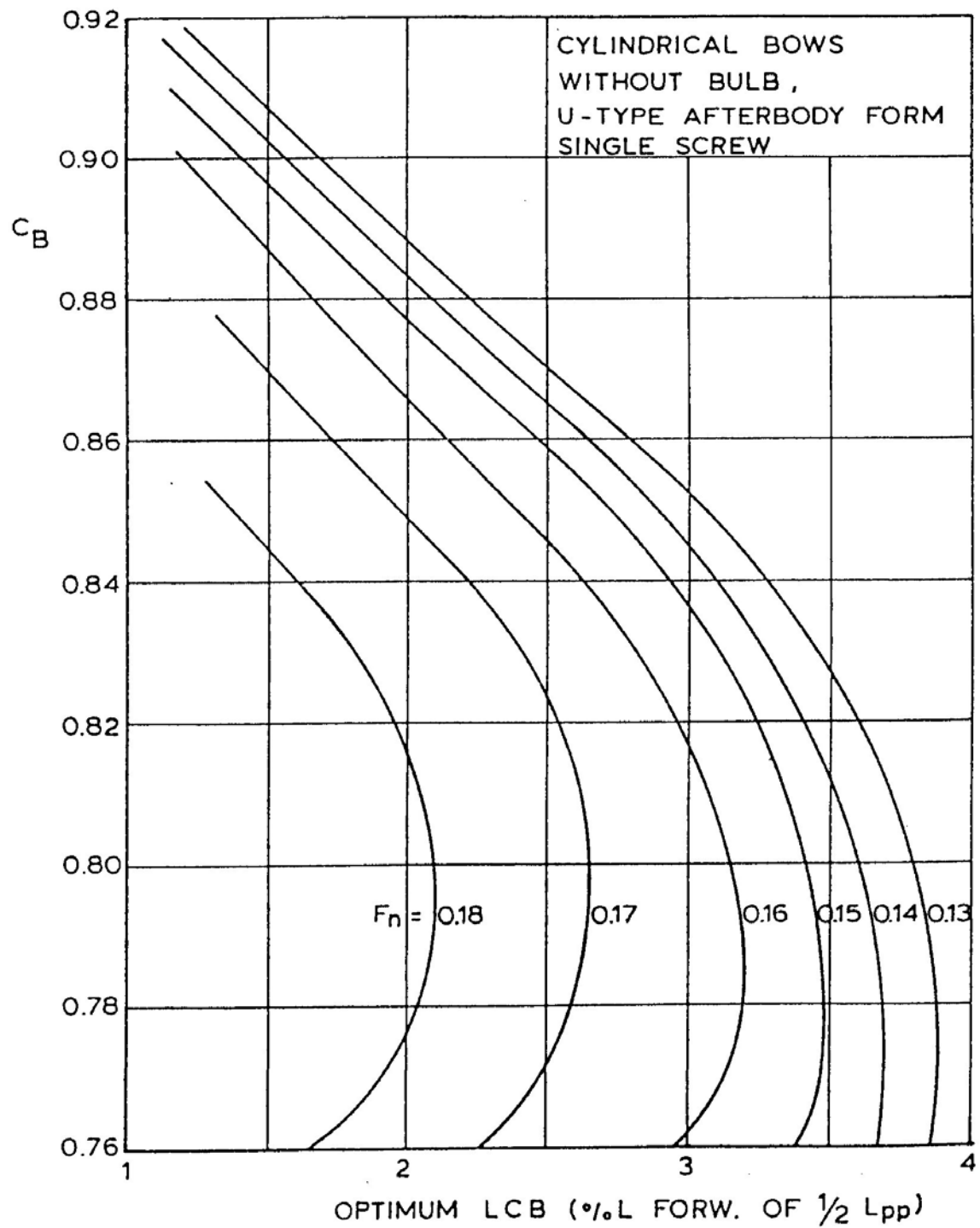
DETAILS STEVEN ONDER DE C.W.L.

MASSIEVE STEVEN

PLAATSTEVEN

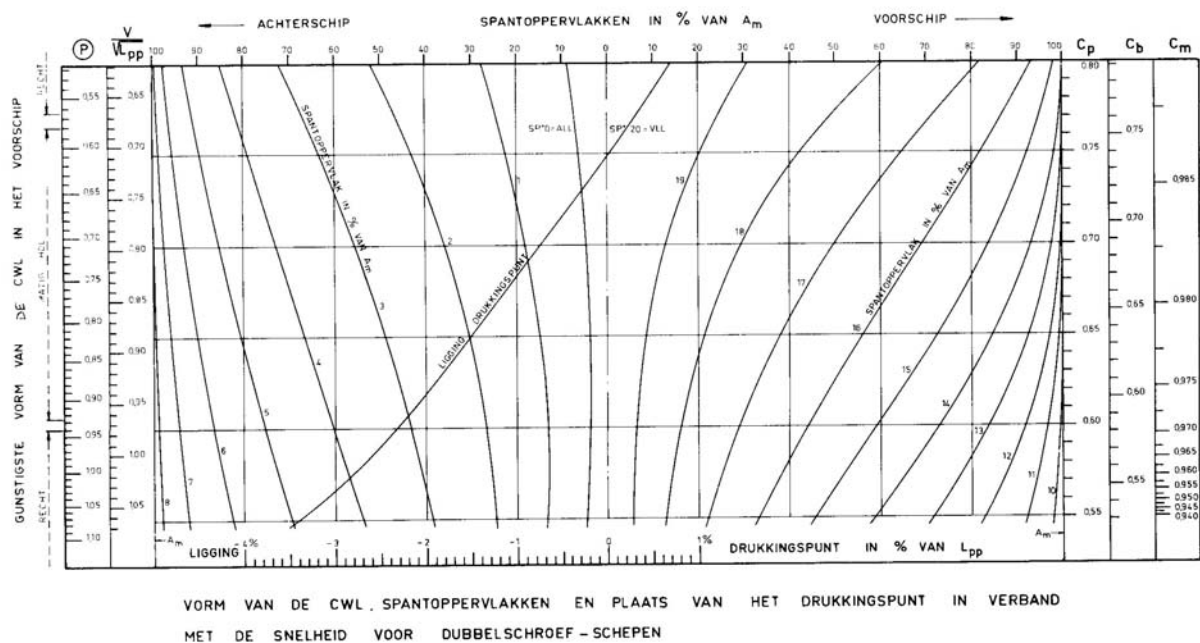
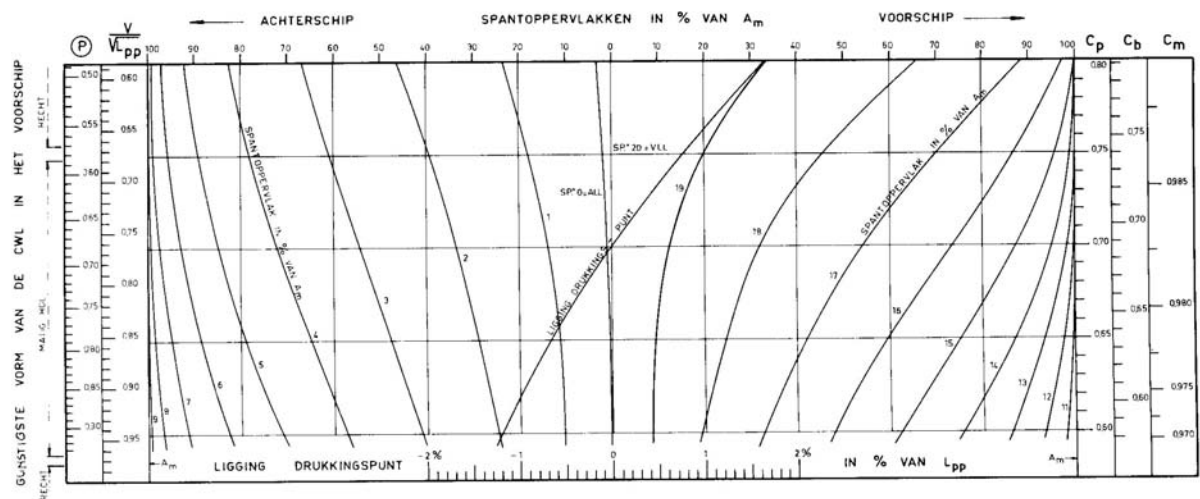


figuur 2.25



uit: Hydrodynamic considerations in the design of full hull forms
(J.J. Blok en J. Holtrop, MARIN)

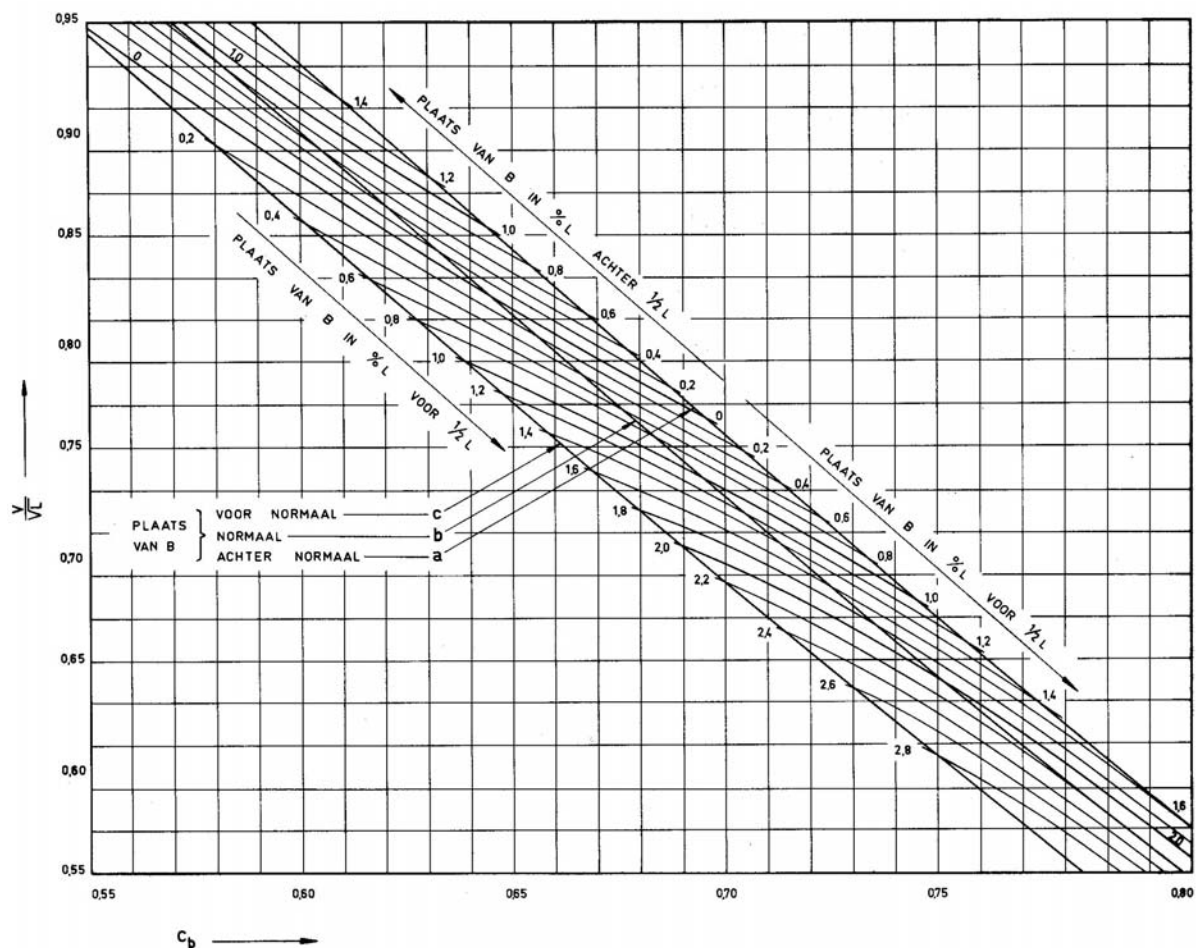
figuur 2.26



L_{pp} = LENGTE TUSSEN DE LOODLUNEN IN VOETEN
 V = SCHEEPSSNELHEID IN KNOPEN
 A_m = GROOTSPANT - OPPERVLAK
 $P = 0.7462 \frac{V}{\sqrt{C_p \cdot L_{pp}}}$

C_p = LANGSSCHEEPSE PRISMATISCHE - COËFFICIENT
 C_b = BLOK - COËFFICIENT
 C_m = GROOTSPANT - COËFFICIENT

figuur 2.28



De optimale plaats van het drukingspunt, afhankelijk van blokcoëfficiënt en snelheidsgraad.

VOOR DE LENGTE L MOET WORDEN GENOMEN :

BIJ ENKEL- EN DRIESCHROEF-SCHEPEN

KRUISERHEK : $L_{pp} + 1\%$

ELLIPTISCH-HEK : $L_{pp} - 1\%$

BIJ DOBBEL- EN VIERSCHROEF-SCHEPEN

KRUISERHEK : $L_{pp} + 3\%$

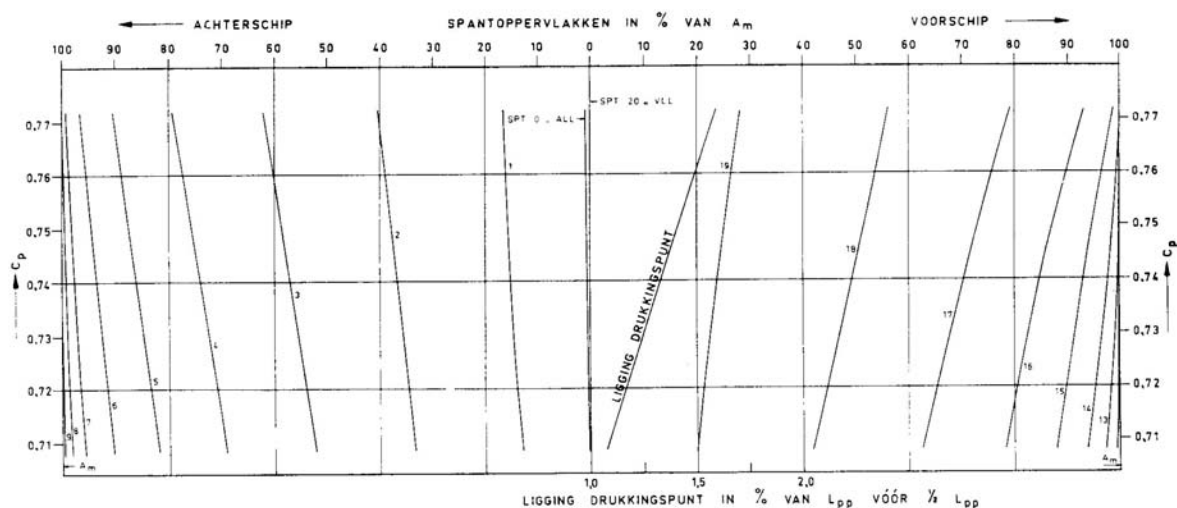
ELLIPTISCH-HEK : L_{pp}

V IN KNOPEN : L IN VOETEN

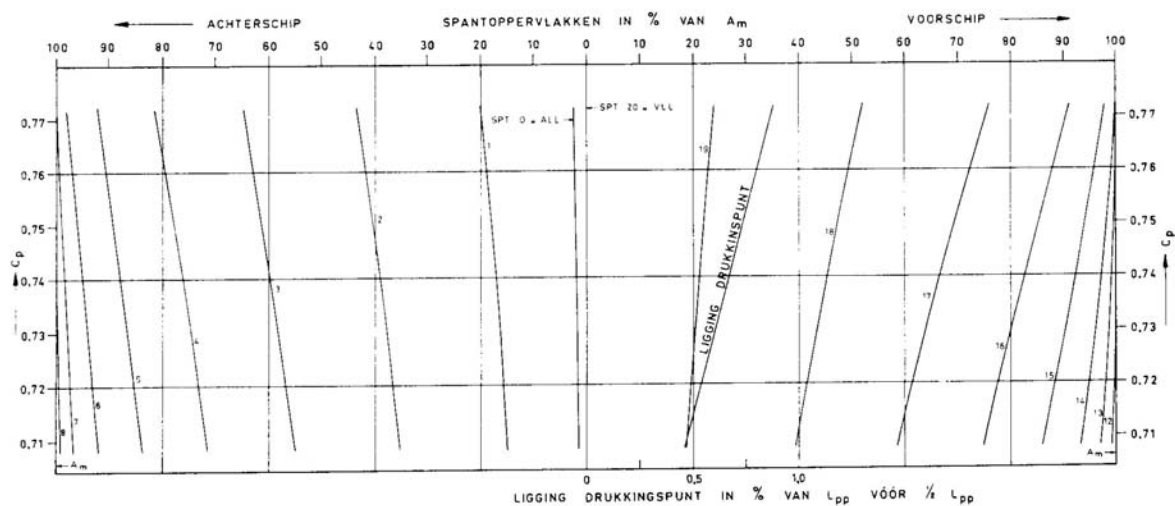
spiegelhek : $L = L_{wl}$

UIT : THE DESIGN OF MERCHANT SHIPS
DOOR IR. J. C. ARKENBOUT SCHOKKER

figuur 2.29



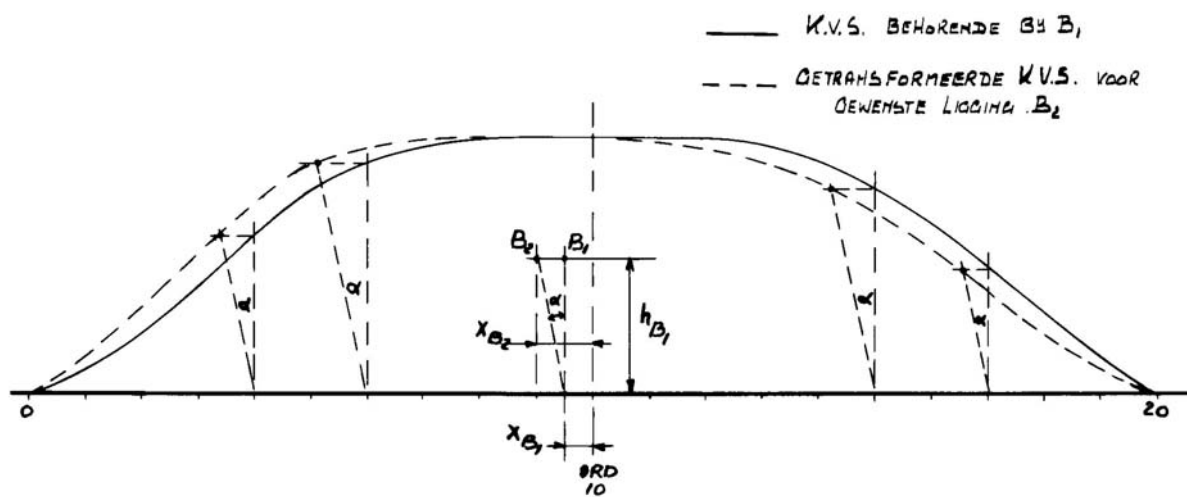
Spantoppervlakken en ligging drukkingspunt in verband met C_p voor kustvaartuigen (voldekschepen).



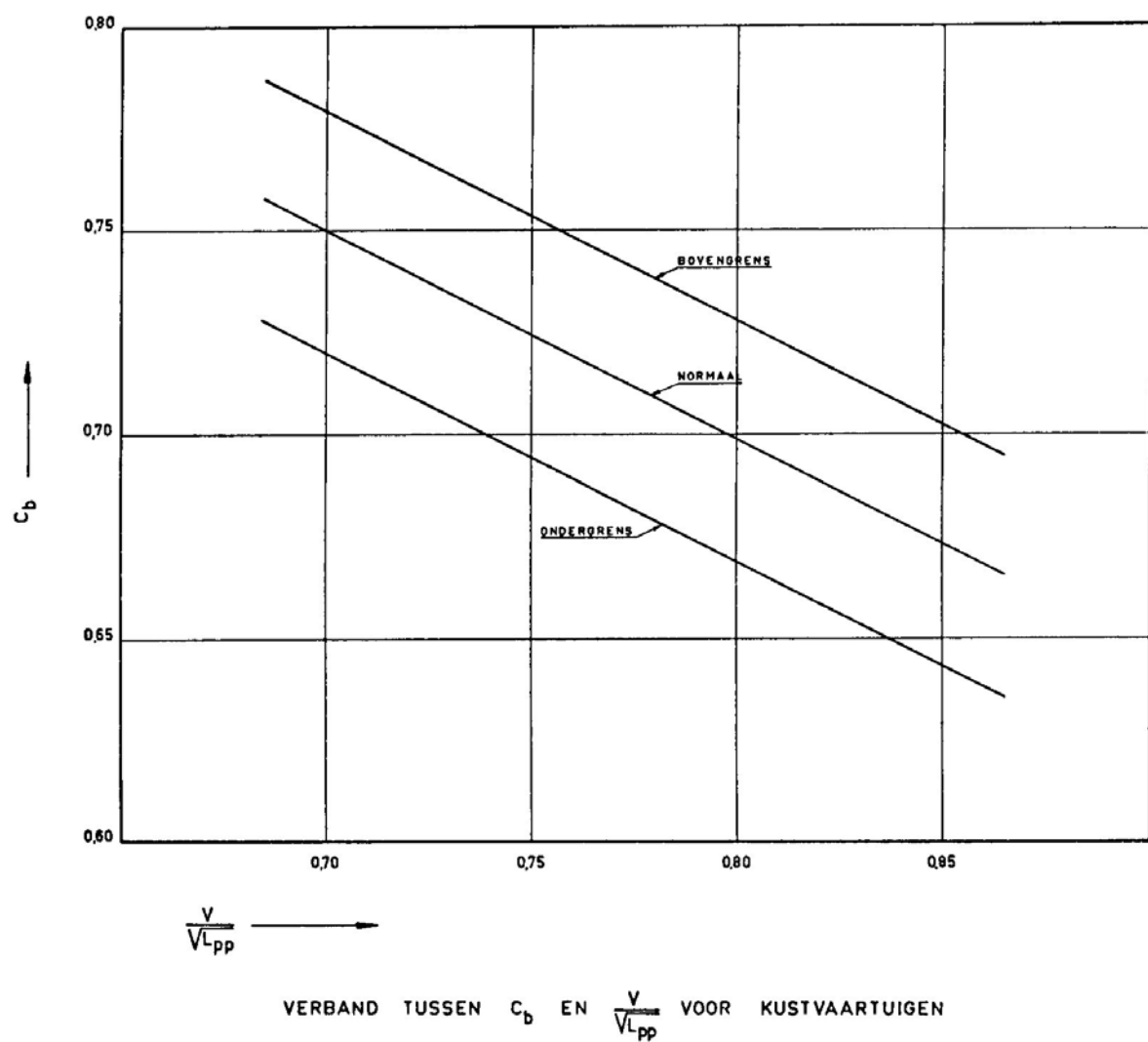
Spantoppervlakken en ligging drukkingspunt in verband met C_p voor kustvaartuigen (R.Q.D.schepen).

Spantoppervlakken voor kustvaartuigen.

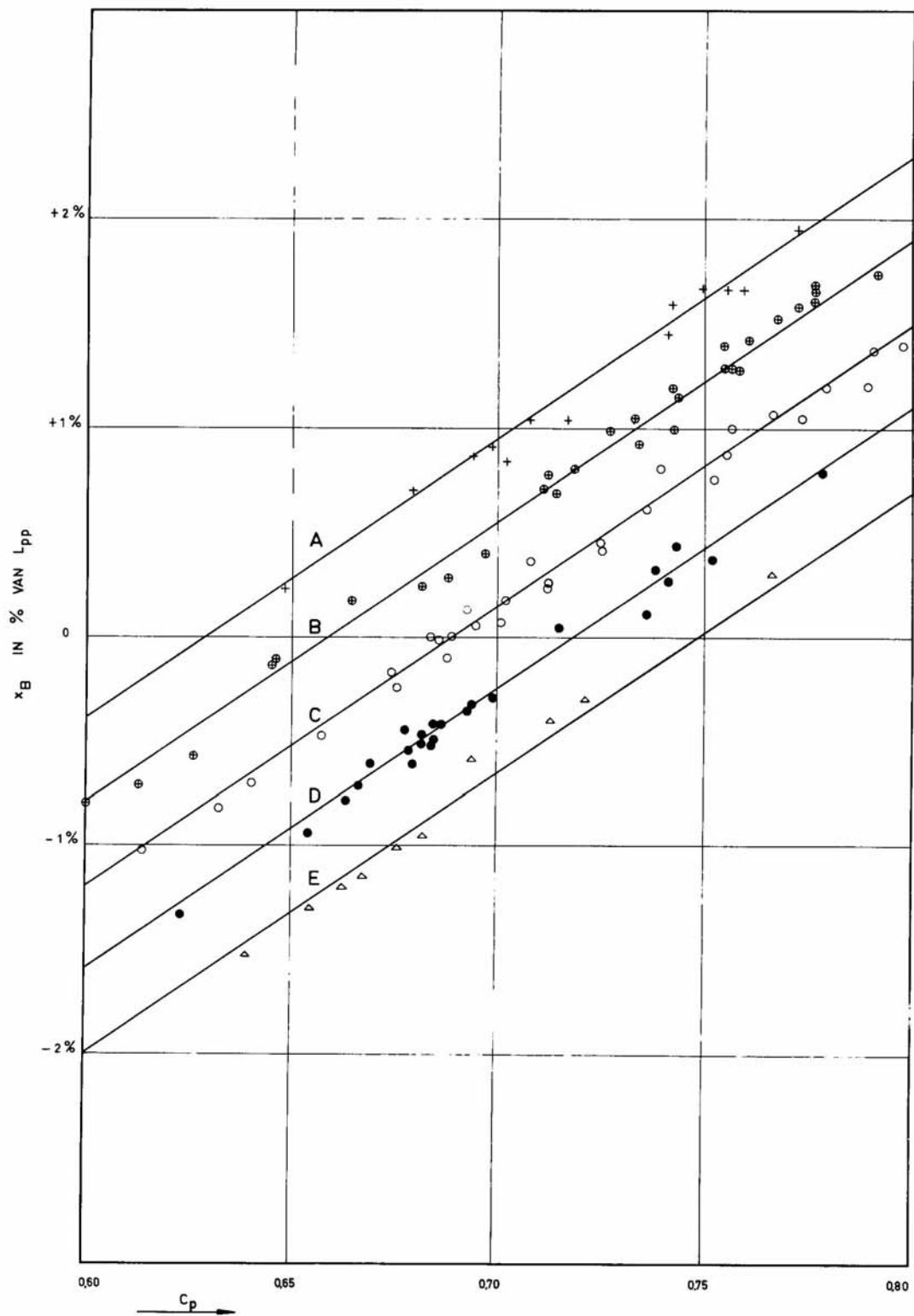
figuur 2.30



figuur 2.31



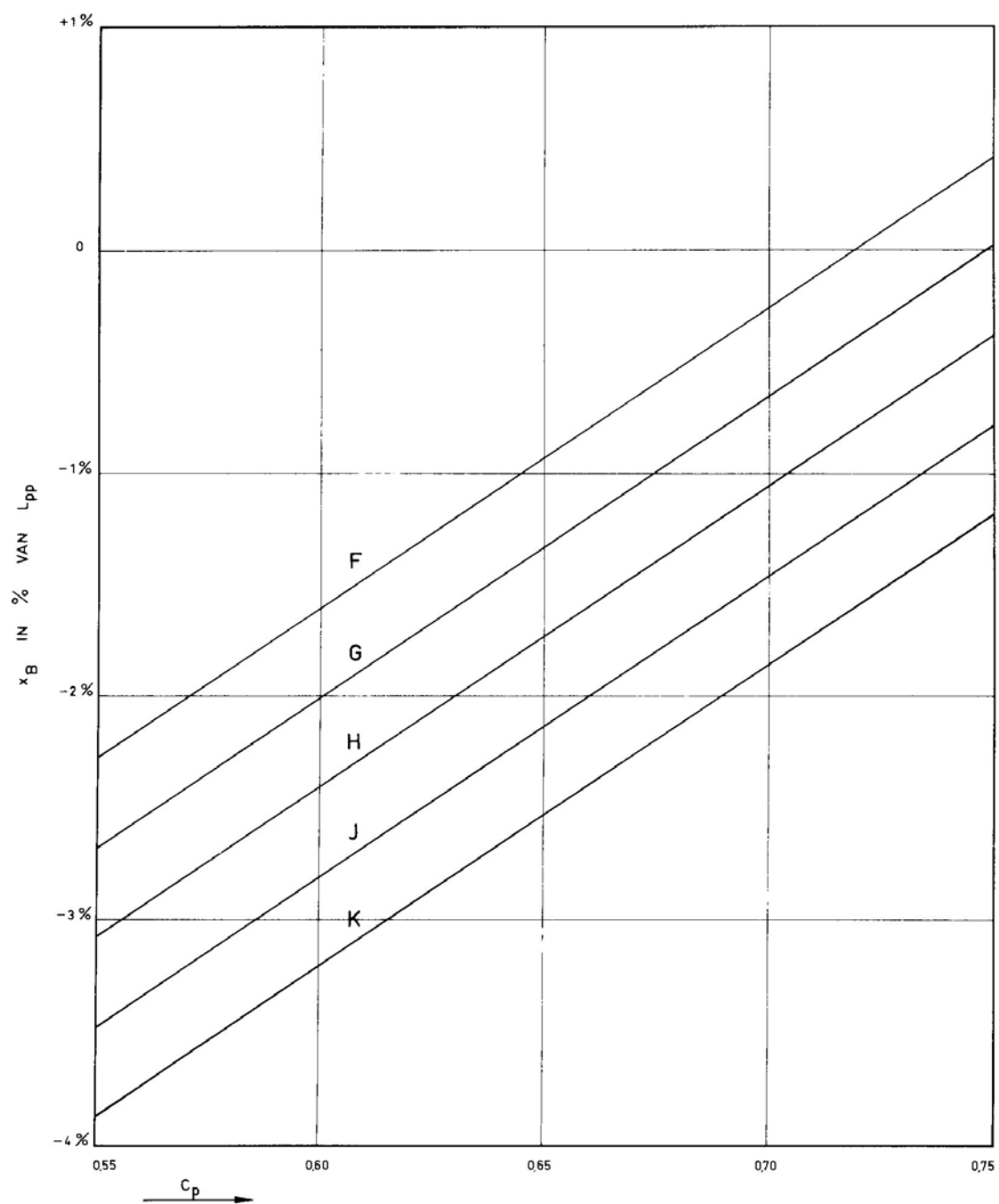
figuur 2.32



Verband tussen x_B en C_p voor E.S.S.

UIT : FUNDAMENTALS OF SHIP RESISTANCE AND PROPULSION
PART A. RESISTANCE BY IR. A.J.W. LAP

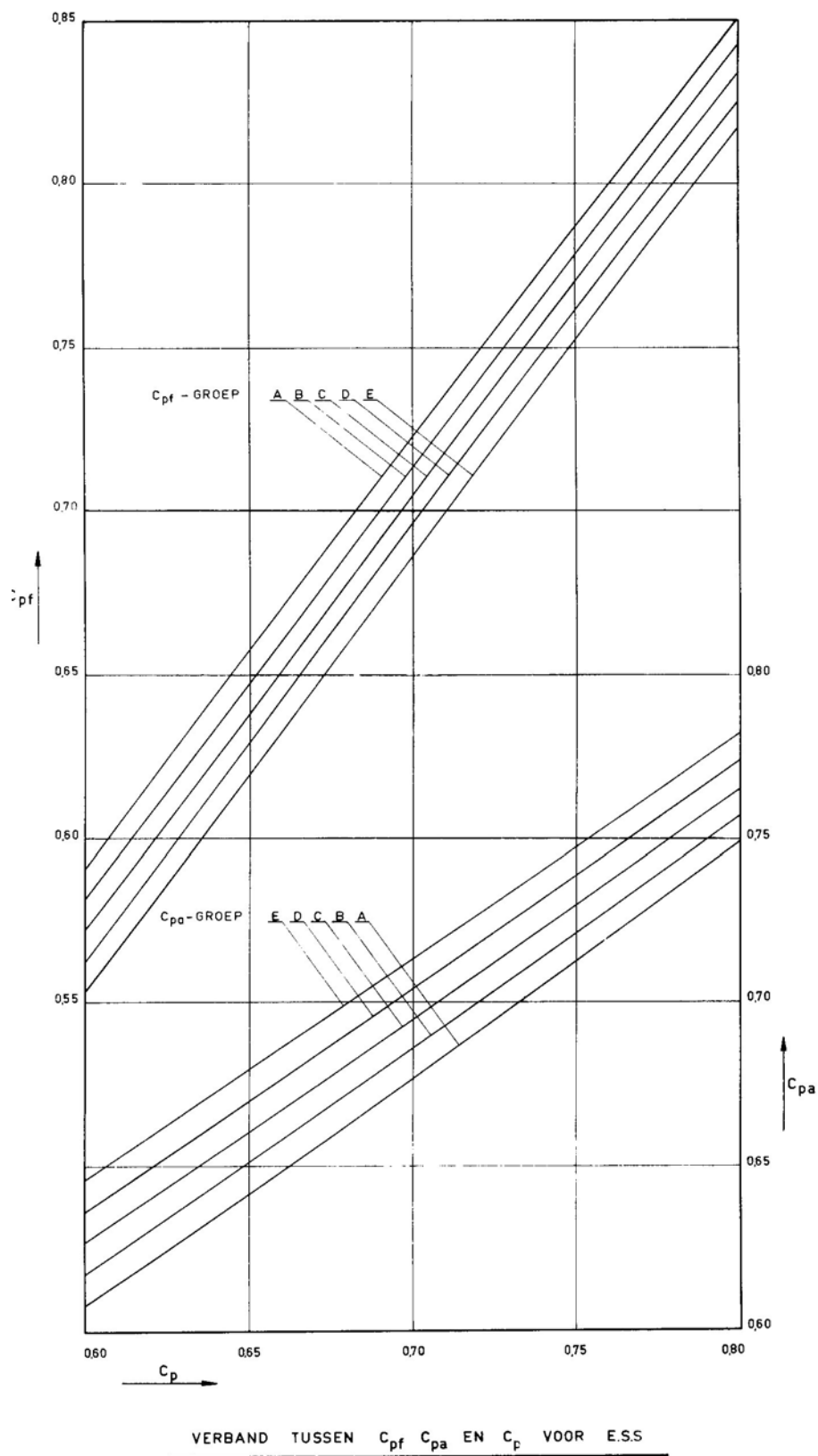
figuur 2.33



VERBAND TUSSEN x_B EN C_p VOOR D.S.S.

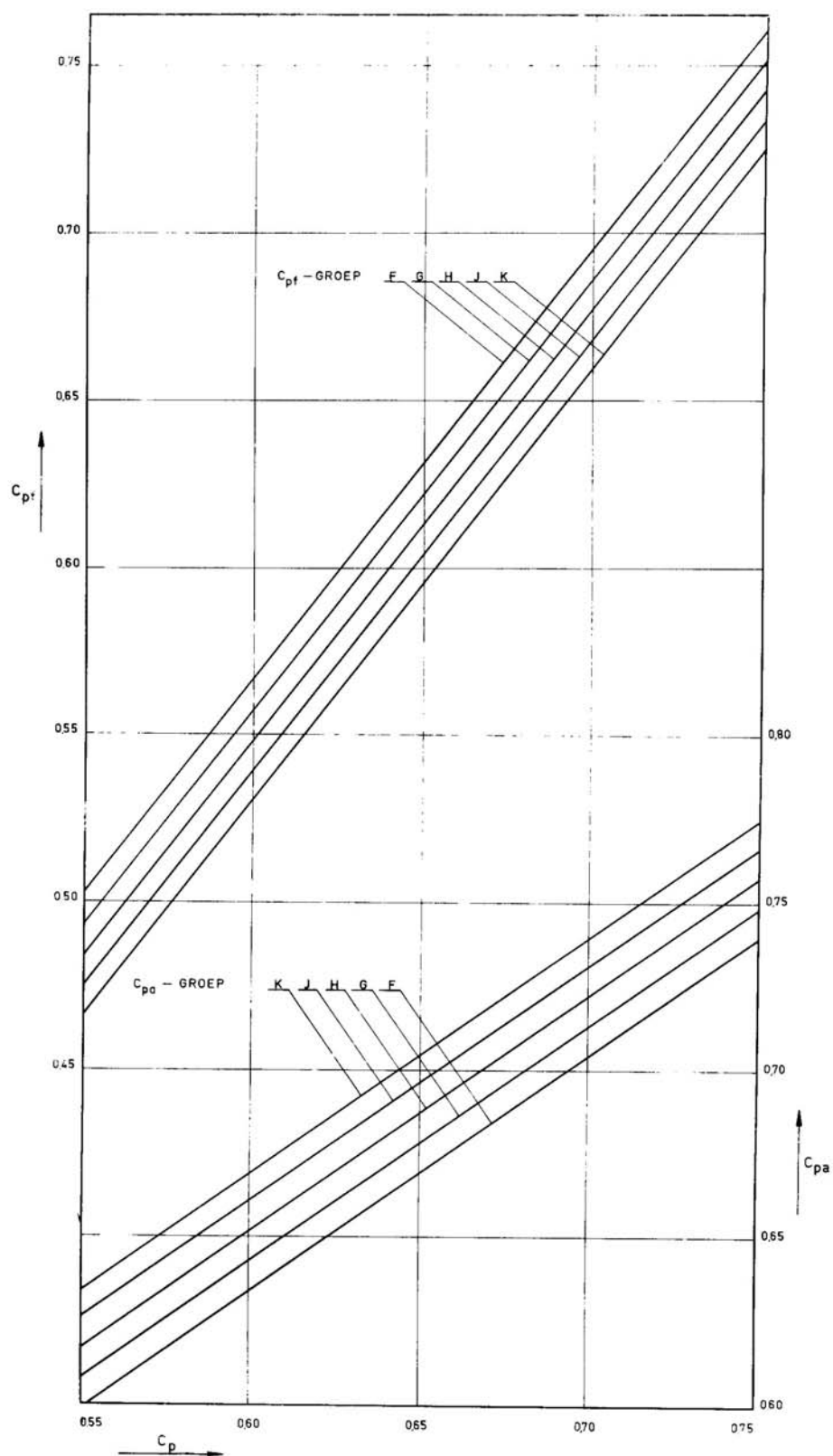
UIT : DIAGRAMMES POUR LA DÉTERMINATION DE LA
RÉSISTANCE DES NAVIRES À DEUX HÉLICES.
PAR IR. A. J. W. LAP

figuur 2.34



THE FUNDAMENTALS OF SHIP RESISTANCE AND PROPULSION
PART A RESISTANCE BY IR. A. J. W. LAP

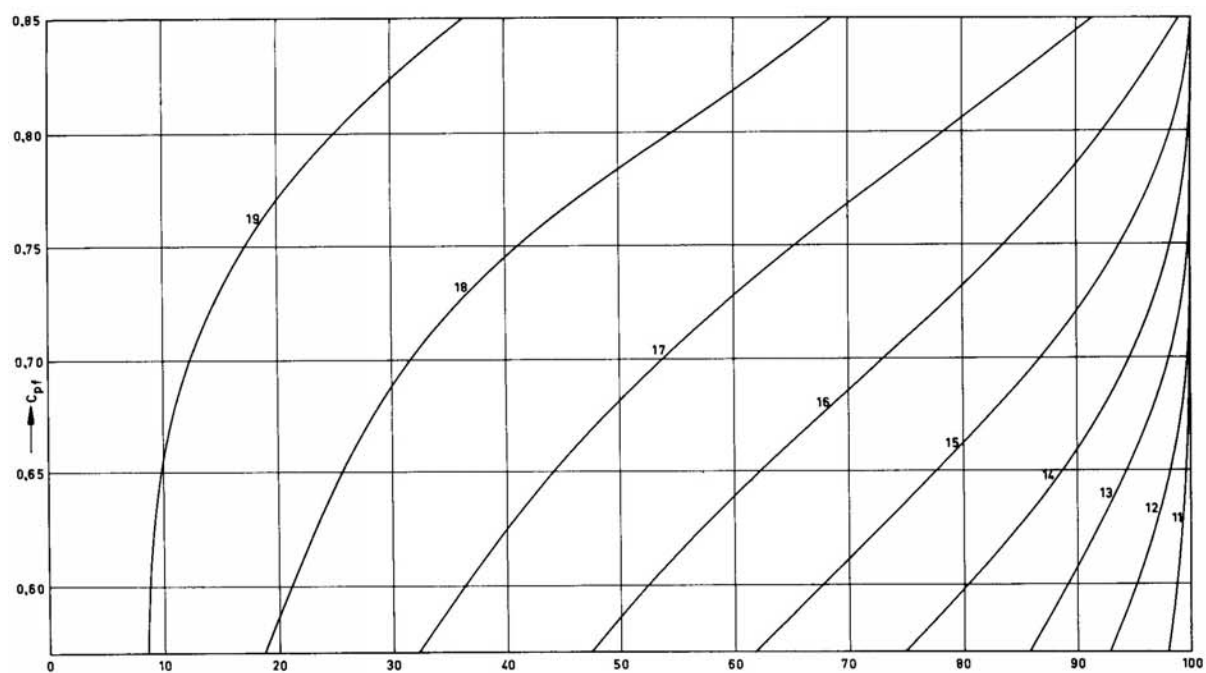
figuur 2.35



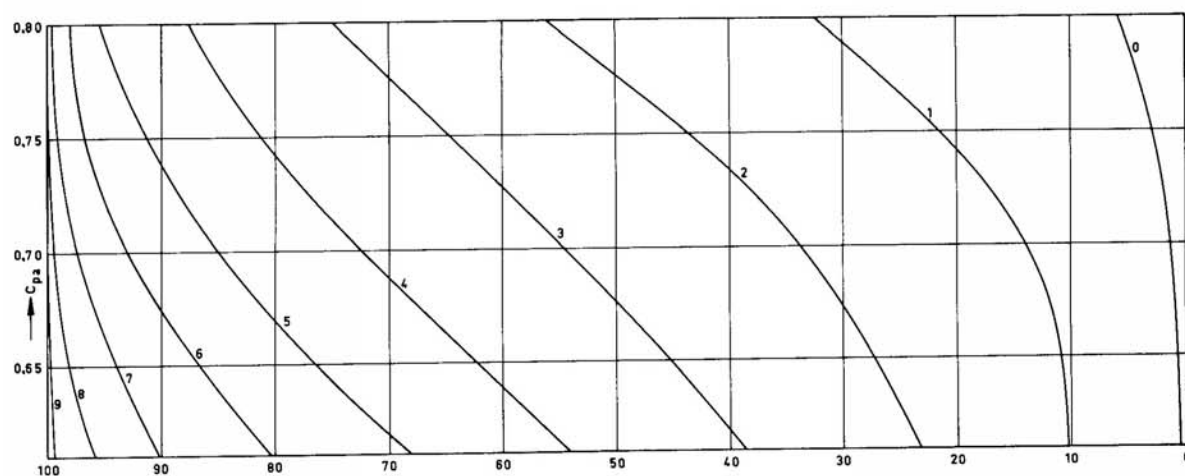
VERBAND TUSSEN C_{pf} , C_{pa} EN C_p VOOR D.S.S.

DIT DIAGRAMMES POUR LA DÉTERMINATION DE LA
RÉSISTANCE DES NAVIRES A NEUF PÉRIODES
PAR IR. A. J. W. LAP

figuur 2.36



Oppervlakken in % van A_m voor het voorschip →

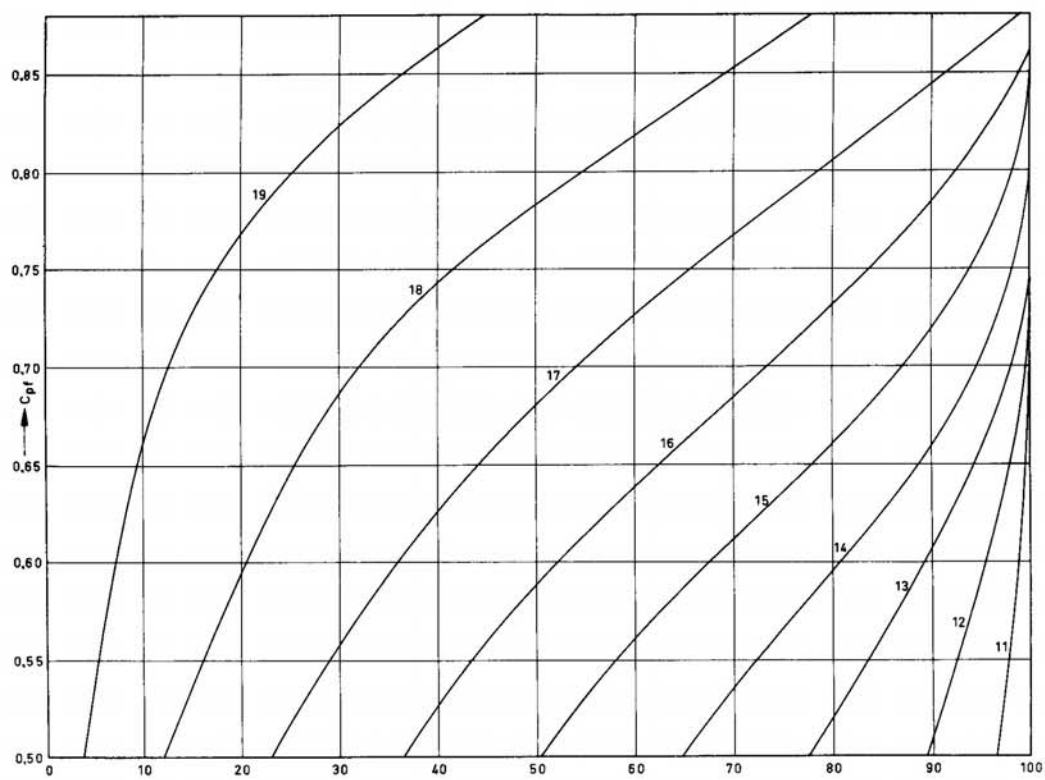


Oppervlakken in % van A_m voor het achterschip →

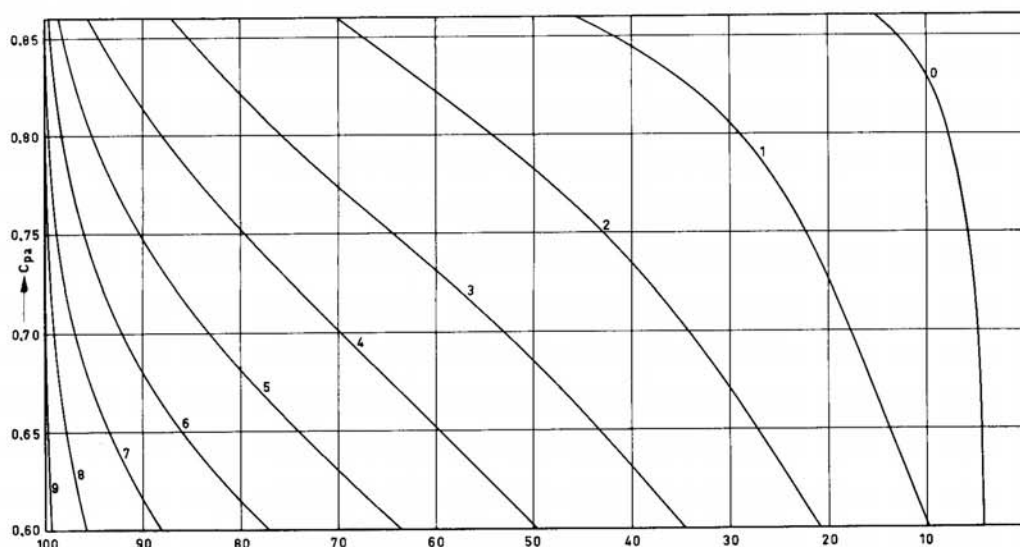
SPANTOPPERVLAKKEN VOOR EEN E.S.S.
(GELDT NIET VOOR KUSTVAARTUIGEN)

UIT: FUNDAMENTALS OF SHIP RESISTANCE AND PROPULSION
PART A: RESISTANCE BY IR. A.J.W. LAP.

figuur 2.37



Oppervlakken in % van A_m voor het voorschip →



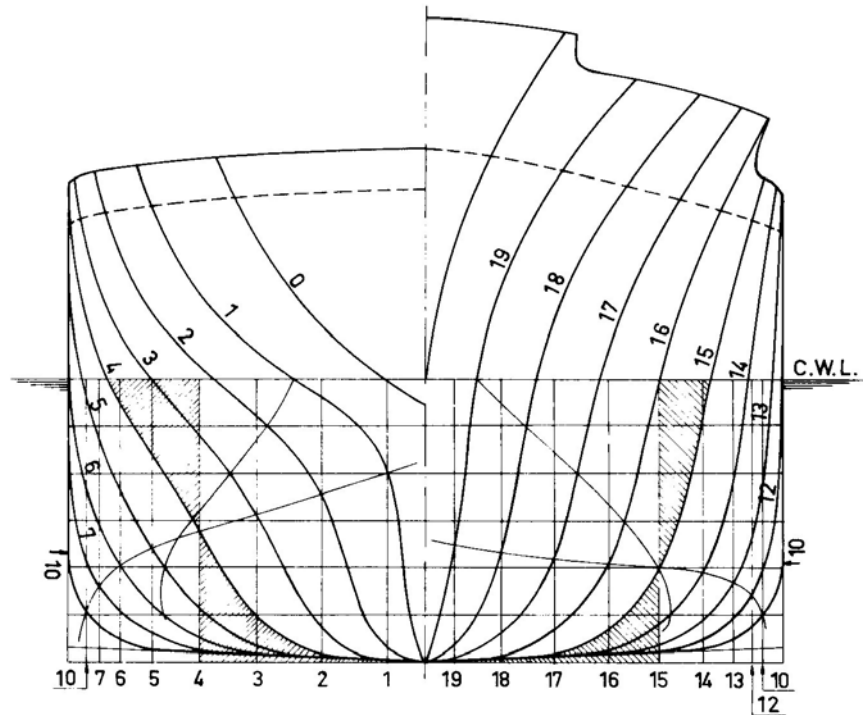
Oppervlakken in % van A_m voor het achterschip →

SPANTOPPERVLAKKEN VOOR EEN D.S.S.

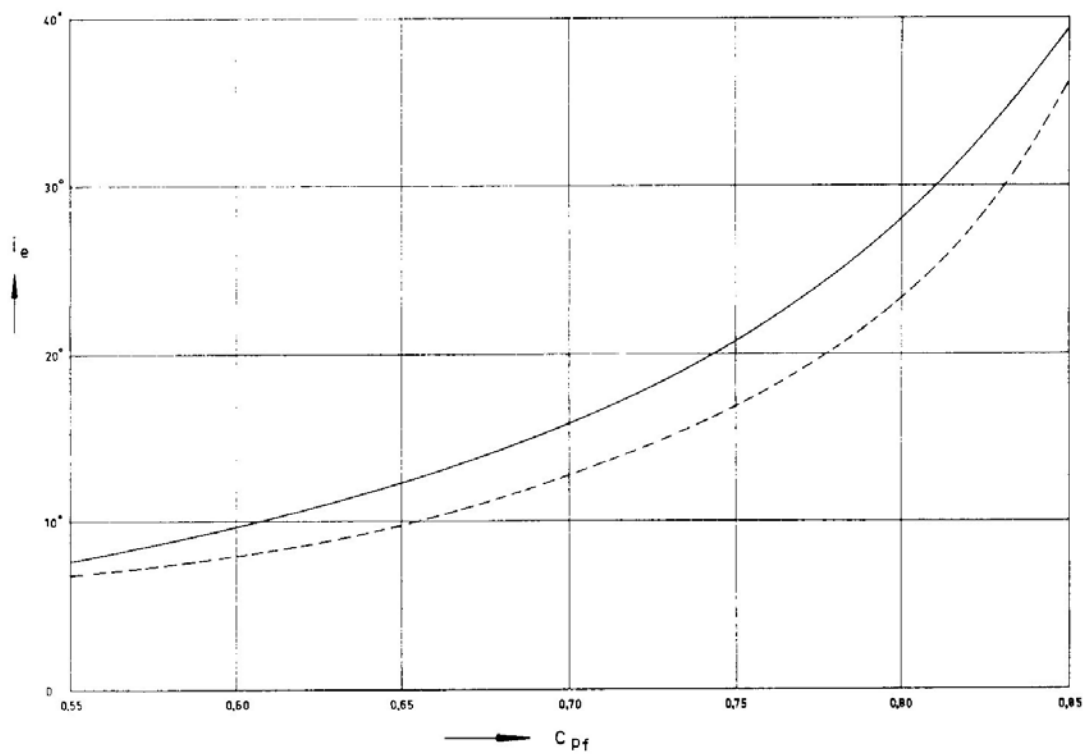
UIT: DIAGRAMMES POUR LA DÉTERMINATION DE LA RÉISTANCE
DES NAVIRES À DEUX HÉLICES PAR IR. A.J.W. LAP.

figuur 2.38

KONSTRUKTIE SPANTENRAAM



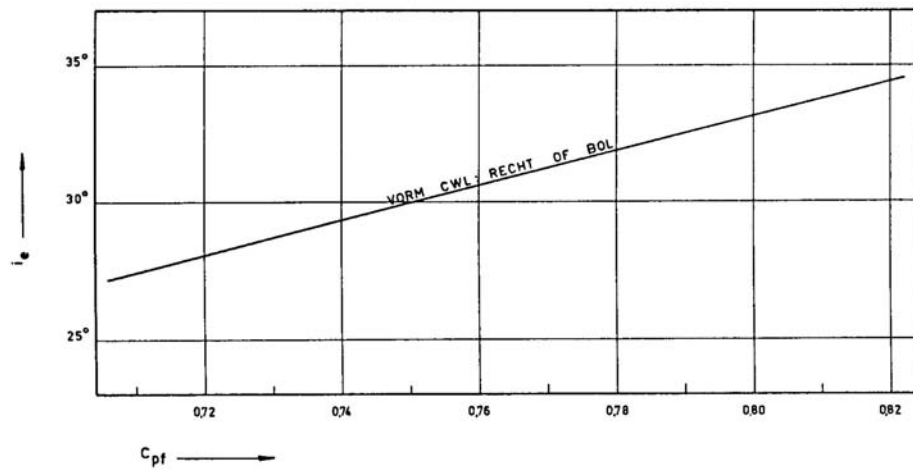
figuur 2.39



INTREEHOEK VAN DE LASTLUN.
 ——— N.S.P. (MATIG V SPANT)
 - - - - - SIXTY SERIES. (U SPANT)

UIT FUNDAMENTALS OF SHIP RESISTANCE AND PROPULSION
 PART A. RESISTANCE BY IR. A.J.W. LAP.

figuur 2.40

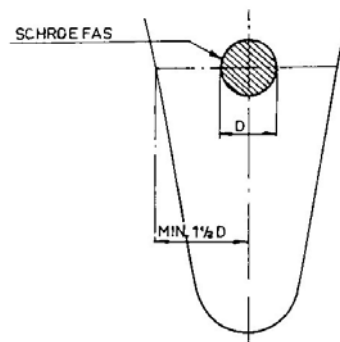


VERBAND TUSSEN i_e VAN DE CWL EN C_{pt} VOOR KUSTVAARTUIGEN

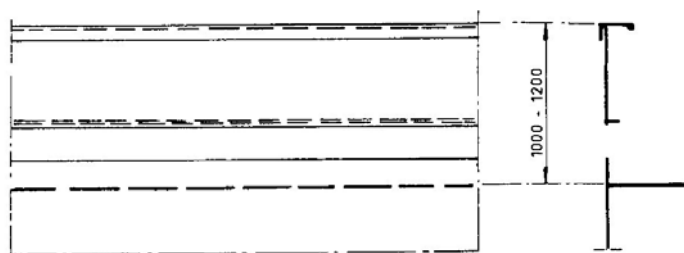
UIT: PUBLICATIE NR 73 VAN HET N.S.P. TE WAGENINGEN
DOOR J.K.D. VAN DER KLIS EN J. KAMPS.

figuur 2.41

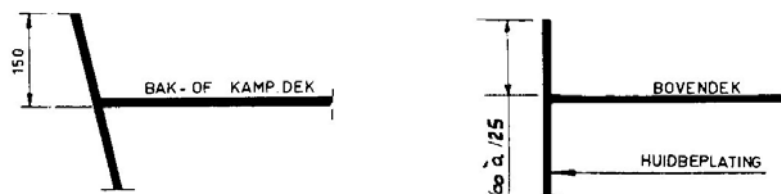
SPANTVORM ORD. 1
ONGEVEER DE PLAATS VAN HET ACHTERPIEKSCHOT



VERSCHANINGHOOGTE



HOOGTE HUIDBEPLATING BOVEN DEK



Enige praktische wenken bij het tekenen van een lijnenplan

figuur 2.42

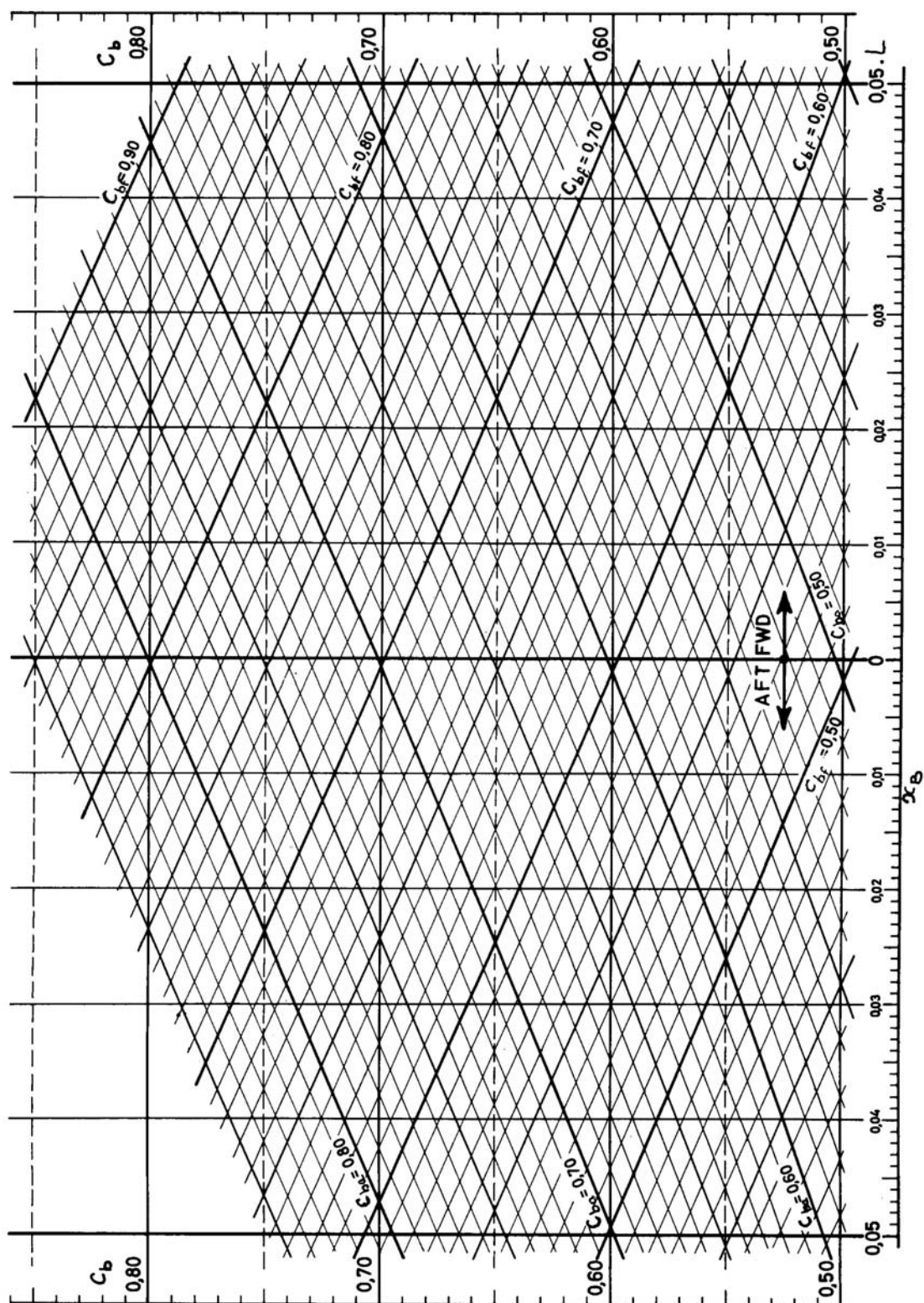
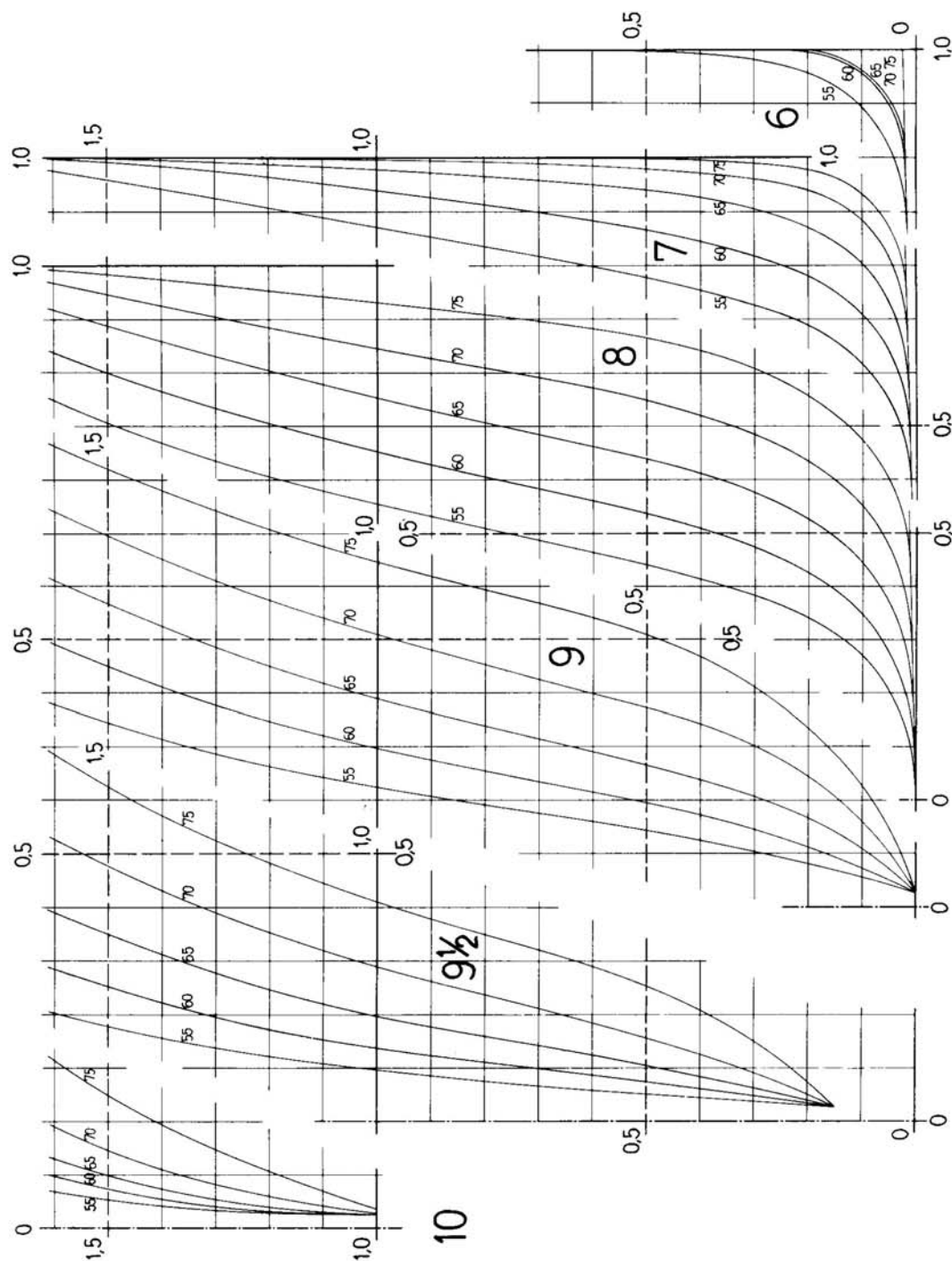


Diagram ter bepaling van C_b achterschip en C_b voorschip

figuur 2.43



Non-dimensional sections for N-formed fore bodies, having $C_m=0.98$ and $C_{b,p}=0.55-0.60-0.65-0.70$ and 0.75 .
 NOTE! The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

Formdata-spanten (voorschip - normaal vorm)

figuur 2.44

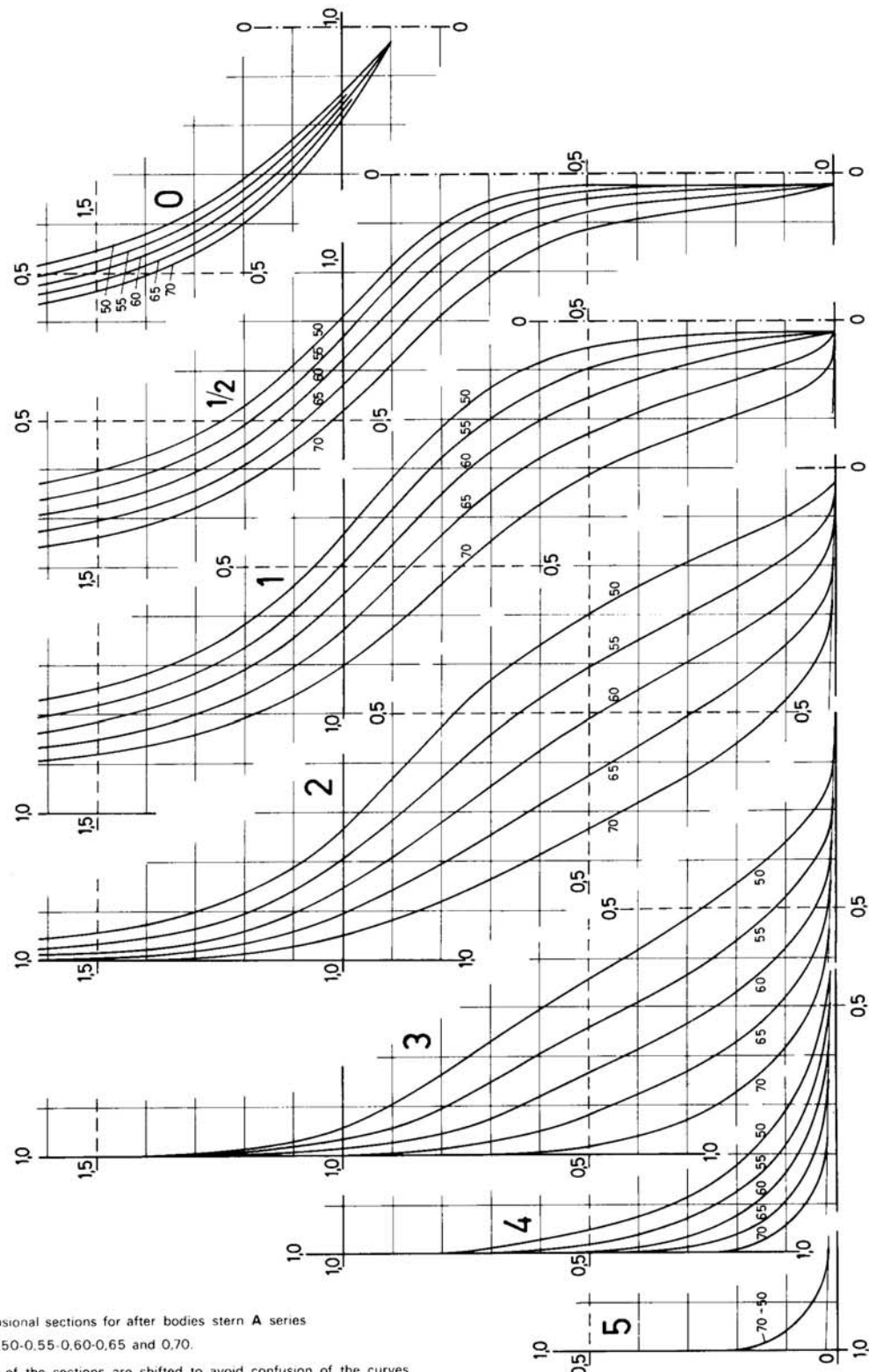
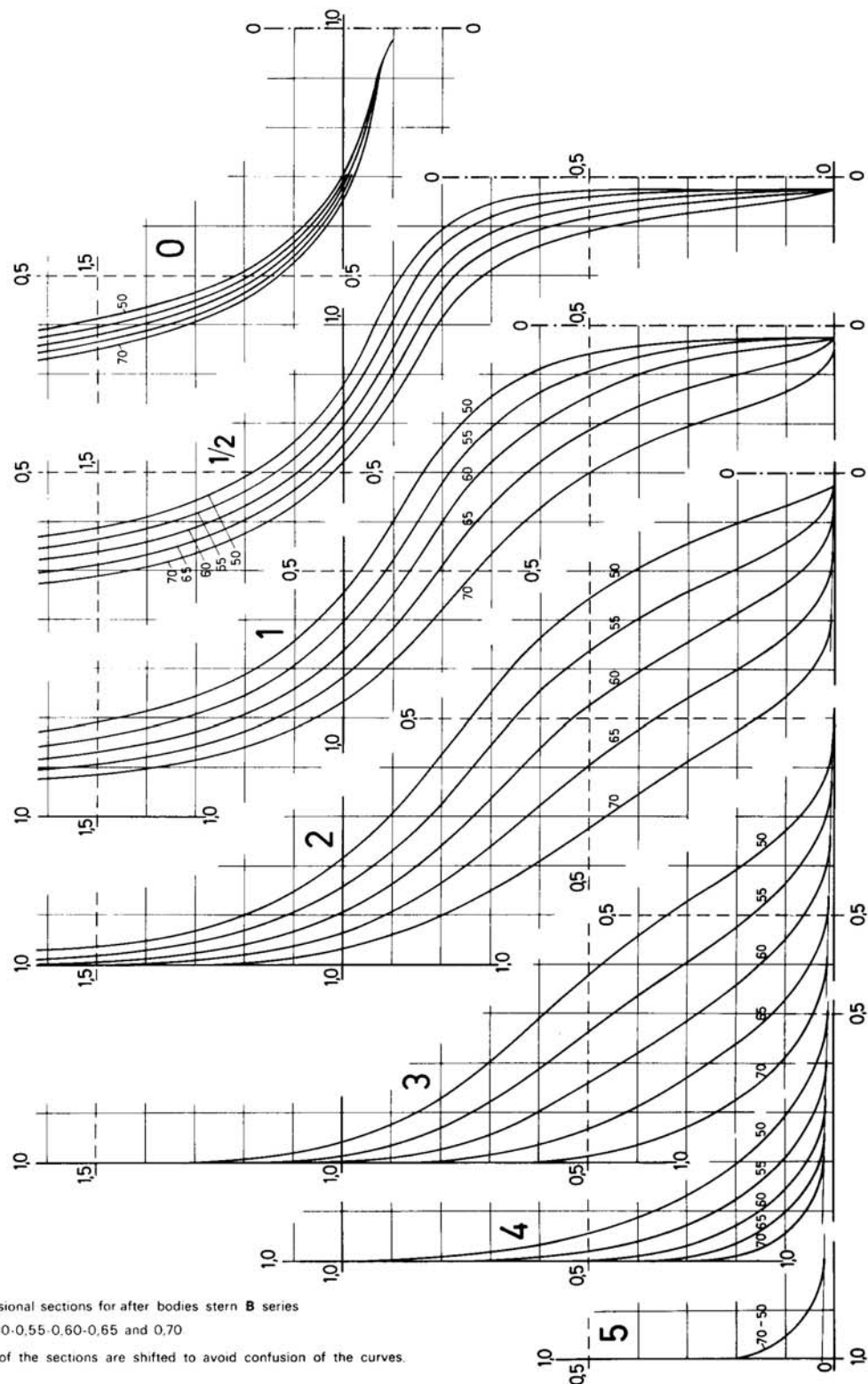


PLATE 21. Non-dimensional sections for after bodies stern A series
 $\beta = 0.98$ and $\delta_A = 0.50-0.55-0.60-0.65$ and 0.70 .

NOTE! The centerlines of the sections are shifted to avoid confusion of the curves.

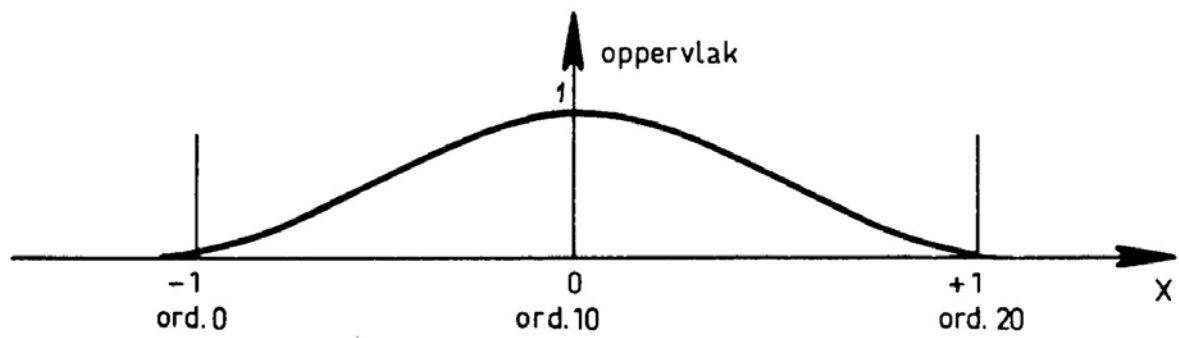
Formdata-spanten achterschip (spiegelhek)
 (spiegelbreedte A)

figuur 2.45

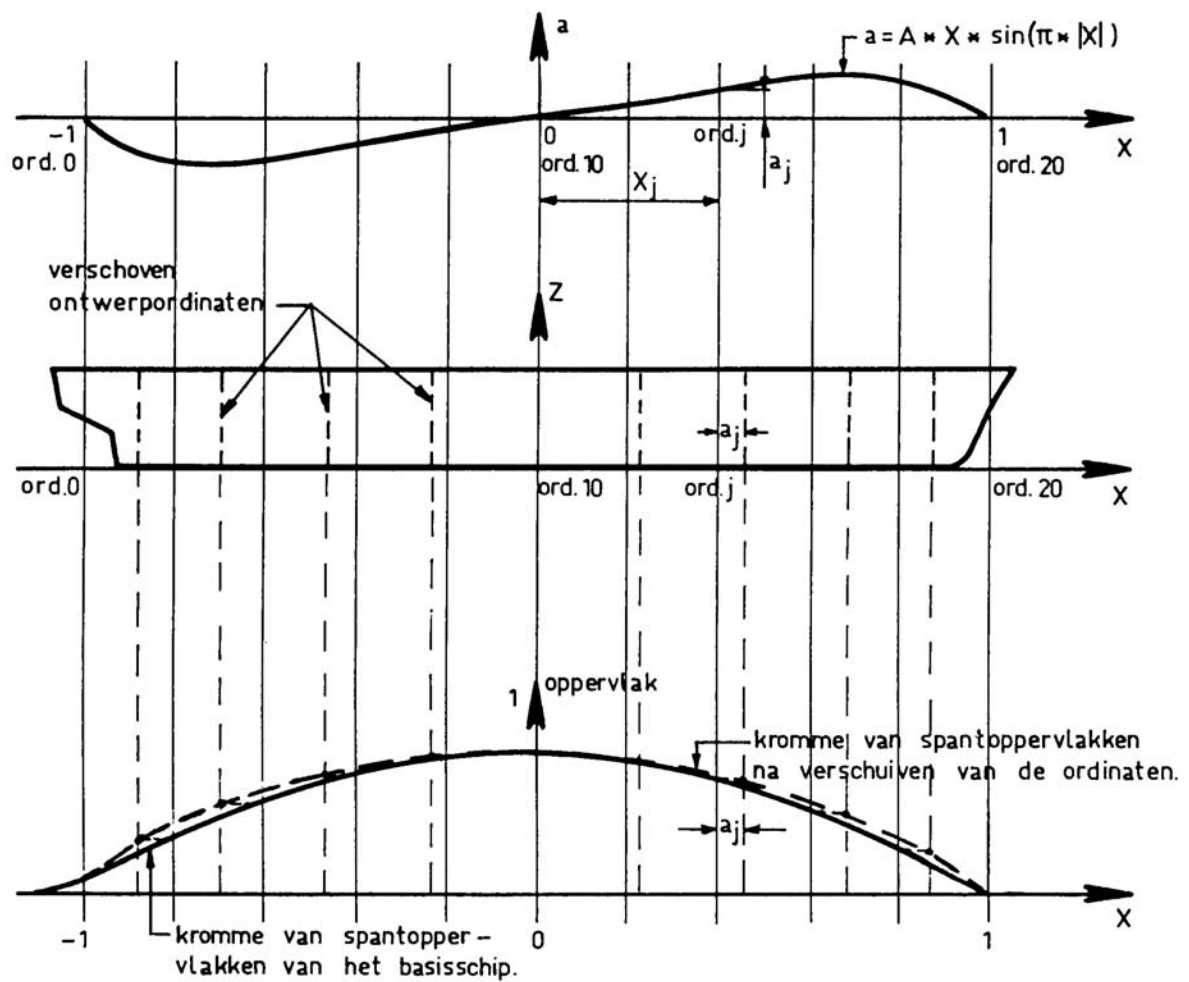


Formdata-spanten achterschip (spiegelhek)
 (spiegelbreedte B)

figuur 2.46



figuur 2.48



figuur 2.49

HOOFDSTUK 3

3 Hydrostatische grootheden en carènediagram

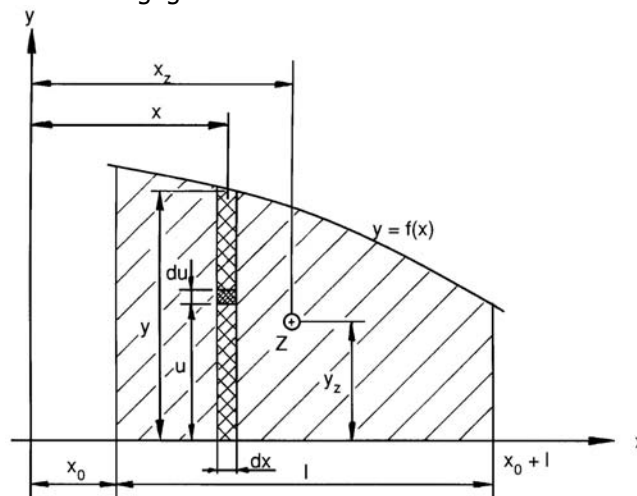
3.1 De berekening van hydrostatische grootheden

Uit het voorgaande is gebleken dat oppervlakken, inhouden, zwaartepunten, traagheidsmomenten, enz. een belangrijke rol spelen bij het evenwicht van drijvende lichamen.

Bij enkele eenvoudige vormen zijn deze grootheden gemakkelijk te berekenen (rechthoek, cirkel, bol, enz.), maar bij willekeurig gevormde vlakken en lichamen zoals schepen zijn speciale methoden nodig.

Berekening van het oppervlak en statisch moment

Een willekeurig continue kromme is gegeven:



figuur 3.1

Het oppervlak van een strookje met hoogte y en breedte $dx = y \, dx$; het oppervlak begrensd door de x -as en de ordinaten $x = x_0$, $x = x_0 + l$ en de kromme is:

$$A = \int_{x_0}^{x_0+l} y \, dx$$

Het statisch moment van het strookje t.o.v. de x -as bedraagt:

$$y \, dx \cdot \frac{1}{2} y = \frac{1}{2} y^2 dx$$

het statisch moment van het oppervlak A t.o.v. de x -as bedraagt:

$$S_x = \frac{1}{2} \int_{x_0}^{x_0+l} y^2 \, dx$$

de y -ordinaat van het zwaartepunt Z is: $y_z = \frac{S_x}{A}$

Op dezelfde wijze is het statisch moment te berekenen van het strookje t.o.v. de y -as:

$$S_y = \int_{x_0}^{x_0+l} x y \, dx$$

het statisch moment van het oppervlak A t.o.v. de y -as bedraagt:

$$\text{de x-ordinaat van het zwaartepunt Z is: } x_z = \frac{S_y}{A}$$

Berekening van traagheidsmomenten

Het traagheidsmoment van het gearceerde strookje t.o.v. de y-as is:

$$x^2 y \, dx$$

het traagheidsmoment I_y van de gehele figuur is:

$$I_y = \int_{x_0}^{x_0+1} x^2 y \, dx$$

Het traagheidsmoment t.o.v. een as evenwijdig aan de y-as door het zwaartepunt Z volgt uit:

$$I_{yz} = I_y - x_z^2 A$$

Het zwaartepunt t.o.v. de x-as bepalen we als volgt:

het traagheidsmoment van het oppervlakte elementje $du \, dx$ t.o.v. de x-as bedraagt:

$$u^2 \, du \, dx$$

het traagheidsmoment van het strookje met hoogte y en breedte dx bedraagt:

$$dI_x = \int_0^y u^2 \, du \, dx = \frac{1}{3} y^3 \, dx$$

voor het gehele oppervlak geldt dan:

$$I_x = \frac{1}{3} \int_{x_0}^{x_0+1} y^3 \, dx$$

Het traagheidsmoment t.o.v. een as evenwijdig aan de x-as door het zwaartepunt Z volgt uit:

$$I_{xz} = I_x - y_z^2 A$$

De berekening van inhouden en statische momenten van inhouden

Deze berekeningen zijn terug te voeren tot de berekening van oppervlakken en de statische momenten daarvan.

Als voorbeeld behandelen we de berekening van de waterverplaatsing van een schip tot een diepgang T en de ordinaten van het drukingspunt B.

In figuur 3.2A is een scheepsvorm gegeven met het gebruikelijke assenstelsel. De oorsprong ligt in het basisvlak op het midden van L_{ORD} . De positieve x-as wijst naar het voorschip en valt samen met de snijlijn van het basisvlak en het symmetrievlak van het schip. De z-as is verticaal naar boven gericht.

De vorm van het onderwaterschip of de "carène" is gegeven gedacht in de vorm:

$$y = f(x, z) \quad \text{waarbij:} \quad \begin{array}{l} -L/2 \leq x \leq L/2 \\ -B/2 \leq y \leq B/2 \\ 0 \leq z \leq T \end{array}$$

De waterverplaatsing tot het vlak $z = T$ bedraagt:

$$\nabla = 2 \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^T y \, dx \, dz \quad (\text{factor 2 vanwege de symmetrie})$$

$$\text{Nu is de uitdrukking: } 2 \int_0^T y \, dz = A_x$$

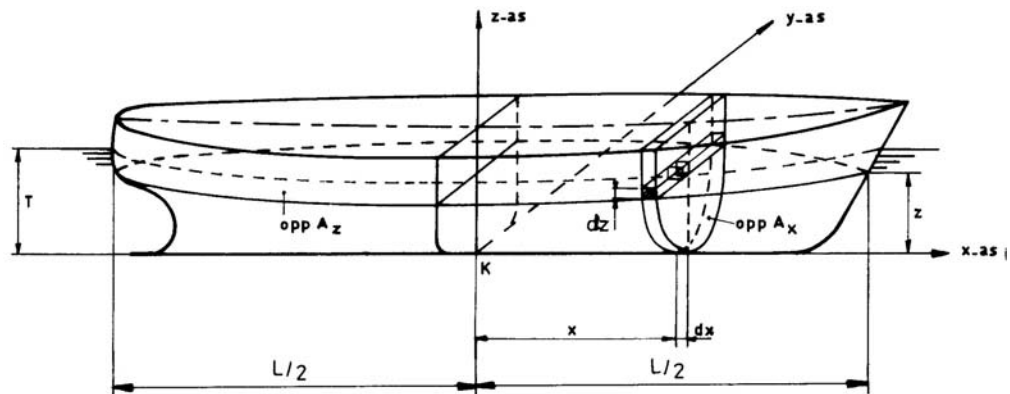
$$A_x \text{ is het oppervlak van ordinaat } x, \text{ zodat: } \nabla = \int_{-L/2}^{L/2} A_x \, dx$$

De kromme $A_x = f(x)$ heet de **kromme van spantoppervlakken**, zodat de waterverplaatsing tot een diepgang T overeenkomt met het oppervlak van de kromme van spantoppervlakken (KVS), waarbij de spantoppervlakken bepaald zijn tot die diepgang T . De inhoud van de getekende schijf in figuur 3.2 A wordt voorgesteld door het gearceerde oppervlakje $A_x dx$ in figuur 3.2 B.

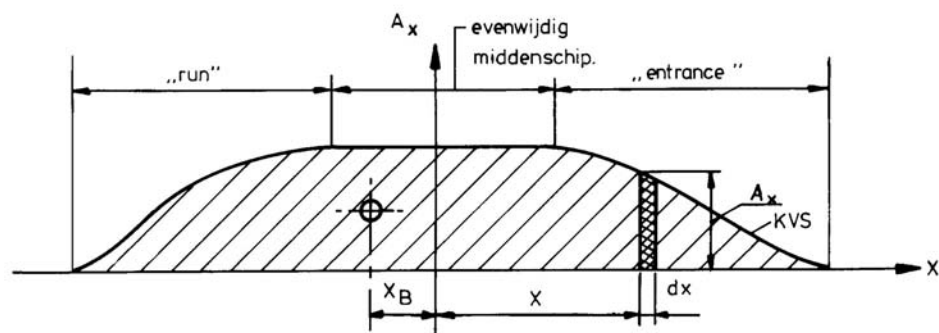
De integratievolgorde kan omgekeerd worden door eerst naar x te integreren:

$$2 \int_{-L/2}^{L/2} y dx = A_z$$

A_z is het oppervlak van de waterlijn op een hoogte z , zodat: $\nabla = \int_0^T A_z dz$

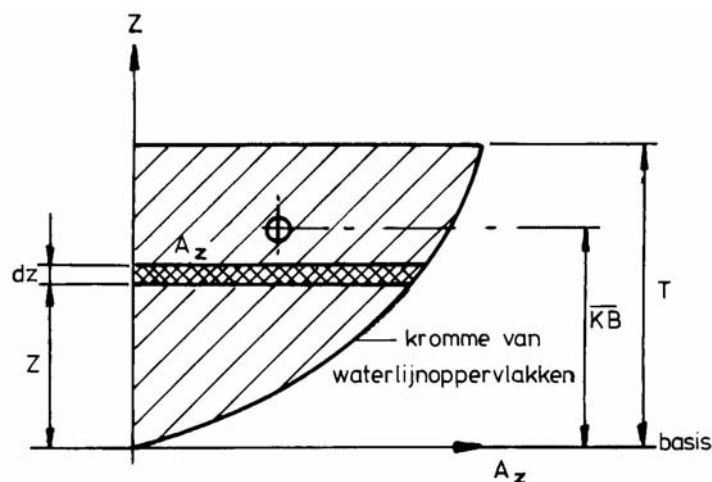


figuur 3.2A



figuur 3.2B

De kromme $A_z = f(z)$ heet de **kromme van waterlijnoppervlakken**, zodat de waterverplaatsing tot een willekeurige gelijklastige diepgang T overeenkomt met het oppervlak van de kromme van waterlijnoppervlakken tot aan die diepgang T , zie figuur 3.3.



figuur 3.3

De hoogteligging van het drukingspunt B vinden we door het moment van de waterverplaatsing t.o.v. de basis te delen door de waterverplaatsing:

$$KB = \frac{\text{mom.} \nabla \text{ t.o.v. basis}}{\nabla} = \frac{2 \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^T yz \, dx \, dz}{\nabla} = \frac{\int_0^T A_z z \, dz}{\nabla}$$

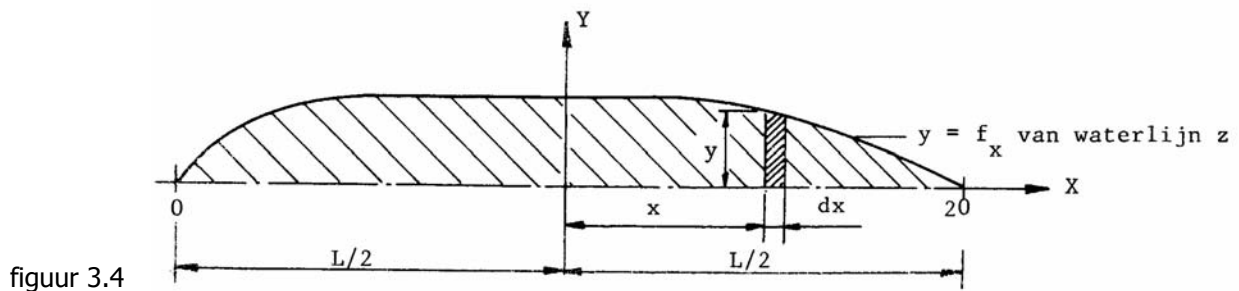
Hieruit volgt dat de ligging van het drukingspunt in hoogte bij de diepgang T overeenkomt met het zwaartepunt van de figuur gevormd door de kromme van waterlijnoppervlakken, de z-as en de lijn $z = T$.

De ligging van het drukingspunt t.o.v. het vlak $x = 0$ (ord.10) of x_B wordt gevonden uit:

$$x_B = \frac{\text{mom.} \nabla \text{ t.o.v. } x = 0}{\nabla} = \frac{2 \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^T x y \, dx \, dz}{\nabla}$$

$$2 \int_{-L/2}^{L/2} x y \, dx = S_{yz} \quad \text{dus} \quad x_B = \frac{\int_0^T S_{yz} \, dz}{\nabla}$$

S_{yz} is het statisch moment van het oppervlak van de waterlijn z t.o.v. het yz -vlak of $x = 0$, zie figuur 3.4.



De ligging van het drukingspunt in hoogte en lengte kan ook berekend worden uitgaande van de ordinaat doorsneden.

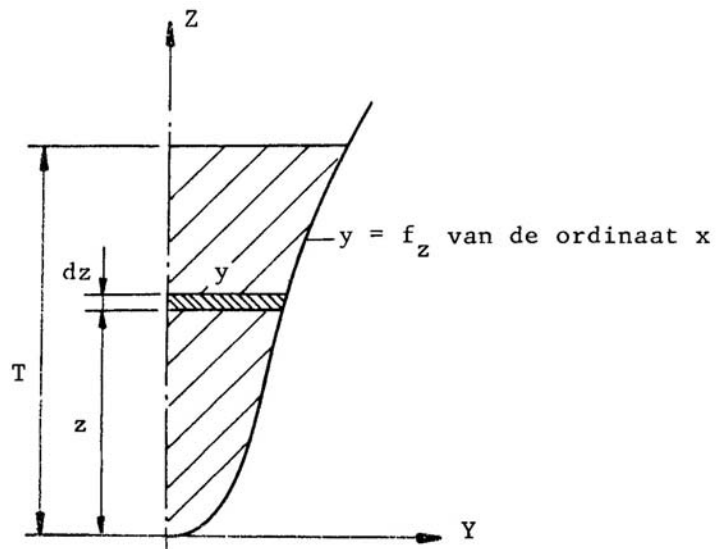
De afstand van het drukingspunt tot het basisvlak volgt dan uit:

$$KB = \frac{2 \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^T yz \, dx \, dz}{\nabla} = \frac{\int_{-L/2}^{L/2} S_{yx} \, dx}{\nabla}$$

waarin S_{yx} het statisch moment is van het spantoppervlak van ordinaat x bij diepgang T t.o.v. het xy -vlak, het zogenaamde **spantmoment**, zie figuur 3.5.

$$S_{yx} = 2 \int_0^T y z \, dz$$

figuur 3.5



De afstand van het drukingspunt tot het vlak $x = 0$ volgt dan uit:

$$x_B = \frac{2 \int_{-L/2}^{L/2} \int_0^T xy \, dx \, dz}{\nabla} = \frac{\int_{-L/2}^{L/2} A_x x \, dx}{\nabla}$$

waarin A_x het oppervlak van de ordinaatdoorsnede voorstelt.
 B in lengte komt dus overeen met het zwaartepunt in lengte van de KVS.

3.2 Numerieke integratie

Indien $y = f(x)$ niet als formule is gegeven kan een analytische functie gekozen worden die de kromme zo goed mogelijk benadert of moeten de diverse integralen met numerieke methoden benadert worden. Het komt er daarbij steeds op neer de oppervlakte van een figuur te bepalen, immers een integraal als:

$$I_x = \frac{1}{3} \int_{x_0}^{x_0+1} y^3 \, dx \quad \text{kan opgevat worden als:}$$

$$I_x = \frac{1}{3} \int_{x_0}^{x_0+1} t \, dx$$

waarin $t = y^3$; I_x is dan $\frac{1}{3}$ van het oppervlak tussen $t = f(x)$, $x = x_0$, $x = x_0+1$ en de x -as (figuur 3.1).

Er zijn van oudsher een aantal methoden bekend die gebruikt worden om de grootte van deze integralen te berekenen.

Trapezium regel

Het oppervlak van elk der verdeelstukken wordt benadert door een trapezium, zie figuur 3.6 A.

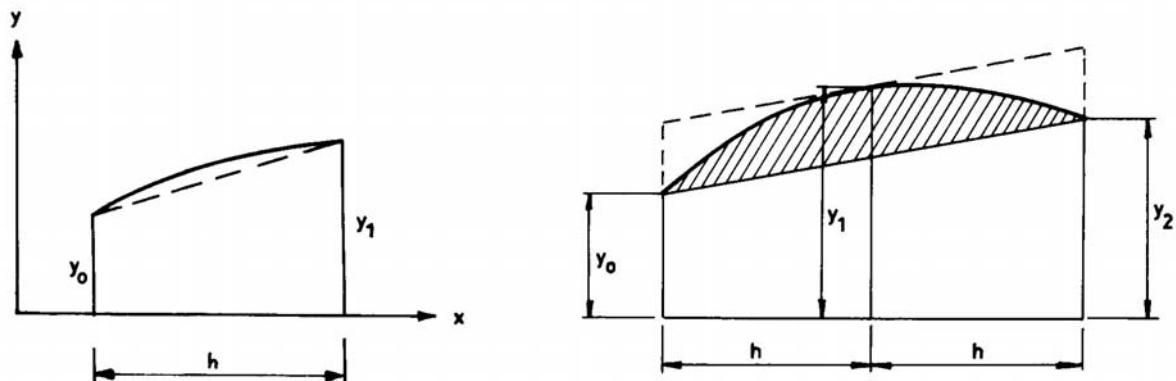
$$\text{oppervlak trapezium} = \frac{1}{2} h (y_0 + y_1)$$

Voor een groot aantal verdeelstukken, waarvan het aantal even of oneven mag zijn, geldt de algemene formule:

$$A = \frac{L}{n} \left(\frac{1}{2} y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + \dots + y_{n-1} + \frac{1}{2} y_n \right)$$

L = totale lengte; n = aantal verdeelstukken.

Voor een gegeven lengte neemt de nauwkeurigheid toe met het aantal onderverdelingen; het is een goede benadering voor niet al te sterk gekromde lijnen.



figuur 3.6 A

B

Eerste regel van Simpson (" 1750)

Deze regel wordt het meeste toegepast in de Scheepsbouwkunde.

Uitgegaan wordt van een tweedegraads kromme. Een meetkundige afleiding van deze regel luidt als volgt, zie figuur 3.6 B:

$$\text{oppervlak trapezium} = 2h \frac{y_0 + y_2}{2} = h(y_0 + y_2)$$

$$\text{oppervlak gearceerde deel} = \frac{2}{3} 2h \left(y_1 - \frac{y_0 + y_2}{2} \right) = \frac{4}{3} h y_1 - \frac{2}{3} h y_0 - \frac{2}{3} h y_2$$

$$\text{totaal oppervlak} = h(y_0 + y_2) + \frac{4}{3} h y_1 - \frac{2}{3} h y_0 - \frac{2}{3} h y_2 = \frac{1}{3} h(y_0 + 4y_1 + y_2)$$

Voor een groot aantal verdeelstukken waarvan het aantal **even** moet zijn, geldt:

$$A = \frac{1}{3} h (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + \dots + 4y_{n-1} + y_n)$$

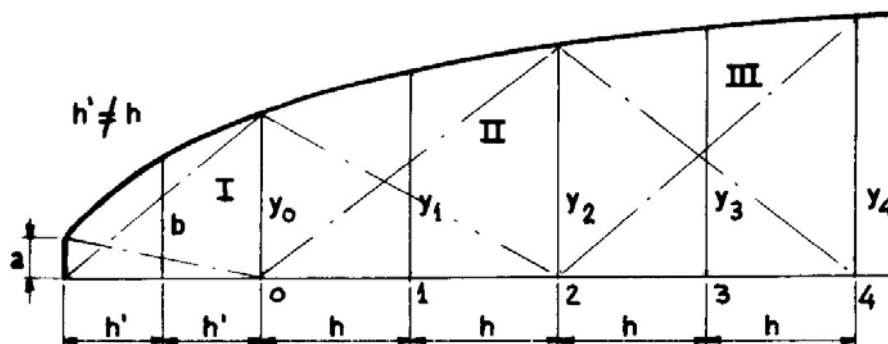
De factoren 1, 4, 2, 4, 2, 4, 4, 1 worden wel de **Simpson factoren** genoemd.

De nauwkeurigheid van de numerieke integratie

De nauwkeurigheid wordt vergroot door een groter aantal ordinaten toe te passen. Het blijkt dat voor vrijwel alle hydrostatische berekeningen in de Scheeps-bouwkunde een voldoende resultaat wordt verkregen met behulp van de eerste regel van Simpson met 21 ordinaten. Vandaar dat in het lijnenplan 21 ordinaten worden aangegeven. Als in vóór- of achterschip de waterlijnen sterk gekromd zijn kunnen tussenordinaten nodig zijn.

Eindcorrectie

De ordinaat indeling van het lijnenplan is in het algemeen gebaseerd op L_{ord} of L_{pp} . De lengte van een waterlijn is in de regel niet gelijk aan een geheel aantal spantafstanden. In die gevallen moet bij de bepaling van het oppervlak gebruik gemaakt worden van een eindcorrectie. Dit wordt toegelicht aan de hand van figuur 3.7. Hierbij is verondersteld dat een waterlijn niet op ord. 0 eindigt, maar een afstand $2h'$ daarachter.



figuur 3.7

De Simpson factoren voor de berekening van oppervlak I worden als het ware gereduceerd in verband met een afwijkende ordinaatafstand. Op deze wijze kunnen deze eindcorrecties in de rekentabellen worden opgenomen zonder verstoring van de systematiek van de berekening.

Het oppervlak, hier eenvoudigheidshalve tot ordinaat 4 berekend, is als volgt te bepalen:

$$\text{oppervlak I} = \frac{1}{3} (h' a + 4 h' b + h' y_0) = \frac{1}{3} h \left(\frac{h'}{h} a + 4 \frac{h'}{h} b + \frac{h'}{h} y_0 \right)$$

$$\text{oppervlak II} = \frac{1}{3} h (y_0 + 4 y_1 + y_2)$$

$$\text{oppervlak III} = \frac{1}{3} h (y_2 + 4 y_3 + y_4)$$

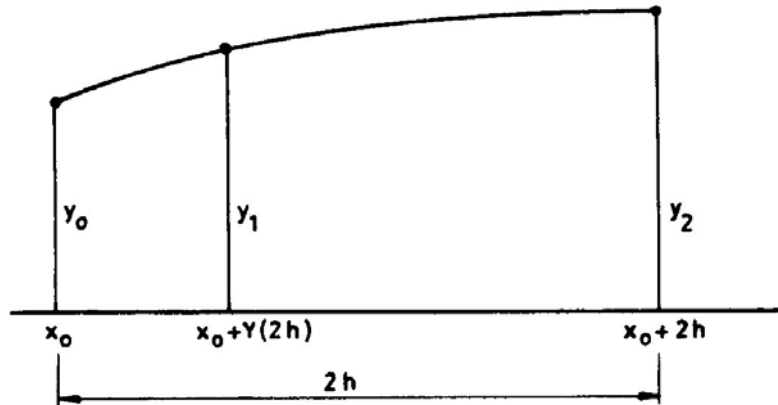
$$\text{total oppervlak} = \frac{1}{3} h \left\{ \frac{h'}{h} a + 4 \frac{h'}{h} b + \left(\frac{h'}{h} + 1 \right) y_0 + 4 y_1 + 2 y_2 + 4 y_3 + y_4 \right\}$$

Tussenordinaten aan de einden (bijv. ord. 0.5, 1.5 en 18.5, 19.5) kunnen ook op overeenkomstige wijze in de berekening opgenomen worden, de correctie voor de ordinaatafstand bedraagt dan

$$0.5 \times \frac{h'}{h} = 0.5$$

Ordinaten op ongelijke afstanden

De algemene integratieregels van Simpson voor ordinaten die niet op gelijke afstanden van elkaar liggen kan als volgt worden afgeleid, zie figuur 3.8:



figuur 3.8

$$A = \int_{x_0}^{x_0+2h} y \, dx = h (c_0 y_0 + c_1 y_1 + c_2 y_2)$$

waarbij de afstand van y_0 tot y_1 gelijk is aan $\gamma(2h)$. Het punt $x_0 + \gamma(2h)$ kan zowel tussen de punten x_0 en $x_0 + 2h$ liggen als buiten dit interval. Door de uitdrukking A zowel in het linker als rechter lid te ontwikkelen in een reeks van Taylor kunnen de coëfficiënten c_i worden gevonden. De integratieregels wordt:

$$A = \frac{1}{3} h \left[\frac{3\gamma - 1}{\gamma} y_0 + \frac{1}{\gamma(1-\gamma)} y_1 + \frac{2-3\gamma}{1-\gamma} y_2 \right]$$

($\gamma = 1/2$ geeft weer de Simpson factoren 1, 4, 1.

Deze regel wordt veelal gebruikt bij hydrostatische berekeningen m.b.v. computerprogramma's. De grotere gecompliceerdheid is dan geen bezwaar, terwijl de vrijheid in het kiezen van de plaats van de ordinaten een voordeel kan zijn.

Praktische uitvoering numerieke integratie

Hoewel in vele gevallen berekeningen met de hand vervangen zijn door berekeningen m.b.v. computerprogramma's, kan het wel eens noodzakelijk zijn berekeningen met de hand uit te voeren. Daarbij is het steeds wenselijk, wegens de grote aantallen cijfers die worden gehanteerd, de berekeningen te maken m.b.v. overzichtelijke invultabellen. In figuur 3.9 is een rekentabel gegeven voor het berekenen van de volgende grootheden van de waterlijn:

oppervlak, zwaartepunt in lengte, dwars- en langstraagheidsmoment.

Vervolgens zullen er voorbeelden gegeven worden over de berekeningen die men met een kromme van spantoppervlakken en met een kromme van waterlijnoppervlakken kan maken.

waterlijn nr.

ord.afstand = d eind ord.afstand = c

1 ord	2 y=½br.	3 s.f.	4 = 2*3	5 m.f.	6 = 4*5	7 = 4*5 ²	8 y ³	9 = 8*3
a		c/d		-(10+2c/d)				
b		4c/d		-(10+c/d)				
0		c/d+1		-10				
1		4		-9				
2		2		-8				
3		4		-7				
4		2		-6				
5		4		-5				
6		2		-4				
7		4		-3				
8		2		-2				
9		4		-1				
10		2		0	G₂=			
11		4		1				
12		2		2				
13		4		3				
14		2		4				
15		4		5				
16		2		6				
17		4		7				
18		2		8				
19		4		9				
20		1		10				
			G₁=		G₃=	G₄=		G₅=

$$A_w = 2 \times \frac{1}{3} \times d \times \sum_1 = \dots\dots\dots m^2$$

$$x_{a(\text{ord}10)} = d \times \frac{\sum_2 + \sum_3}{\sum_1} = \dots\dots\dots m$$

$$I_{y(\text{ord}10)} = 2 \times \frac{1}{3} \times d^3 \times \sum_4 = \dots\dots\dots m^4$$

$$I_L = I_y - x_a^2 \times A_w = \dots\dots\dots m^4$$

$$I_T = 2 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{3} \times d \times \sum_5 = \dots\dots\dots m^4$$

figuur 3.9

Voorbeeldsom kromme van spantoppervlakken (KVS)

L_{ord} : 85.00 m

L_{wl} : 87.20 m

Alle spantoppervlakken zijn bekend (zie onderstaande Simpsons tabel).

Als men uitgaat van 10 ordinaten volgt hieruit dat de ordinaatafstand 8.50 m is ($h = 85/10 = 8.50$ m). Men ziet dat de waterlijnlengte (L_{wl}) groter is dan de ordinaatlengte (L_{ord}). Dit betekent dat er achter ordinaat 0 nog waterverplaatsing gegenereerd wordt. Dit moet natuurlijk meegenomen worden in de berekening van de waterverplaatsing en het drukingspunt. Dit doet men met behulp van een eindcorrectie.

Nu zullen de waterverplaatsing en het drukingspunt berekend worden met behulp van een Simpsons tabel:

Opmerking: h' is bepaald met behulp van het verschil tussen de L_{wl} en L_{ord} .

$h' = (L_{wl} - L_{ord})/2 = 1.10$ m (delen door 2 omdat men nog twee ordinaten achter ordinaat 0 plaatst) en

dus $\frac{h'}{h} = 0.129$

KVS

ord.nr.	A_x	sf.	$A_x * sf$	mf.	$A_x * sf * mf$
[-]	[m^2]	[-]	[m^2]	[-]	[m^2]
a	1.3	0.129	0.17	-5.26	-0.9
b	2.5	0.518	1.30	-5.13	-6.7
0	4.1	1.129	4.68	-5.00	-23.4
2	39.4	4	157.40	-4.00	-629.6
4	72.6	2	145.14	-3.00	-435.4
6	83.9	4	335.40	-2.00	-670.8
8	85.4	2	170.87	-1.00	-170.9
10	85.4	4	341.74	0.00	0.0
12	85.4	2	170.87	1.00	170.9
14	85.4	4	341.74	2.00	683.5
16	78.5	2	157.00	3.00	471.0
18	46.5	4	186.00	4.00	744.0
20	0.0	1	0.00	5.00	0.0
		$G_1 =$	2012.30	$G_2 =$	131.7

waterverplaatsing: $1/3 * h * G_1 = 5701.5 \text{ m}^3$

drukingspunt x_B : $h * G_2 / G_1 = 0.56 \text{ m}$

Voorbeeldsommen waterlijn en kromme van waterlijnenoppervlakken

Hetzelfde schip als bij het vorige voorbeeld zal gebruikt worden.

Gegevens:

L_{ord} : 85.00 m

L_{wl} : 87.20 m

Diepgang T: 6.00 m

KG: 5.40 m

Om te beginnen moet men op ieder ordinaat de breedte van het schip weten bij een bepaalde waterlijn, bijv. de constructiewaterlijn (CWL). De breedte op elk ordinaat is gegeven. Ook voor een waterlijn geldt weer dat deze niet precies op een ordinaat hoeft te beginnen en te eindigen. Daarom moet ook hier weer gebruik gemaakt worden van een eindcorrectie.

Voor de CWL geldt ook hier dat $h' = 1.1$ m en dus $\frac{h'}{h} = 0.129$.

Men herhaalt deze berekening voor de andere waterlijnen (vlaklijn, 1/4-wl, 1/2-wl, 3/4-wl). Zodoende krijgt men voor iedere waterlijn het oppervlak A_w en waterlijnzwaartepunt x_A en indien gewenst het dwarstraagheidsmoment.

CWL							
ord	1/2 br. = y (m)	sf.	y * sf	mf.	y * sf * mf	y ³	y ³ * sf
[-]	[m]	[-]	[m]	[-]	[m]	[m ³]	[m ³]
a	2.39	0.129	0.31	-5.258	-1.6	13.65	1.8
b	2.94	0.516	1.52	-5.129	-7.8	25.41	13.1
0	3.47	1.129	3.92	-5	-19.7	41.78	47.2
2	6.11	4	24.44	-4	-97.8	228.10	912.4
4	7.16	2	14.32	-3	-43.0	367.06	734.1
6	7.20	4	28.80	-2	-57.6	373.25	1493.0
8	7.20	2	14.40	-1	-14.4	373.25	746.5
10	7.20	4	28.80	0	0.0	373.25	1493.0
12	7.20	2	14.40	1	14.4	373.25	746.5
14	7.20	4	28.80	2	57.6	373.25	1493.0
16	7.09	2	14.18	3	42.5	356.40	712.8
18	5.13	4	20.52	4	82.1	135.01	540.0
20	0.00	1	0.00	5	0.0	0.00	0.0
		G₁=	194.40	G₂=	-45.1	G₃=	8933.4

$$\begin{aligned}
 A_w &= \text{waterlijnoppervlak} = 2 * 1/3 * h * G_1 = 1101.6 \text{ m}^2 \\
 x_A &= \text{waterlijnzwaartepunt} = h * G_2/G_1 = -1.97 \text{ m} \\
 I_T &= \text{traagheidsmoment} = 2 * 1/3 * 1/3 * h * G_3 = 16874 \text{ m}^4
 \end{aligned}$$

Vervolgens worden alle waterlijnen in een Simpsons tabel gezet. Nu kan men via de waterlijnen de waterverplaatsing, het drukingspunt in lengte x_B , het drukingspunt in hoogte KB en de GM waarde bepalen.

Aw kromme

Waterlijn	Aw	sf	Aw x sf	Xa	Aw * sf * Xa	afst.basis	Aw * sf * afst.basis
[-]	[m ²]	[-]	[m ²]	[m]	[m ³]	[m]	[m ³]
Vlak	585.80	1	585.80	2.00	1171.60	0.0	0
1/4-WL	890.70	4	3562.80	1.71	6092.39	1.5	5344.20
1/2-WL	960.40	2	1920.80	0.89	1709.51	3.0	5762.40
3/4-WL	1025.40	4	4101.60	-0.23	-943.37	4.5	18457.20
CWL	1101.60	1	1101.60	-1.97	-2170.15	6.0	6609.60
		Σ1 =	11272.60	Σ2 =	5860.0	Σ3 =	36173.40

$$\begin{aligned}
 \text{Waterverplaatsing:} & \quad 1/3 (T/4) \Sigma 1 = 5636.30 \text{ m}^3 \\
 \text{Drukingspunt Xb:} & \quad \Sigma 2 / \Sigma 1 = 0.52 \text{ m} \\
 \text{KB =} & \quad \Sigma 3 / \Sigma 1 = 3.21 \text{ m} \\
 \text{BM =} & \quad I_T / \nabla = 2.96 \text{ m (waterverplaatsing via berekening} \\
 \text{KM =} & \quad \text{KB + BM = 6.17 m (van de KVS gebruiken)} \\
 \text{KG =} & \quad 5.40 \text{ m} \\
 \text{GM =} & \quad \text{KB + BM - KG = 0.77 m}
 \end{aligned}$$

Merk op dat de afstand tot de basis de afstand van de desbetreffende waterlijn tot het xy-vlak is.

Er is te zien dat er bij de twee verschillende integratie methodes een verschillend antwoord uitkomt voor de waterverplaatsing en het drukingspunt in lengte.

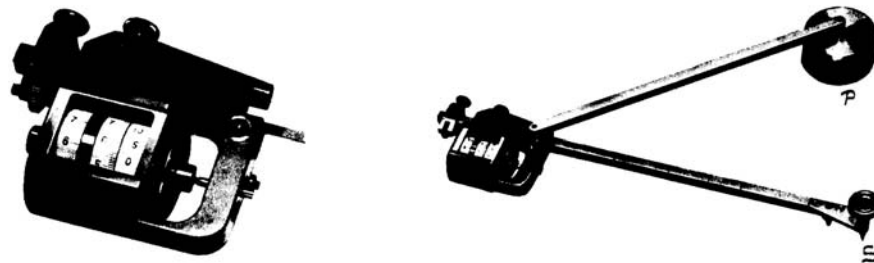
Het verschil van de waarden voor de waterverplaatsing is te verklaren doordat men bij het integreren van de kromme van waterlijnoppervlakken gebruikt maakt van 'maar' vijf steunpunten, namelijk de vijf waterlijnoppervlakken. Dit is weinig voor deze vooral onderin sterk gekromde lijn, zie figuur 3.11; de kromme is minstens derdegraads. Hierdoor vindt men met de eerste regel van Simpson, wat in feite een benadering is voor een tweedegraads kromme, een te laag onderwatervolume. Het resultaat kan verbeterd worden door onderin extra waterlijnen toe te voegen, zodat in het sterk gekromde deel van de A_w kromme meer steunpunten verkregen worden.

Bij het integreren van de kromme van spantoppervlakken maakt men gebruik van meer ordinaten, in dit geval 13, maar meestal 21. Bovendien is deze lijn niet zo sterk gekromd als de kromme van waterlijnoppervlakken, zie figuur 3.2B, zodat deze integratie een nauwkeuriger resultaat oplevert.

Samenvattend: met behulp van de kromme van spantoppervlakken kan men het onderwatervolume en het drukingspunt in lengte x_B berekenen. Met behulp van kromme van waterlijnoppervlakken kan men het onderwatervolume (mits voldoende waterlijnen gebruikt worden), het drukingspunt in hoogte KB en drukingspunt in lengte x_B berekenen.

De GM waarde kan berekend worden als de hoogteligging van het gewichtszwaartepunt bekend is en door de gegevens en resultaten van de diverse berekeningen te gebruiken.

De hydrostatische berekeningen vergen veel rekenwerk; in sommige gevallen kan gebruik gemaakt worden van instrumenten, o.a. de **poolplanimeter**, zie figuur 3.10.



figuur 3.10

De planimeter wordt met één punt, de pool P, gefixeerd. Wanneer met een stift S een willekeurige figuur wordt rondgegaan, kan op een telwerk het oppervlak van de figuur worden afgelezen.

Aangezien het bepalen van een oppervlak in wezen een vorm van integreren is, kan met de planimeter elke integratie worden uitgevoerd. De te integreren figuur moet wel getekend worden.

De planimeter wordt meestal gebruikt wanneer het gaat om het bepalen van spantoppervlakken.

3.3 Carènediagram

Het carènediagram is een verzameling van een aantal grafische voorstellingen van uitkomsten van hydrostatische berekeningen voor het schip **in rechte stand**, zie bijlage 2A en 2B.

De krommen worden gegeven als functie van de diepgang. In het diagram worden de vóór- en achterstevencontour aangegeven, de ordinaten en waterlijnen en de nodige hydrostatische krommen.

Om nauwkeurig aflezen in het diagram mogelijk te maken wordt de diepgangsschaal afwijkend van de lengteschaal genomen; de lengte van het schip wordt verkleind t.o.v. de hoogte.

De krommen voor het drukingspunt in hoogte en lengte en het waterlijnzwaartepunt worden op dezelfde schaal als de diepgang uitgezet.

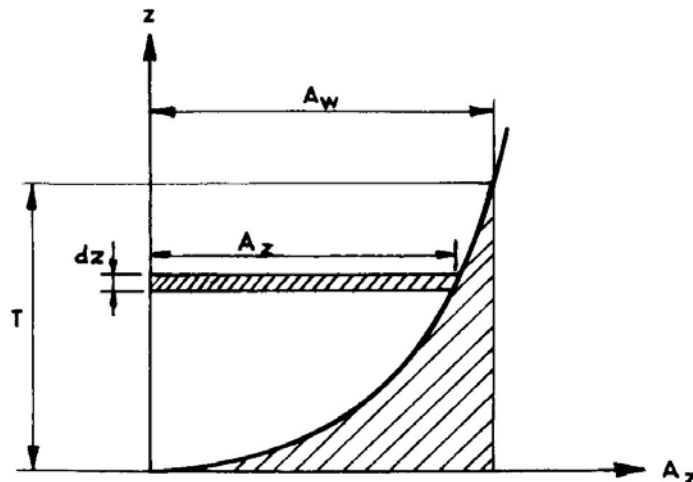
Het carènediagram is de grondslag voor verdere berekeningen zoals lek-, stabiliteits-, tewaterlatingsberekeningen, enz.

Hierna worden de hydrostatische krommen besproken die een plaats vinden in het diagram.

De kromme van waterlijnoppervlakken

$$A_z = 2 \int_0^L y \, dx$$

$$\text{oppervlak} = \nabla = \int_0^T A_z \, dz$$



figuur 3.11

De oppervlakte coëfficiënt van de figuur omsloten door A_z , de lastlijn en de verticale as is een maat voor de verticale prismatische coëfficiënt, immers:

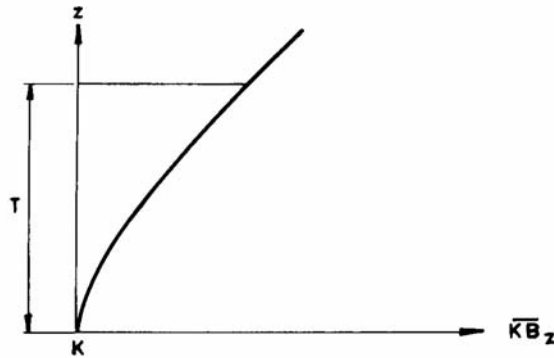
$$\frac{\int_0^T A_z \, dz}{A_w T} = \frac{\nabla}{L_{\text{ord}} B c_{\text{wp}} T} = c_{\text{vp}}$$

Het zwaartepunt van de figuur geeft de hoogteligging van het drukingspunt boven de basis: KB (zie blz. 3.4).

In het carènediagram wordt vaak de kromme uitgezet, die het gewicht nodig voor één cm diepgangsverandering ($\hat{I}$) aangeeft, deze kromme loopt parallel aan de A_z -kromme.

De KB_z kromme

De hoogteligging van het drukingspunt boven de basis als functie van de diepgang.



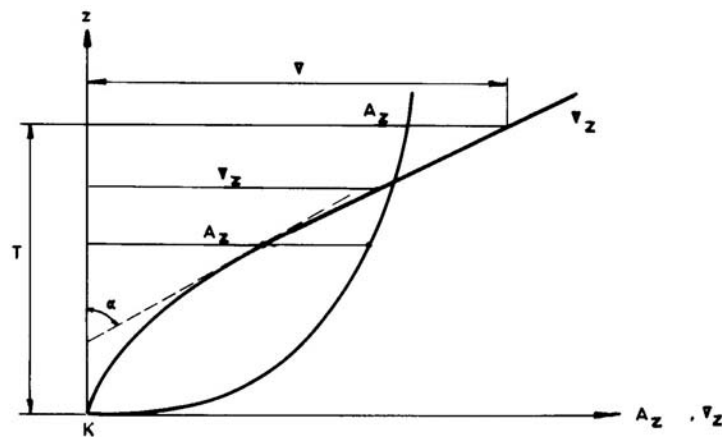
figuur 3.12

De kromme van waterverplaatsing L_z

Uitgezet wordt de inhoud van de carène als functie van de diepgang:

$$\nabla_z = \int_0^z A_z dz$$

Blijkbaar is L_z de integraalkromme van A_z .

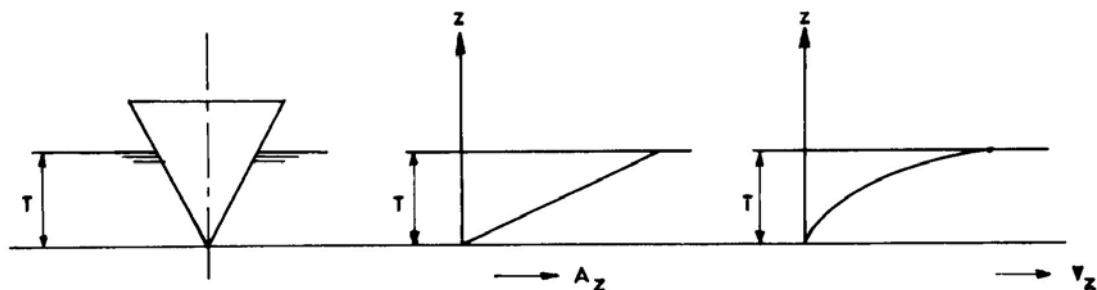


figuur 3.13

De raaklijn aan L_z maakt een hoek α met de verticaal. De tangens van deze hoek is een maat voor het waterlijnopervlak:

$$\tan \alpha = \frac{d \nabla_z}{dz} = \frac{d}{dz} \int_0^z A_z dz = A_z$$

Voor een rechthoekige bak is de helling van L_z constant, ook A_z is constant; voor een balk met een driehoekige doorsnede is L_z een parabool.



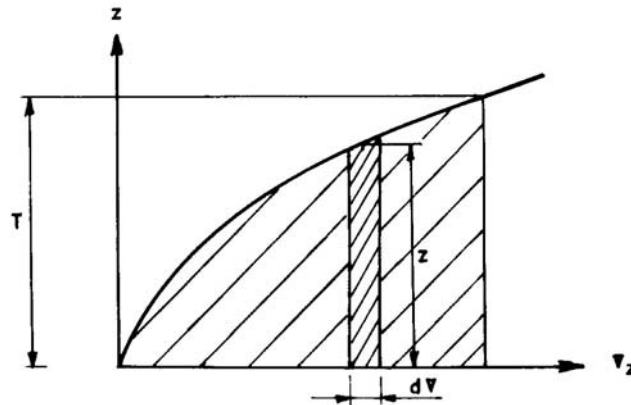
figuur 3.14

Het oppervlak ingesloten door L_z en de rechten L_T en $T = 0$ is een maat voor het statisch moment van de waterverplaatsing t.o.v. het basisvlak, zie figuur 3.15.

Het oppervlak van het gearceerde deel is:
$$A_{\nabla} = \int_0^T z \, d\nabla = \int_0^T z A_z \, dz$$

Dit is het statisch moment van L t.o.v. het basisvlak, daarom is: $KB = \frac{A_{\nabla}}{\nabla}$

In principe kunnen met de kromme van waterverplaatsing de volgende grootheden worden bepaald: waterverplaatsing, waterlijncoëfficiënt, verticale prismatische coëfficiënt en de hoogteligging van het drukkingpunt.



figuur 3.15

De kromme van waterverplaatsing met huid en aanhangsels

$L_z = c L$ $c =$ coëfficiënt voor huid en aanhangsels
 $c = 1.004 \text{ à } 1.010$ (zie figuur 2.6)

De kromme van déplacement

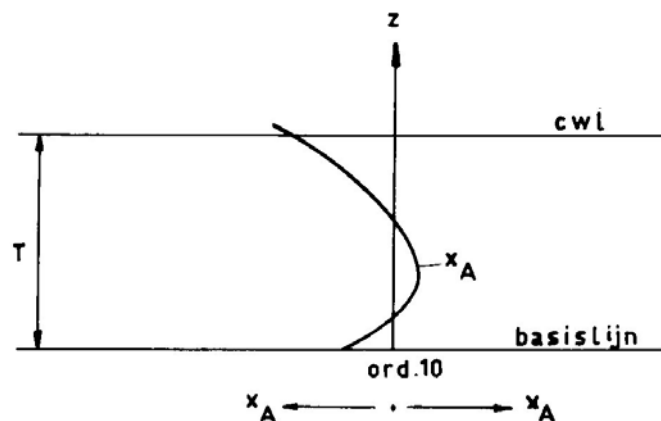
ρ_1 in zoet water, ρ_2 in zeewater

$\rho_1 \text{ of } 2 = D \rho L$ $D =$ soortelijk gewicht van de vloeistof
 dit is voor Noordzeewater 1.025 t/m^3 (zie blz. 2.6)

De kromme van waterlijnswaartepunten: x_A

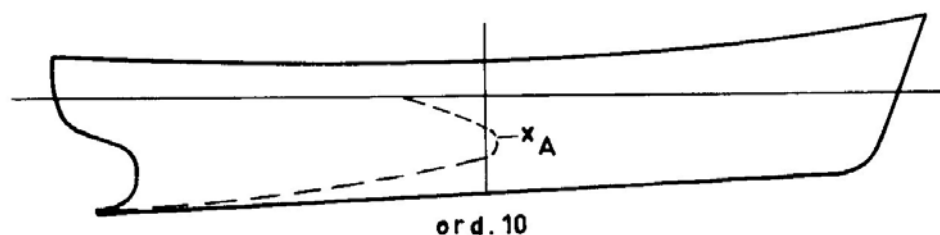
Voor een waterlijn z volgt x_A uit:

$$x_a = \frac{2 \int_0^L x y \, dx}{A_z}$$



figuur 3.16

Meestal wordt x_A gerekend tot ord.10. Bij een gelijklastig schip met vlaktilling moet voor $z = 0$ voor x_A het midden van de kiellijn gekozen worden. Bij een schip met ontwerp stuurlast gaat de x_A -kromme door het laagste punt van de carène.



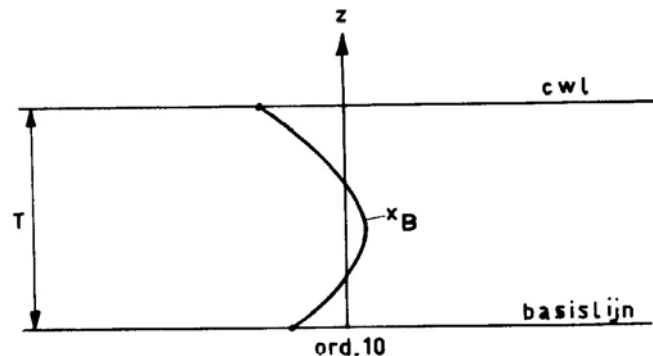
figuur 3.17

De kromme van drukingspunten in lengte: x_B

Uit het voorgaande is gebleken dat de plaats van B in lengte op twee manieren te bepalen is (zie blz. 3.4 en 3.5), namelijk:

$$x_B (\text{ord } 10) = \frac{\int_0^T S_{yz} dz}{\nabla} \quad \text{uitgaande van de waterlijnen}$$

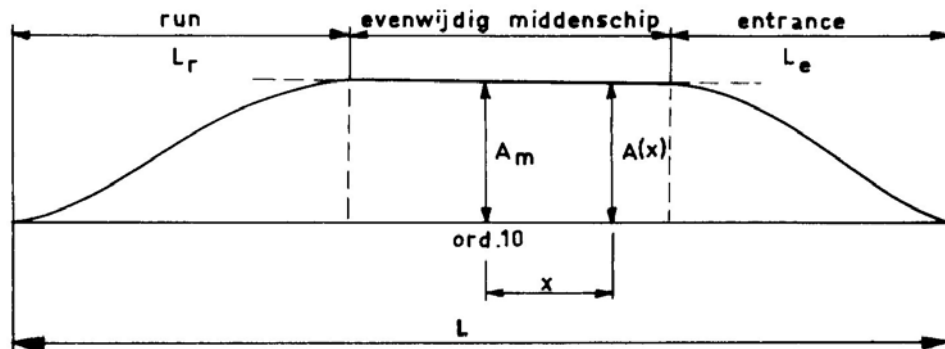
$$x_B (\text{ord } 10) = \frac{\int_0^L A_x x dx}{\nabla} \quad \text{uitgaande van de spantoppervlakken}$$



figuur 3.18

De kromme van spantoppervlakken

Dit is de A_x -kromme op basis van x .



figuur 3.19

Het oppervlak van de figuur omsloten door deze kromme en de basis is een maat voor de waterverplaatsing.

$$\nabla = \int_0^L A_x dx$$

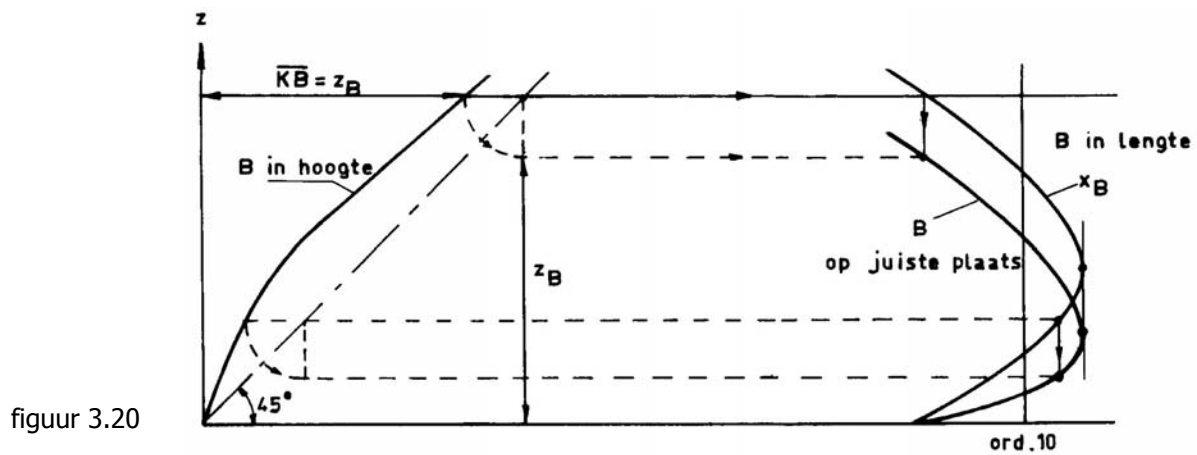
De oppervlakte coëfficiënt van de figuur is de prismatische coëfficiënt, immers:

$$\frac{\nabla}{A_m L_{\text{ord}}} = c_p$$

De oppervlakte coëfficiënt van het deel vóór ord.10 komt overeen met de prismatische coëfficiënt van het voorschip c_{pf} en van het deel achter ord.10 met de prismatische coëfficiënt van het achterschip c_{pa} .

De kromme van B op de juiste plaats

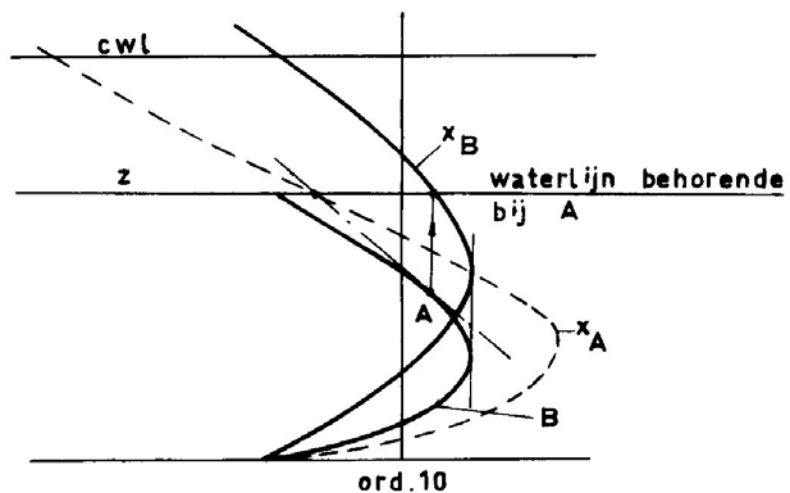
De coördinaten van B in lengte en hoogte, resp. x_B en KB , definiëren de kromme van B op de juiste plaats. De constructie volgt uit de volgende figuur.



figuur 3.20

Er zijn nu drie krommen, namelijk x_B , KB en x_A , die op de diepgangsschaal uitgezet zijn en die een onderlinge controle op de juistheid van de berekeningen mogelijk maken.

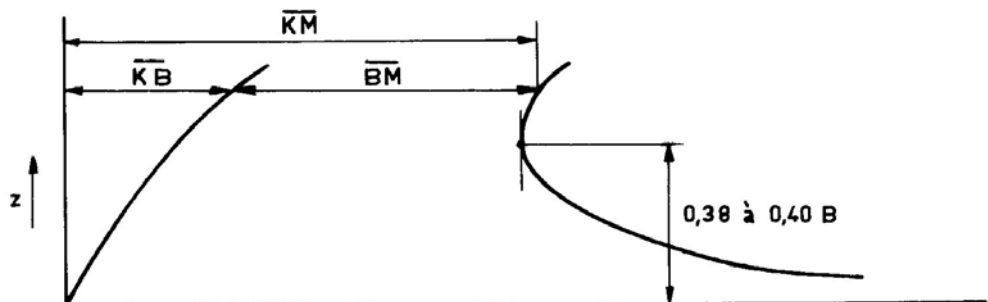
- De krommen x_B en B hebben een gemeenschappelijke verticale raaklijn indien een maximum of minimum in horizontale richting in x_B aanwezig is.
 - De raaklijn aan een willekeurig punt van de B -kromme bevat het zwaartepunt van de bijbehorende waterlijn, zie figuur 3.21.
- Indien de krommen B op de juiste plaats en x_B een gemeenschappelijke verticale raaklijn hebben, dan gaat deze raaklijn door het snijpunt van de x_A -kromme en de x_B -kromme.



figuur 3.21

De kromme van dwarsmetacenterhoogten

Later in Hst. 4 wordt de grootte van de metacentrische straal bepaald, namelijk $BM = I_t/L$ en daaruit de plaats van het aanvangsmetacenter. I_t is het dwarsstraagheidsmoment van de waterlijn. Gewoonlijk wordt in het carènediagram uitgezet:



figuur 3.22

De kromme KM heeft in vele gevallen een minimum bij een diepgang $T = 0.38$ à $0.40 B$. Vaak wordt de kromme van het dwarsstraagheidsmoment uitgezet.

De kromme van langsmetacenterhoogten

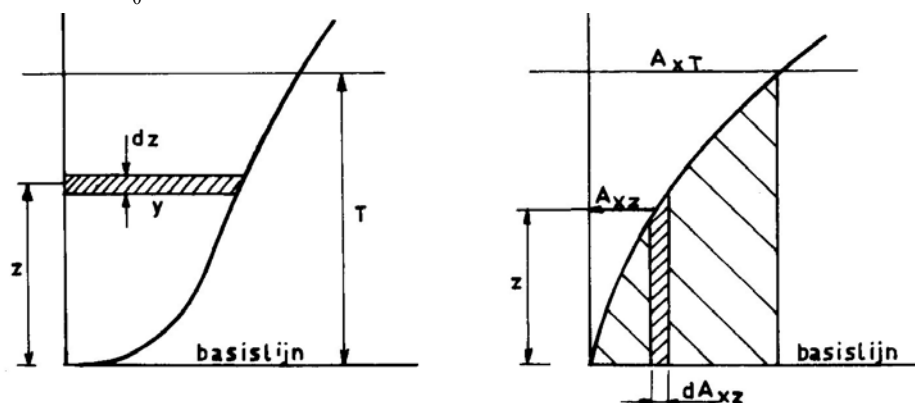
Het langsmetacenter is bepaald door $BM_L = I_L/L$ (zie Hst. 4), waarin I_L het langstraagheidsmoment van de waterlijn voorstelt t.o.v. een dwarsscheepse as door het waterlijnzwaartepunt. BM_L is van de orde van grootte van de scheepslengte en daarom is het niet mogelijk om dezelfde schaal aan te houden als voor de KB-kromme.

Vaak worden nog het dwars- en langstraagheidsmoment uitgezet evenals het moment dat nodig is voor één cm totale trimverandering, zie Hst 4.

Bonjeankrommen

Dit zijn de integraalkrommen van de spanten; als het spant gegeven is door $y = f(z)$, dan is het oppervlak tot aan de waterlijn z :

$$A_{xz} = 2 \int_0^z f_z dz$$



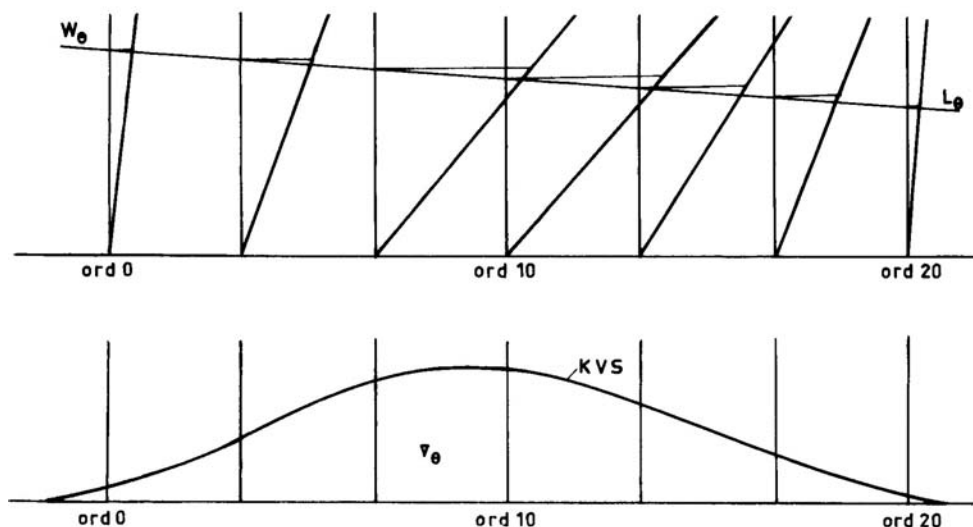
figuur 3.23

Het oppervlak van de figuur gevormd door de Bonjeankromme, de basis en de lijn A_{xT} is een maat voor het statisch moment van het spant t.o.v. de basis, immers het oppervlak is:

$$\int_0^T z dA_{xz} = 2 \int_0^T yz dz = S_{yx}$$

Uit de linkerfiguur blijkt dat dit het statisch moment is van A_{xT} t.o.v. de basis.

De Bonjeankrommen worden gebruikt om de waterverplaatsing behorende bij een willekeurige waterlijn te berekenen. Zij worden daartoe op de bijbehorende ordinaat uitgezet.



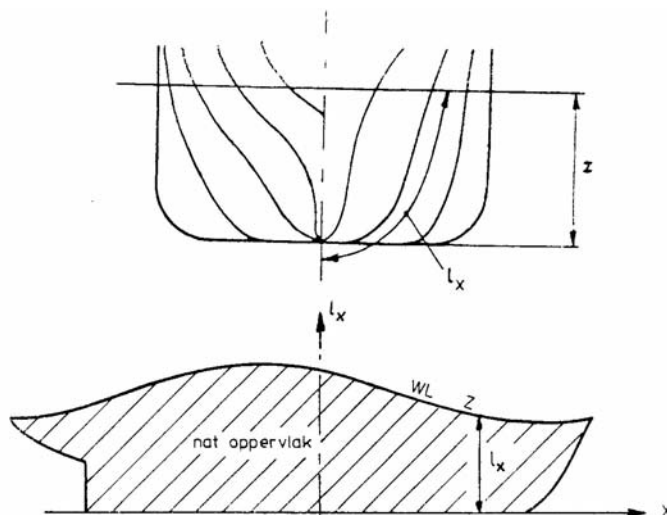
figuur 3.24

Berekening "nat oppervlak"

Het zogenaamde nat oppervlak is van belang voor het berekenen van de wrijvingsweerstand van het schip; deze weerstandscomponent is namelijk recht evenredig met het nat oppervlak.

Het nat oppervlak kan worden bepaald door per ordinaat de ontwikkelde lengte l_x te bepalen, uit te zetten over de lengte van het schip en daarna te integreren.

$$S_z = 2 \int_0^L 1_x dx$$



figuur 3.25

Er wordt geen rekening gehouden met de kromming van het schip in lengterichting. De fout in nat oppervlak die hierdoor ontstaat is voor de bepaling van de wrijvingsweerstand niet van belang.

3.4 * Computerprogrammatuur

Een aantal van de krommen die in het carènediagram voorkomen kunnen door bepaalde computerprogramma's berekend worden. Op de volgende pagina's zijn uitdraaien van een computerprogramma gegeven van twee schepen, namelijk een coaster (hetzelfde schip als in de voorbeelden op bladzijde 3.9 t/m 3.11 gebruikt is) en van een zeilschip.

Voor het verkrijgen van deze carènetabellen moet men allereerst de scheepsvorm in het programma gedefinieerd hebben, zodat het programma berekeningen behorende bij het schip kan maken. Vervolgens hoeft men alleen maar het diepgangsbereik in te voeren met daarbij een bepaalde stapgrootte. In de uitdraaien worden o.a. de krommen van deplacement gegeven bij zoet en zout water, de kromme van waterlijnswaartepunten, van drukkingspunten in lengte en van dwarsmetacenterhoogten (KM-dwars).

CARENE TABELLEN

Trim = 0.000 m

Diepgang uit basis m	Depl. in zoetw. ton	Depl. in zoutw. ton	Ton per cm inzink. ton/cm	Eenh, trim mom. Tm/cm	Drukki. punt ALL m	WL zw. punt ALL m	KM dwars m
5.700	5396.01	5530.91	11.29	63.55	43.292	40.881	6.168
5.750	5451.15	5587.43	11.32	64.07	43.268	40.817	6.172
5.800	5506.42	5644.08	11.35	64.58	43.243	40.755	6.177
5.850	5561.82	5700.87	11.37	65.06	43.218	40.710	6.182
5.900	5617.34	5757.78	11.40	65.52	43.193	40.669	6.187
5.950	5672.98	5814.81	11.42	65.95	43.168	40.630	6.192
6.000	5728.74	5871.95	11.44	66.35	43.143	40.595	6.198

Uit het displacement in zoutwater kan de carène inhoud van het schip bepaald worden. Ten eerste door te delen door $D (= 1.025 \text{ t/m}^3)$ en vervolgens te delen door de coëfficiënt voor huid en aanhangsels (een gemiddelde waarde hiervoor is 1.005).

Bij een diepgang van 6.00 m wordt de inhoud dus:

$$\nabla = \frac{5871.95}{1.025 \times 1.005} = 5700.2 \text{ m}^3$$

De ligging van het drukingspunt t.o.v. ord. 10:

$$x_B = 43.143 - 85/2 = 0.643 \text{ m.}$$

De ligging van het zwaartepunt van de waterlijn t.o.v. ord. 10:

$$x_A = 40.595 - 85/2 = -1.905 \text{ m.}$$

Carènetabel van een zeilschip

CARENE TABELLEN

27-06-2001 12;57

Trim = 0.000 m

Diepgang uit basis m	Displacement S.G. [t/m3] 1.0000 ton	Ton per cm inzink. ton/cm	Eenheids trim moment Tonm/cm	Druk. punt ALL m	WL zw. punt ALL m	KM dwars m
0.400	2.64	0.13	0.04	3.968	3.888	2.222
0.405	2.71	0.13	0.04	3.966	3.884	2.212
0.410	2.77	0.13	0.04	3.965	3.880	2.203
0.415	2.84	0.13	0.04	3.963	3.877	2.193
0.420	2.91	0.13	0.04	3.961	3.875	2.183
0.425	2.97	0.14	0.04	3.959	3.874	2.174
0.430	3.04	0.14	0.04	3.957	3.873	2.165
0.435	3.11	0.14	0.04	3.955	3.872	2.156
0.440	3.18	0.14	0.04	3.953	3.871	2.147
0.445	3.25	0.14	0.04	3.952	3.871	2.138
0.450	3.32	0.14	0.05	3.950	3.872	2.130
0.455	3.39	0.14	0.05	3.948	3.872	2.122
0.460	3.46	0.14	0.05	3.947	3.870	2.113
0.465	3.53	0.14	0.05	3.945	3.864	2.105
0.470	3.60	0.15	0.05	3.944	3.854	2.098
0.475	3.67	0.15	0.05	3.942	3.845	2.090
0.480	3.75	0.15	0.05	3.940	3.837	2.082
0.485	3.82	0.15	0.05	3.938	3.829	2.074
0.490	3.90	0.15	0.05	3.936	3.823	2.067
0.495	3.97	0.15	0.05	3.934	3.817	2.059
0.500	4.05	0.15	0.05	3.932	3.811	2.052
0.505	4.12	0.15	0.05	3.930	3.805	2.045
0.510	4.20	0.16	0.06	3.928	3.799	2.039
0.515	4.28	0.16	0.06	3.925	3.794	2.032
0.520	4.35	0.16	0.06	3.923	3.789	2.025
0.525	4.43	0.16	0.06	3.921	3.782	2.019
0.530	4.51	0.16	0.06	3.918	3.777	2.012
0.535	4.59	0.16	0.06	3.916	3.773	2.006
0.540	4.67	0.16	0.06	3.913	3.770	2.000
0.545	4.75	0.16	0.06	3.911	3.767	1.993
0.550	4.83	0.16	0.06	3.909	3.764	1.987
0.555	4.91	0.16	0.06	3.906	3.764	1.981
0.560	4.99	0.16	0.06	3.904	3.763	1.974
0.565	5.08	0.16	0.06	3.902	3.761	1.968
0.567	5.11	0.17	0.06	3.901	3.758	1.965
0.570	5.16	0.17	0.06	3.900	3.754	1.962
0.575	5.24	0.17	0.06	3.897	3.744	1.956
0.580	5.32	0.17	0.07	3.895	3.734	1.949
0.585	5.41	0.17	0.07	3.893	3.726	1.943
0.590	5.49	0.17	0.07	3.890	3.718	1.937
0.595	5.58	0.17	0.07	3.888	3.711	1.931
0.600	5.66	0.17	0.07	3.885	3.705	1.925
0.605	5.75	0.17	0.07	3.882	3.698	1.919

CARENE TABELLEN

17-06-2001 12:57

Trim = 0.000 m

Diepgang uit basis m	Displacement S.G. [t/m3] 1.0000 ton	Ton per cm inzink. ton/cm	Eenheids trim moment Tonm/cm	Druk. punt ALL m	WL zw. punt ALL m	KM dwars m
0.610	5.83	0.17	0.07	3.880	3.693	1.913
0.615	5.92	0.18	0.07	3.877	3.688	1.907
0.620	6.01	0.18	0.07	3.874	3.683	1.902
0.625	6.10	0.18	0.07	3.871	3.678	1.896
0.630	6.18	0.18	0.08	3.869	3.674	1.890
0.635	6.27	0.18	0.08	3.866	3.671	1.885
0.640	6.36	0.18	0.08	3.863	3.668	1.879
0.645	6.45	0.18	0.08	3.861	3.665	1.874
0.650	6.54	0.18	0.08	3.858	3.662	1.869
0.655	6.63	0.18	0.08	3.855	3.659	1.864
0.660	6.72	0.18	0.08	3.853	3.656	1.859
0.665	6.81	0.18	0.08	3.850	3.654	1.855
0.670	6.91	0.18	0.08	3.847	3.652	1.850
0.675	7.00	0.18	0.08	3.845	3.649	1.845
0.680	7.09	0.19	0.08	3.842	3.645	1.840
0.685	7.18	0.19	0.08	3.840	3.641	1.836
0.690	7.27	0.19	0.08	3.837	3.636	1.832
0.695	7.37	0.19	0.08	3.835	3.631	1.827
0.700	7.46	0.19	0.09	3.832	3.626	1.823
0.705	7.56	0.19	0.09	3.830	3.621	1.819
0.710	7.65	0.19	0.09	3.827	3.617	1.815
0.715	7.74	0.19	0.09	3.825	3.613	1.811
0.720	7.84	0.19	0.09	3.822	3.610	1.807
0.725	7.94	0.19	0.09	3.820	3.607	1.803
0.730	8.03	0.19	0.09	3.817	3.604	1.799
0.735	8.13	0.19	0.09	3.815	3.601	1.795
0.740	8.22	0.19	0.09	3.812	3.599	1.791
0.745	8.32	0.19	0.09	3.810	3.597	1.788
0.750	8.42	0.20	0.09	3.807	3.594	1.784
0.755	8.52	0.20	0.09	3.805	3.592	1.781
0.760	8.61	0.20	0.09	3.802	3.590	1.777
0.765	8.71	0.20	0.09	3.800	3.588	1.774
0.770	8.81	0.20	0.10	3.798	3.586	1.770
0.775	8.91	0.20	0.10	3.795	3.584	1.767
0.780	9.01	0.20	0.10	3.793	3.583	1.764
0.785	9.11	0.20	0.10	3.791	3.581	1.760
0.790	9.21	0.20	0.10	3.788	3.580	1.757
0.795	9.31	0.20	0.10	3.786	3.579	1.754
0.800	9.41	0.20	0.10	3.784	3.578	1.751

Er is bij het zeilschip een erg kleine stapgrootte genomen.

3.5 Gebruik carènediagram

Het carènediagram wordt gebruikt om in het ontwerpstadium van een schip diepgangen, de trim en stabiliteit te berekenen en te beoordelen bij een beperkt aantal standaard beladingstoestanden. Verder wordt het carènediagram gebruikt voor de beoordeling van in de praktijk voorkomende en vaak afwijkende beladingstoestanden. Het wordt daarom bij aflevering van een schip aan boord meegegeven ten behoeve van de kapitein en stuurlieden.

Bovendien zijn er talloze bijzondere omstandigheden waarbij het carènediagram de basisgegevens voor berekeningen verstrekt, bijvoorbeeld: aan de grond lopen, tewaterlaten, laden en lossen, enz.

Voorbeeld berekening 1

schip $L = 94$ m, $B = 14.80$ m, $D = 8.30$ m, $T_{\max} = 6.35$ m

Gegeven is het carènediagram, zie bijlage 2A.

Uit de berekening van massa en zwaartepunt is bekend:

massa schip + lading + voorraden = 6300 t
massazwaartepunt in lengte: $x_G = 0.27$ m vóór ord.10 (= $\frac{1}{2} L$)
massazwaartepunt boven basis: $KG = 5.90$ m

Het schip drijft in zeewater ($D = 1.025$ t/m³)

Gevraagd: gemiddelde diepgang, T_A , T_F en aanvangsmetacenterhoogte.

Uit het carènediagram blijkt dat een displacement van 6300 t (met huid en aanhangsels in zeewater) bereikt wordt bij $T = 6.30$ m.

Bij deze gelijklastig diepgang is:

$x_B = -0.11$ m (achter ord.10) KM (dwars) = 6.18 m $M_1 = 68$ tm
 $x_A = -2.75$ m (achter ord.10) $KM_L = 107.25$ m

Het trimmend moment is: $M_{TR} = DgL (x_B - x_G) \cos 2$
 $M_{TR} = DgL (-0.11 - 0.27) \cos 2 = -DgL 0.38 \cos 2$ kNm (koplast)

Het stabiliteitsmoment is: $M_{ST} = DgL GM_L \sin 2$
 $GM_L = 107.25 - 5.90 = 101.35$ m

er is evenwicht als: $M_{ST} = M_{TR}$
 $-DgL 0.38 \cos 2 = DgL 101.35 \sin 2$
 $\tan 2 = -0.38/101.35 = -0.0038$ $2 = -0.21^\circ$
totale trim = $t = L \tan 2 = 94 \times 0.0038 = -0.35$ m

De trim is ook te berekenen via het eenheidstrimmoment M_1

trim = $t = DgL (x_B - x_G) / M_1 = 6300 (-0.11 - 0.27) / 68 = -0.35$ m

$L_A = \frac{1}{2} L + x_A = 47 - 2.75 = 44.25$ m $L_F = \frac{1}{2} L - x_A = 47 + 2.75 = 49.75$ m

$T_A = T_{\text{gem.}} + L_A \tan 2 = 6.30 - 44.25 \times 0.0038 = 6.14$ m

$T_F = T_{\text{gem.}} - L_F \tan 2 = 6.30 + 49.75 \times 0.0038 = 6.49$ m

$GM = KM - KG = 6.18 - 5.90 = 0.28$ m

Voorbeeld berekening 2

Van hetzelfde schip als in voorbeeld I zijn de diepgangen vóór en achter gegeven.

Gevraagd: het displacement.

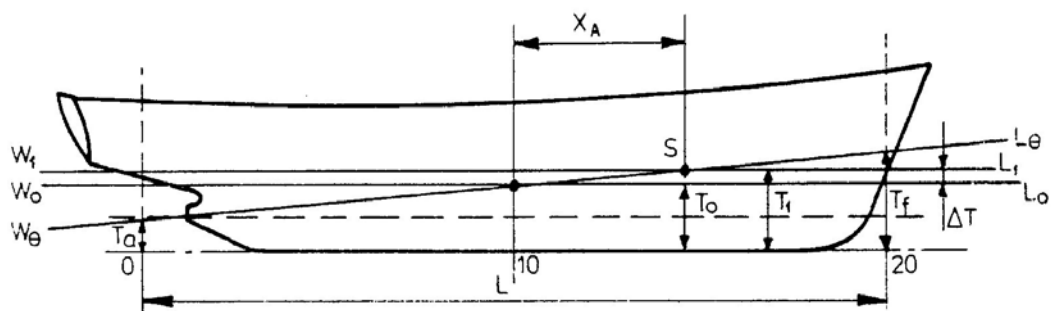
Oplossing: uitgaande van de in hoofdstuk 4.6 bewezen eigenschap dat een schip trimt om het waterlijnswaartepunt kunnen we het displacement voor de diepgangen T_A en T_F aflezen bij de gelijklastige diepgang T_1 , waarbij

$T_1 = T_0 + aT$ (zie figuur 3.26) waarin:

$$T_0 = \frac{T_A + T_F}{2} \quad \text{en} \quad aT = \frac{T_A - T_F}{L} x_A = \tan \varphi \cdot x_A$$

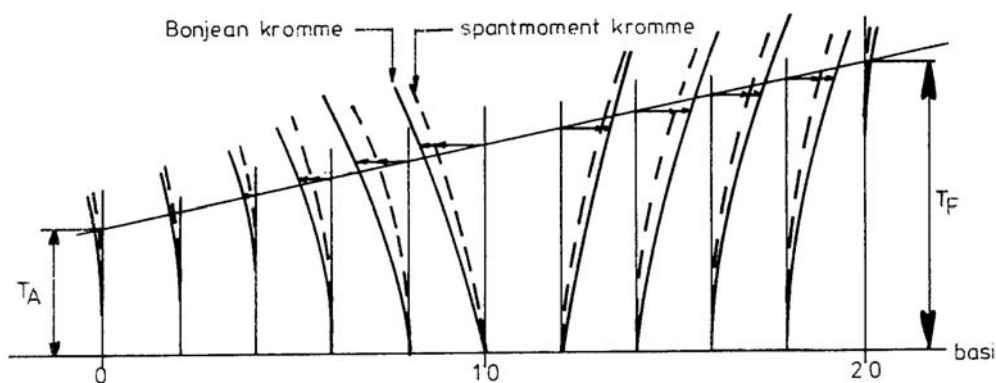
waarbij x_A bepaald dient te worden bij de gezochte T_1 .

Eventueel dient de berekening te worden herzien aan de hand van de gevonden resultaten (iteratie).

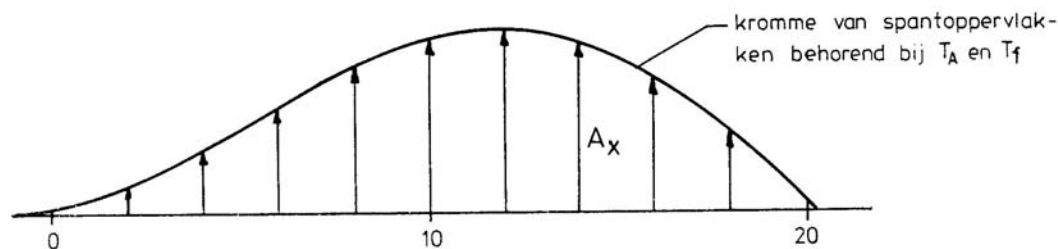


figuur 3.26

Het vraagstuk is nauwkeuriger te beantwoorden met behulp van de Bonjeankrommen van het carènediagram (zie figuur 3.27), dit is vooral het geval wanneer de trim groot is. Door op elke ordinaat op de bijbehorende diepgang het spantoppervlak op te meten is de kromme van spantoppervlakken behorend bij T_A en T_F te bepalen (zie figuur 3.28).



figuur 3.27



figuur 3.28

De inhoud van het schip onder de getrimde waterlijn is: $\nabla = \int_0^L A_x dx$

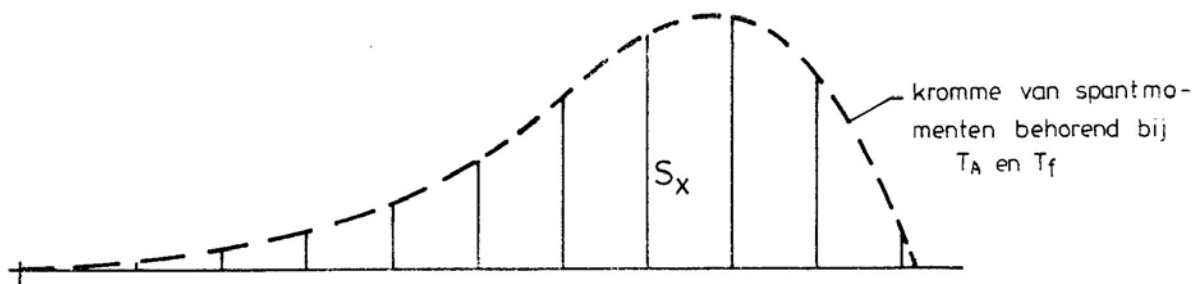
Op deze wijze kan ook de ligging van het drukkingspunt in lengte in de getrimde toestand gevonden

worden, namelijk:
$$x_B = \frac{\int_0^L A_x x dx}{\nabla}$$

Wanneer in het carènediagram ook de spantmomenten zijn uitgezet, kan hiermee het totale moment van de waterverplaatsing t.o.v. de basis worden bepaald en daarmee KB (zie figuur 3.29).

$$S_{yx \text{ totaal}} = 2 \int_0^L \int_0^T y z dz dx = \int_0^L S_{yx} dx$$

$$KB = \frac{\int_0^L S_{yx} dx}{\nabla}$$



figuur 3.29

Opgemerkt wordt dat x_B en KB bepaald worden t.o.v. ord. 10 en de basislijn, die bij een getrimde ligging van het schip niet meer verticaal en horizontaal staan. De zwaartekracht blijft echter verticaal werken, evenals de opwaartse kracht. Hierdoor ontstaan onnauwkeurigheden bij deze beschouwingen. Bij kleine trimhoeken (max. 2 à 3°) zijn de fouten verwaarloosbaar. Overschrijdt de trimhoek deze waarde dan geven andere methoden betere resultaten. (zie trimdiagram in hoofdstuk 9)

HOOFDSTUK 4

4 De stabiliteit van drijvende lichamen (schepen)

4.1 Het evenwicht van drijvende lichamen

Het evenwicht in horizontale richting

Een drijvend lichaam (schip) is in elke horizontale richting in evenwicht. Het verzet zich niet tegen een oneindig langzame verplaatsing in het horizontale vlak; het evenwicht is indifferent, want er zijn geen terugwerkende krachten die het schip naar de uitgangstoestand trachten terug te brengen.

Het evenwicht t.a.v. een rotatie om een verticale as is eveneens indifferent.

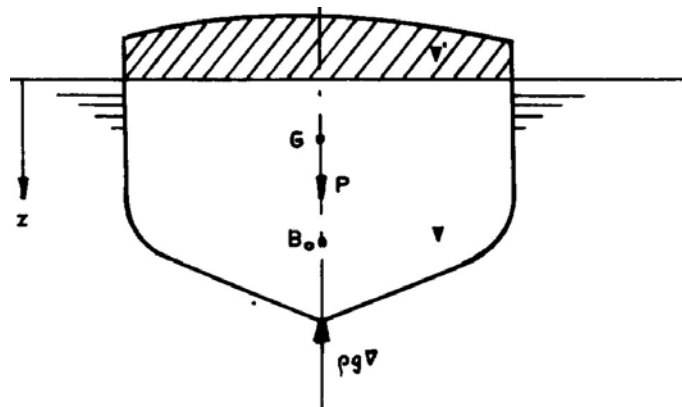
Er blijft over om te beschouwen:

- het evenwicht t.o.v. verticale verplaatsingen
- de rotatie om een willekeurige horizontale as.

Het evenwicht in verticale richting

Een drijvend lichaam is in evenwicht als het gewicht P ervan gelijk is aan de oprijvende kracht DgL . En tweede noodzakelijke voorwaarde is dat de werklijnen van de zwaartekracht en van de oprijvende kracht samenvallen.

Het gewicht grijpt aan in het systeemzwaartepunt G en de werklijn van oprijvende kracht gaat door het zwaartepunt van de verplaatste vloeistof, het zogenaamde drukingspunt B (centre of buoyancy)



figuur 4.1

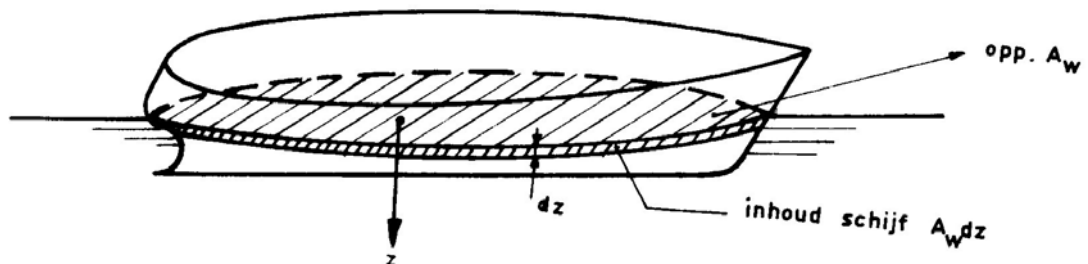
Het waterdichte afsluitbare volume L' boven de waterlijn is het reserve drijfvolume; het reserve drijfvermogen is DgL' .

Als $P > Dg(L + L')$ dan zinkt het schip;

als $P < Dg(L + L')$ dan blijft het schip drijven.

Verplaatsen we het schip over een kleine afstand dz verticaal naar beneden, dan neemt de oprijvende kracht toe met: $Dg \cdot A_w \cdot dz = Dg \cdot dL$

waarin A_w het oppervlak van de lastlijn voorstelt.



figuur 4.2

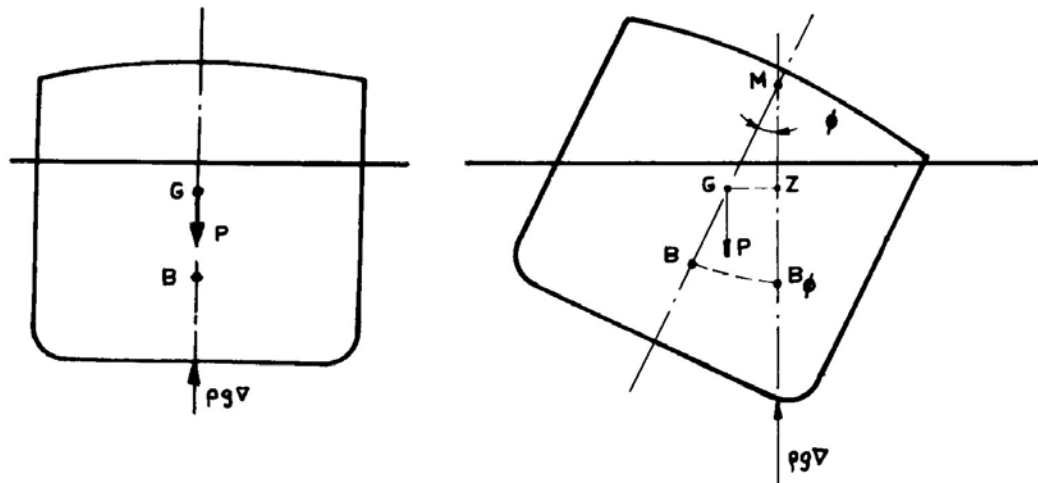
De kracht $Dg \cdot dL$ zal het schip weer naar de evenwichtsstand trachten terug te brengen. De uitgangstoestand is dus stabiel.

Als steeds geldt dat $P = DgL$ (bijv. bij een onderzeeër), dan is het verticaal evenwicht indifferent.

Het evenwicht bij hoekverdraaiing om een horizontale as

Van groot belang is het evenwicht t.a.v. een hoekverdraaiing om een horizontale as. We beschouwen een helling om een langsscheepse horizontale as, die in het middenlangsvlak ligt. Bij schepen in rechte stand ligt het gewichtszwaartepunt verticaal boven het drukingspunt.

We geven het schip een kleine dwarsscheepse helling N , bijv. door een denkbeeldig uitwendig moment. Er wordt dus geen verticale kracht uitgeoefend; de oprijvende kracht en dus het volume van het onderwaterdeel van het schip blijven hetzelfde. Door de helling verandert wel de vorm van het volume onder de waterlijn en daardoor verandert de plaats van het zwaartepunt van dat volume; het drukingspunt B_N . De werklijn van DgL gaat in deze stand door B_N en snijdt het langsscheeps symmetrievlak in het ware metacentrum: M .



figuur 4.3

Als ϕ nadert tot nul dan nadert M in de limiet tot het metacenter dat hoort bij de rechte stand van het schip.

Bij een hoek N werkt op het schip een moment ter grootte van:

$$P \cdot GZ = \rho g \nabla GM \sin \phi = \rho g \nabla GM \phi \quad (\phi \text{ in radialen}) \quad (\text{stabiliteitsmoment})$$

Als $GM > 0$, dus als M boven G ligt, dan tracht dit moment het schip in de oorspronkelijke stand terug te brengen.

De metacenterhoogte GM is een maat voor de stabiliteit en omdat het hier slechts om kleine hoeken gaat, spreekt men van een maat voor de aanvangsstabiliteit. De aanvangsstabiliteit is positief als in rechte stand M boven G ligt.

Als G boven M ligt dan is het evenwicht labiel: een kleine verstoring zal een groter wordende hellingshoek veroorzaken; het stabiliteitsmoment is negatief.

Vallen G en M samen dan is het evenwicht indifferent zolang de werklijn van DgL door M blijft gaan (in het algemeen voor kleine hoeken).

De plaats van het punt G volgt uit de gewichtsberekening van de onderdelen waaruit een schip bestaat. Geschreven kan worden:

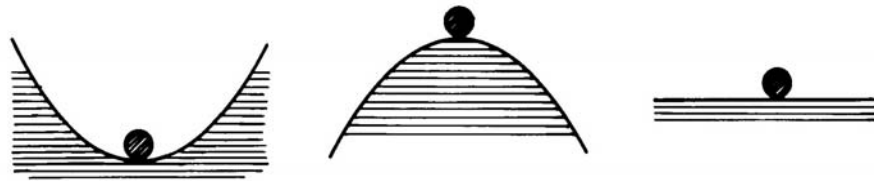
$$\text{stabiliteitsmoment} = M_{ST} = \rho g \nabla BM \phi - \rho g \nabla BG \phi \quad (\phi \text{ in radialen})$$

De eerste term is afhankelijk van de vorm van het schip: vormstabiliteit;
de tweede term is afhankelijk van de gewichtsverdeling: gewichtsstabiliteit.

4.2 De aard van het evenwicht van drijvende lichamen

Bij het onderzoek naar de stabiliteit van een drijvend lichaam (schip) worden de eigenschappen nagegaan als het schip uit een evenwichtsstand wordt gebracht. De aard van het evenwicht kan worden bepaald op basis van de volgende overwegingen:

- voor een stabiel evenwicht is de potentiële energie minimaal;
- voor een instabiel (labiel) evenwicht is de potentiële energie maximaal;
- voor een indifferent evenwicht is de potentiële energie (in de buurt van de beschouwde evenwichtsstand) constant.



figuur 4.4

De potentiële energie is gelijk aan een constante vermeerderd met de arbeid die verricht moet worden om het schip een uitwijking te geven. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen arbeid verricht door krachten en momenten.

Stel: massazwaartepunt G verplaatst zich uit de evenwichtsstand over een afstand z door alleen de krachten P_i ($i = 1 \dots n$);
de potentiële energie is dan:

$$D_z = D_0 + \int_0^z \sum_{i=1}^n P_{i_z} dz$$

De voorwaarden voor evenwicht in het geval van verplaatsing zijn:

		potentiële energie	evenwicht
$\frac{dD_z}{dz} = 0$	$\frac{d^2D_z}{dz^2} > 0$	minimaal	stabiel
	$\frac{d^2D_z}{dz^2} < 0$	maximaal	labiel
	$\frac{d^2D_z}{dz^2} = 0$	constant	indifferent

Stel: het schip krijgt een hoekverdraaiing α ten gevolge van alleen de momenten M_i ($i = 1 \dots n$);
de potentiële energie is dan:

$$D_\alpha = D_0 + \int_0^\alpha \sum_{i=1}^n M_{i_\alpha} d\alpha$$

De voorwaarden voor evenwicht in het geval van hoekverdraaiing zijn:

		potentiële energie	evenwicht
$\frac{dD_\alpha}{d\alpha} = 0$	$\frac{d^2D_\alpha}{d\alpha^2} > 0$	minimaal	stabiel
	$\frac{d^2D_\alpha}{d\alpha^2} < 0$	maximaal	labiel
	$\frac{d^2D_\alpha}{d\alpha^2} = 0$	constant	indifferent

Wordt dit toegepast op het evenwicht van een vaartuig waarvan het stabiliteitsmoment is:

$$M_{ST} = \rho g \nabla GN_\phi \sin \phi \quad (\text{zie figuur 4.6})$$

dan is de toename van de potentiële energie:

$$D_\varphi = \int_0^\varphi M_{ST} d\varphi = \int_0^\varphi \rho g \nabla GM_\varphi \sin \varphi d\varphi$$

Dit is de arbeid die nodig is om het schip tot een hoek φ te doen hellen. (dynamische stabiliteit, zie hoofdstuk 5.2)

Als $\varphi \rightarrow 0$ nadert $N_\varphi \rightarrow M$, zodat dan geldt:

$$M_{ST} = \rho g \nabla GM \quad \text{dan wordt} \quad D_\varphi = \int_0^\varphi \rho g \nabla GM \varphi d\varphi$$

Is er evenwicht voor $\varphi = 0$, dan volgt de aard van dat evenwicht uit:

	evenwicht	
$\left(\frac{d^2 D_\varphi}{d\varphi^2} \right)_{\varphi=0} = \rho g \nabla GM > 0$	stabiel	$GM > 0$
< 0	labiel	$GM < 0$
$= 0$	indifferent	$GM = 0$

4.3 De verschuivingswet

Bij de beschouwing van het evenwicht zal veel gebruik worden gemaakt van de zogenaamde verschuivingswet. Deze heeft betrekking op de plaatsverandering van het gemeenschappelijk zwaartepunt van een stelsel oppervlakken, volumina of massa's ten gevolge van een onderlinge positieverandering. De wet luidt:

als van een oppervlak, volume of massa L een gedeelte v over een afstand a wordt verplaatst, dan verschuift het zwaartepunt zich evenwijdig aan die verplaatsing over een afstand die gelijk is aan: $v \cdot a / L$

Een volume v_1 met zwaartepunt z_1 aan L_0 toegevoegd in A geeft een gemeenschappelijk zwaartepunt z_A , zodat:

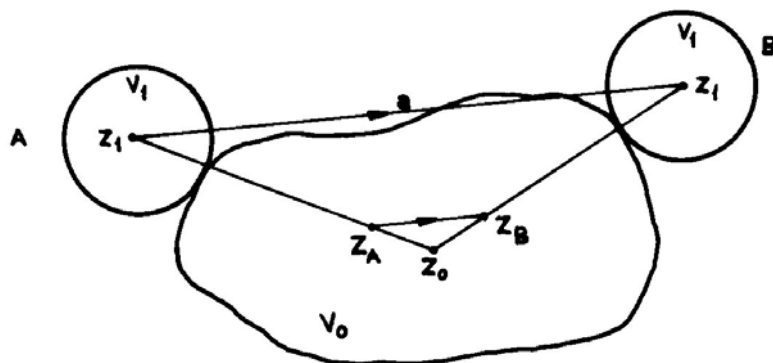
$$z_0 z_A : z_0 z_1 = v_1 : (\nabla_0 + v_1)$$

verschuiving van v_1 naar positie B geeft het gemeenschappelijk zwaartepunt z_B , zodat:

$$z_0 z_B : z_0 z_1 = v_1 : (\nabla_0 + v_1)$$

uit beide betrekkingen volgt:

$$z_A z_B // z_1 z_1 \quad \text{en} \quad z_A z_B = \frac{a v_1}{\nabla_0 + v_1}$$



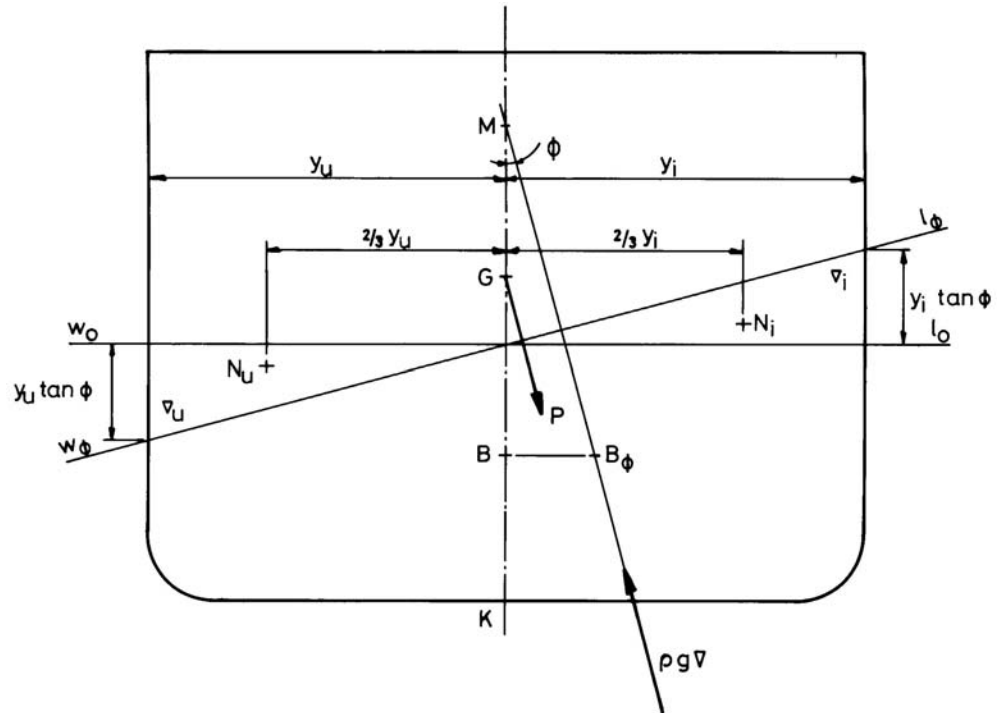
figuur 4.5

4.4 De plaats van het metacenter

Om de stabiliteit van een drijvend lichaam te kunnen bepalen is het essentieel om de verplaatsing van het drukingspunt B ten gevolge van helling te kennen. Door het schip een kleine dwarsseepse helling ϕ te geven kan m.b.v. figuur 4.6 worden afgeleid:

- de waterlijnen w_0l_0 en $w_\phi l_\phi$ snijden elkaar volgens de symmetrielijns van w_0l_0 ;
- de hoogte van het metacenter boven het drukingspunt: **BM**

BM wordt de **metacentrische straal** genoemd.



figuur 4.6

Door de helling gaat aan de linkerzijde tussen w_0l_0 en $w_\phi l_\phi$ een gedeelte van de waterverplaatsing verloren (de uittredende wig L_u) en aan de rechterzijde komt er waterverplaatsing bij (de intredende wig L_i). Aangezien het gewicht van het schip niet verandert moet de totale waterverplaatsing constant blijven en geldt er dus dat:

$$L_u = L_i$$

Ten gevolge van het verplaatsen van een gedeelte van de waterverplaatsing van L_u naar L_i verplaatst het drukingspunt zich van B naar B_phi. Aangezien we de verplaatsing alleen willen weten bij zeer kleine hellingshoek is de verandering in hoogte van het drukingspunt te verwaarlozen. Met behulp van de verschuivingswet wordt nu de verplaatsing van het drukingspunt (BB_phi) uitgerekend.

Het volume van de uittredende wig is, uitgaande van loodrechte zijwanden over het zeer kleine stukje dat door beide waterlijnen wordt omvat:

$$\nabla_u = \int_0^L \frac{1}{2} y_u y_u \tan \phi \, dx = \frac{1}{2} \tan \phi \int_0^L y_u^2 \, dx$$

en het volume van de intredende wig is op analoge wijze:

$$\nabla_i = \int_0^L \frac{1}{2} y_i y_i \tan \phi \, dx = \frac{1}{2} \tan \phi \int_0^L y_i^2 \, dx$$

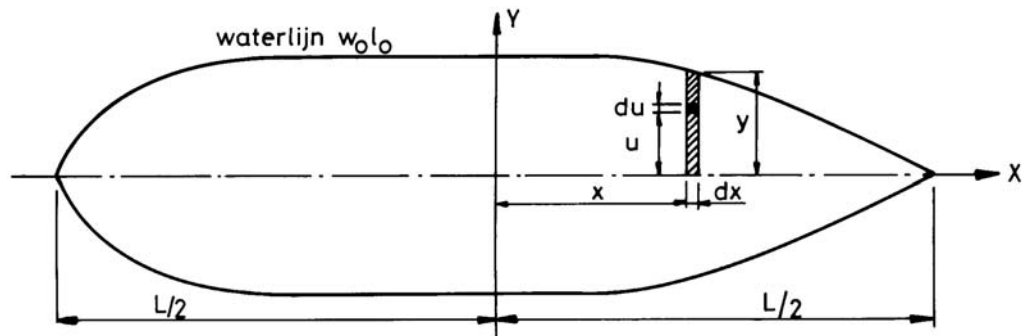
Aangezien $L_u = L_i$ geldt:

$$\frac{1}{2} \int_0^L y_u^2 \, dx = \frac{1}{2} \int_0^L y_i^2 \, dx$$

Afgeleid zal worden dat wat hier staat het statisch moment van de waterlijn is t.o.v. de langsscheepse symmetrieas. Het statisch moment van de waterlijn $w_0 l_0$ (zie figuur 4.7) t.o.v. het middenlangsvlak wordt gevonden door het eerst voor een klein strookje met lengte dx te bepalen en vervolgens de som van de statische momenten van al deze strookjes te bepalen. We vinden voor het gearceerde strookje t.o.v. de langsas:

$$dS_x = \int_0^y u \, du \, dx = \frac{1}{2} y^2 \, dx$$

en voor de hele waterlijn:
$$S_x = \frac{1}{2} \int_0^L y^2 \, dx$$



figuur 4.7

Hieruit mag geconcludeerd worden:

- het statisch moment van de intredende wig van $w_0 l_0$ en van de uittredende wig zijn gelijk en dus:
- de waterlijnen $w_0 l_0$ en $w_\phi l_\phi$ snijden elkaar volgens een langsscheepse lijn gaande door het zwaartepunt van $w_0 l_0$; hieruit volgt weer:
- de waterlijnen $w_0 l_0$ en $w_\phi l_\phi$ snijden elkaar op de langsscheepse symmetrielij.

N_u en N_i zijn de zwaartepunten van resp. de uittredende en intredende wiggen; met behulp van de verschuivingswet volgt:

$$BB_\phi = \frac{\nabla_u \frac{4}{3} y}{\nabla} = \frac{\frac{1}{2} \tan \phi \int_0^L y^2 \frac{4}{3} y \, dx}{\nabla} = \frac{\frac{2}{3} \tan \phi \int_0^L y^3 \, dx}{\nabla}$$

Uit figuur 4.6 blijkt bovendien dat

$$BM = \frac{BB_\phi}{\tan \phi} = \frac{\frac{2}{3} \int_0^L y^3 \, dx}{\nabla} = \frac{I_T}{\nabla}$$

waarin I_T gelijk is aan het dwarstraagheidsmoment van de waterlijn t.o.v. de langsscheepse symmetrieas; want voor een klein strookje hiervan geldt:

$$dI_x = \int_0^y u^2 \, du \, dx = \frac{1}{3} y^3 \, dx$$

en dus voor de hele waterlijn: (de factor 2 i.v.m. SB en BB helft)

$$I_T = \frac{2}{3} \int_0^L y^3 \, dx$$

4.5 Dwarsscheepse stabiliteit

Bij een bekende plaats van G (uit de gewichtsberekening) en B (uit het carènediagram) is nu de grootte van de aanvangsstabiliteit te bepalen, nl.:

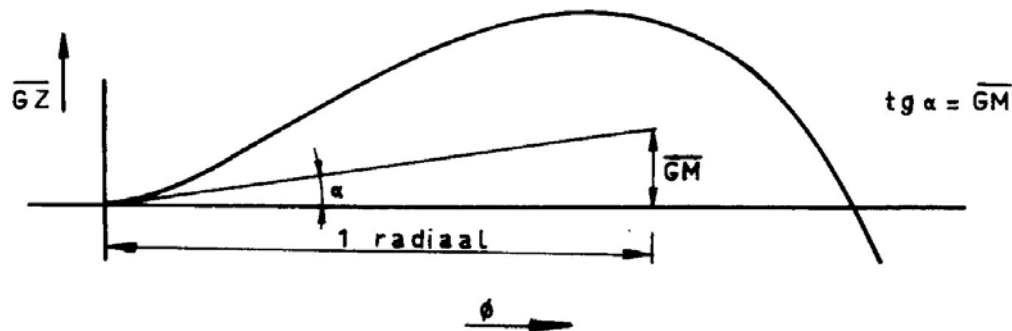
$$GM = KB + BM - KG$$

De GM-waarde is een belangrijke grootte bij het ontwerp van een schip. Een te grote GM/B geeft een wreed schip, dat een kleine slingerperiode heeft. Een schip met een relatief kleine GM/B verhouding gedraagt zich over het algemeen soepeler. De veiligheid van een schip tegen kenteren stelt echter een ondergrens aan de waarde van GM.

Kromme van armen van statische stabiliteit

Om de stabiliteit van een schip bij grotere hellingshoeken te kunnen beoordelen wordt gebruik gemaakt van de kromme van armen van statische stabiliteit. Bij grotere hoeken wordt het snijpunt van het langsscheepse symmetrievlak en de werklijn van opdrijvende kracht gegeven door het vals metacenter N_N .

$$\begin{aligned} \text{stabiliteitsmoment is: } M_{ST} &= \rho g \nabla GZ_\varphi = \varphi \rho g \nabla GN_\varphi \sin \varphi \\ \text{stabiliteitsarm is: } GZ_\varphi &= GN_\varphi \sin \varphi \end{aligned}$$



figuur 4.8

Voor kleine hoeken is de arm van statische stabiliteit: $GM \cdot \varphi$ (φ in rad.); de helling van de kromme van armen t.p.v. $\varphi = 0$ vinden we uit:

$$\tan \alpha = \frac{dGM}{d\varphi} \varphi = GM$$

Formule van Scribanti

Uitgaande van de eerder gegeven afleiding voor het bepalen van de metacentrische straal en de aanvangsstabiliteit heeft **Scribanti** een formule afgeleid waarmee de arm van statische stabiliteit bepaald kan worden. Hij veronderstelde dat het schip in het gebied dat door de gehele waterlijnen bestreken wordt verticale zijwanden heeft. Voor "normale" koopvaardij schepen geldt deze benadering goed, mits het dek niet in of de kim uit het water komt. In veel gevallen is de formule bruikbaar tot $N = 10^\circ$ à 15° . Voorzichtigheid is geboden bij scherpe schepen en schepen met sterk uitvallende of ronde spanten in de omgeving van de lastlijn, zoals fregatten, vissersschepen en jachten.

De afleiding verloopt min of meer analoog aan die voor kleine hellingshoeken, behalve dat nu naast de horizontale ook de verticale verplaatsing van het drukingspunt in de berekening wordt betrokken. We zien in figuur 4.9 dat:

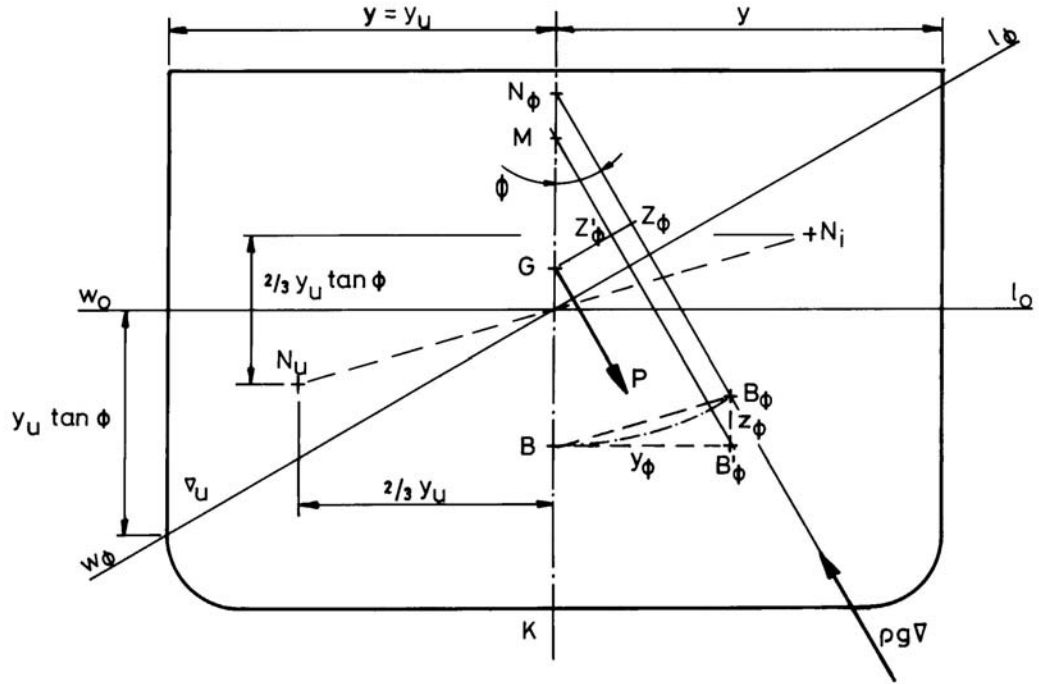
$$GZ_\varphi = GZ_\varphi^I + Z_\varphi^I Z_\varphi = GM \sin \varphi + MN_\varphi \sin \varphi = GM \sin \varphi + z_\varphi \sin \varphi$$

waarin z_N de verticale verplaatsing van het drukingspunt voorstelt. $GM \sin \varphi$ is de aanvangsstabiliteit en $MN_N \sin N$ wordt de toegevoegde stabiliteit genoemd.

M.b.v. de verschuivingswet is ook de verticale verplaatsing van B te bepalen:

$$Z_{\phi} = \frac{\nabla_u \frac{2}{3} y \tan \phi}{\nabla} = \frac{\int_0^L \frac{1}{2} y^2 \tan \phi \frac{2}{3} y \tan \phi dx}{\nabla}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} \tan^2 \phi \int_0^L \frac{2}{3} y^3 dx}{\nabla} = \frac{1}{2} \tan^2 \phi \frac{I_T}{\nabla} = \frac{1}{2} BM \tan^2 \phi$$



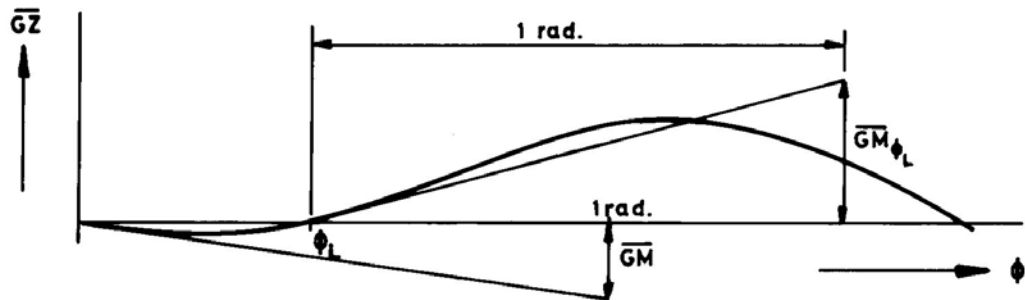
figuur 4.9

Voor de arm van het stabiliteitsmoment geldt dan:

$$GZ_{\phi} = (GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \phi) \sin \phi$$

De kromme van armen van statische stabiliteit heeft een horizontale raaklijn in de oorsprong als $GM = 0$ (indifferent evenwicht); bij grotere hellingshoeken bestaat het stabiliteitsmoment nu alleen uit toegevoegde stabiliteit.

Bij negatieve aanvangsstabiliteit, dus als $GM < 0$, wordt de kromme van armen als in figuur 4.10.



figuur 4.10

Als voldaan wordt aan de voorwaarden van de formule van Scribanti, is de grootte van ϕ_L (angle of loll) en de daarbij behorende GM_{ϕ_L} is te vinden m.b.v. deze formule:

$$GZ_{\phi} = (GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \phi) \sin \phi$$

$$\sin\varphi = 0$$

$$\varphi = 0$$

=> labiel evenwicht

$$\text{GM} + \frac{1}{2} \text{BM} \tan^2 \varphi = 0$$

$$\varphi_L = \arctan \sqrt{\frac{-2 \text{ GM}}{\text{BM}}}$$

=> stabiel evenwicht

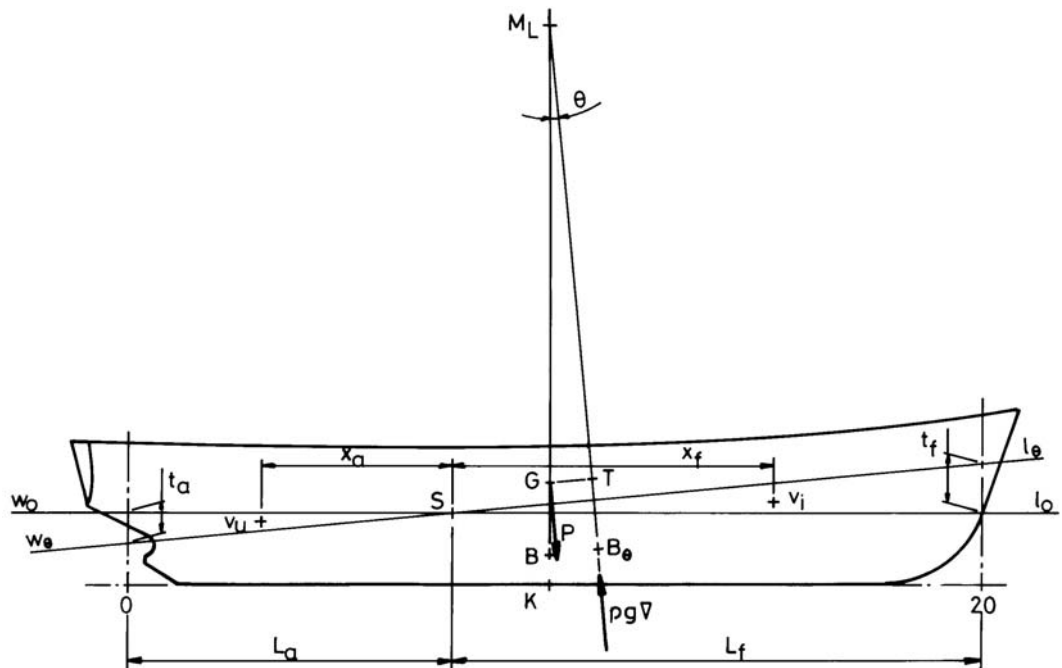
$$GM_{\varphi_L} = \frac{dGZ}{d\varphi} = \frac{d(GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \varphi) \sin \varphi}{d\varphi} \quad (\varphi = \varphi_L)$$

$$GM_{\varphi_L} = \frac{-2 GM}{\cos \varphi_L}$$

Steeds moet gecontroleerd worden of aan de voorwaarden voor de geldigheid van Scribanti voldaan wordt.

4.6 Langsscheepse stabiliteit

Een schip is t.a.v. helling om een dwarsscheepse horizontale as altijd stabiel. De optredende trimhoeken zijn zo klein ($2 < \theta < 6^\circ$) dat we in vele gevallen mogen aannemen dat de lijn van oprijvende kracht door het langsmetacenter M_L gaat.



figuur 4.11

Bij een trimhoek θ is het langsscheeps stabiliteitsmoment:

$$M_{ST} = \rho g \nabla GM_L \sin \theta$$

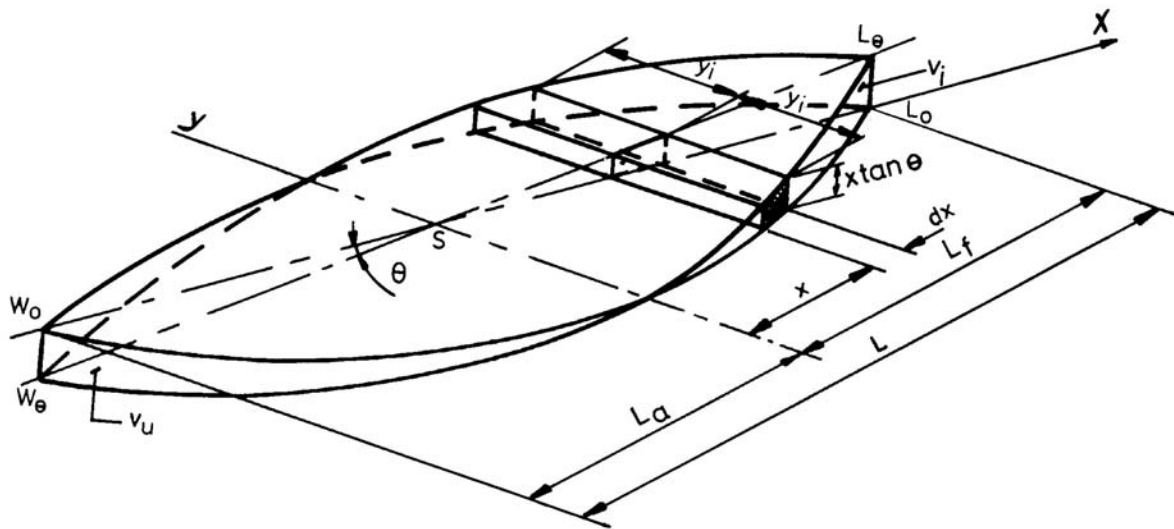
Om dit te kunnen bepalen is het nodig om de langsscheepse verplaatsing van het drukingspunt t.g.v. trim te kennen. Door het schip een kleine trimhoek θ te geven kan, analoog aan de dwarsscheepse situatie, worden afgeleid:

- de waterlijnen w_0l_0 en w_2l_2 snijden elkaar volgens een dwarsscheepse lijn door S, het zwaartepunt van w_0l_0 ;
- de hoogte van het langsmetacenter boven het drukingspunt: BM_L

In figuur 4.12 stellen w_0l_0 en w_2l_2 de oorspronkelijke en de getrimde lastlijn voor. De snijlijn van de waterlijnen is een dwarsscheepse as door een nader te bepalen punt S; v_i en v_u resp. het volume van de intredende en de uitredende wig; aangezien de waterverplaatsing constant moet blijven geldt $v_i = v_u$. Voor een volume element van de intredende wig kunnen we schrijven:

$$dv_i = 2 y_i \times \tan \theta dx$$

waarbij de oorsprong van het assenkruis samenvalt met het punt S.



figuur 4.12

Het volume van de intredende resp. uittredende wig is:

$$v_i = 2 \tan \theta \int_0^{L_f} y_i x dx$$

$$v_u = 2 \tan \theta \int_0^{L_a} y_u x dx$$

$$v_i = v_u \rightarrow 2 \int_0^{L_f} y_i x dx = 2 \int_0^{L_a} y_u x dx$$

De statische momenten van het intredende en uittredende deel van de waterlijn w_0l_0 t.o.v. de snijlijn van w_0l_0 en $w_\theta l_\theta$ zijn gelijk, dus de waterlijnen snijden elkaar volgens een dwarsscheepse as door het zwaartepunt van w_0l_0 , dus:

een schip trimt om het waterlijnzwaartepunt.

Uit figuur 4.11 volgt:

$$BM_L = \frac{BB_\theta}{\tan \theta}$$

$$BB_\theta = \frac{v(x_a + x_f)}{\nabla} = \frac{v_u x_a + v_i x_f}{\nabla}$$

$v_u x_a$ = statisch moment van het volume van de uittredende wig t.o.v. de snijlijn door S;

$v_i x_f$ = statisch moment van het volume van de intredende wig t.o.v. de snijlijn door S;

$$v_i x_f = 2 \tan \theta \int_0^{L_f} y_i x_f^2 dx$$

$$v_u x_a = 2 \tan \theta \int_0^{L_a} y_u x_a^2 dx$$

$$BM_L = \frac{\tan \theta \left(\int_0^{L_a} 2 y_u x_a^2 dx + \int_0^{L_f} 2 y_i x_f^2 dx \right)}{\tan \theta \nabla} = \frac{I_L}{\nabla}$$

Omdat $BM_L \gg BG$, geldt bij benadering: $GM_L = BM_L$

dan wordt het stabiliteitsmoment: $M_{ST} = \rho g \nabla BM_L \sin \theta = \rho g I_L \sin \theta$

Stel dat een vertrimming van het schip veroorzaakt wordt door een trimmend moment M_{TR} ; de evenwichtsstand wordt bereikt als $M_{ST} = M_{TR}$

de hoek waarbij dit evenwicht optreedt volgt dan uit:

$$\rho g I_L \sin \theta = M_{TR} \quad \text{of} \quad \sin \theta = \frac{M_{TR}}{\rho g I_L}$$

bij meestal kleine hoeken geldt, θ in radialen:

$$\theta = \frac{M_{TR}}{\rho g I_L}$$

Het bepalen van de trim en de diepgangen vóór en achter

Uit figuur 4.11 volgt:

$$\tan \theta = \frac{t}{L_{ord}} \quad \sin \theta = \frac{M_{TR}}{\rho g \nabla GM_L} \quad (t = \text{totale trim})$$

bij kleine trimhoeken is: $\tan \theta = \sin \theta$, zodat:

$$\frac{t}{L_{ord}} = \frac{M_{TR}}{\rho g \nabla GM_L}$$

$$\text{trim achter : } t_a = L_a \frac{t}{L_{ord}} \quad \text{trim voor : } t_f = L_f \frac{t}{L_{ord}}$$

$$\text{diepgang achter : } T_a = T \pm L_a \frac{t}{L_{ord}}$$

$$\text{diepgang voor : } T_f = T \pm L_f \frac{t}{L_{ord}}$$

waarin L_a en L_f de afstanden zijn van het zwaartepunt S van de waterlijn tot resp. ord.0 en ord.20 en t_a en t_f de diepgangsveranderingen achter en vóór;

T is de oorspronkelijke diepgang behorend bij die waterlijn en T_a en T_f worden gemeten op resp. ord.0 en ord.20.

Als het trimmend moment wordt veroorzaakt doordat het drukingspunt niet onder het gewichtszwaartepunt ligt ($x_B \dots x_G$), dan is het trimmend moment:

$$M_{TR} = \rho g \nabla (x_B - x_G) \cos \theta \quad \text{zodat geldt (voor kleine hoeken):} \quad t = \frac{L (x_B - x_G)}{GM_L}$$

Voor "normale" koopvaardij schepen in geladen toestand geldt bij benadering: $GM_L = L_{ord}$

zodat de trim dan bedraagt: $t = x_B - x_G$ (ter controle van berekeningen)

Het moment voor 1 cm trimverandering

$$M_{0.01} = \rho g \nabla GM_L \frac{0.01}{L}$$

$$\text{als } \rho GM_L = BM_L = \frac{I_L}{\nabla} \quad \text{dan wordt} \quad M_{0.01} = \frac{g I_L}{100 L}$$

$$\text{de trim wordt dan :} \quad t = \frac{M_{TR}}{M_{0.01}} \quad (\text{cm})$$

Meestal wordt in bovenstaande formule de constante g weggelaten, zodat M_{TR} en $M_{0.01}$ in tm worden uitgedrukt, nu wordt:

$$M_{0.01} = \frac{I_L}{100 L}$$

Door de benaderingen is het moment voor 1 cm trimverandering een (quasi) hydrostatische grootheid geworden die alleen van de diepgang afhankelijk is en in het carènediagram kan worden aangegeven.

Bij bovenstaande beschouwingen is van een aantal benaderingen gebruik gemaakt (o.a. kleine trimhoeken, verticale vóór- en achterstevens, $GM_L = BM_L$). Als deze benaderingen de werkelijkheid te zeer geweld aandoen zijn de hierdoor ontstane afwijkingen niet acceptabel.

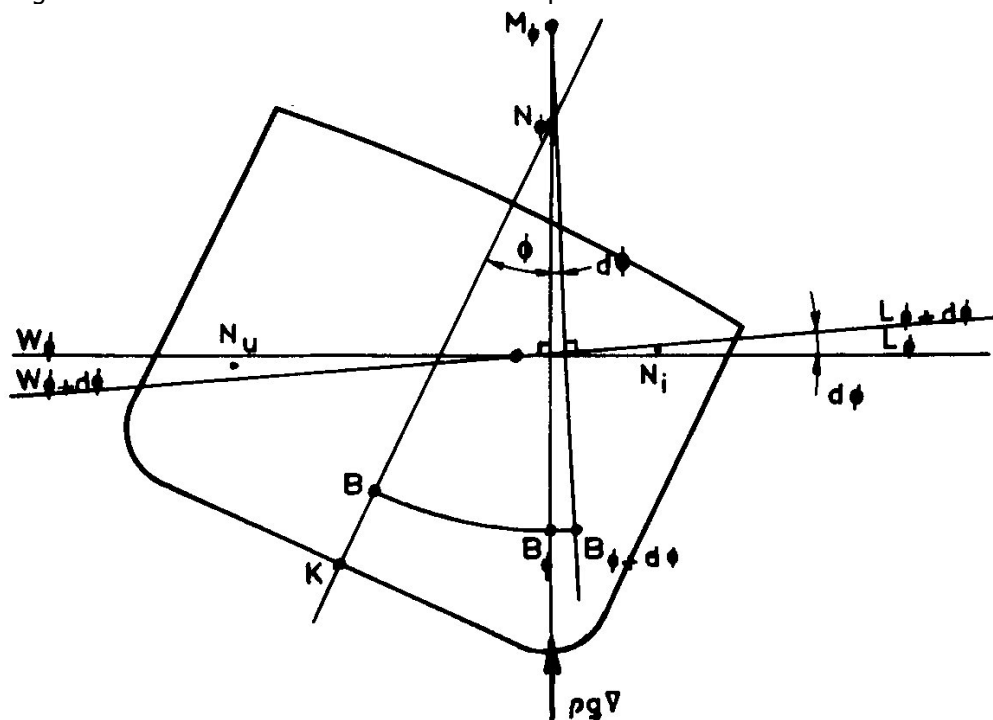
HOOFDSTUK 5

5 Dwarsscheepse stabiliteit (vervolg)

5.1 Geometrische eigenschappen van de scheepsvorm

De kromme van drukingspunten

Verandering van de positie van een lichaam ondergedompeld of drijvend in een vloeistof heeft gevolgen voor de werklijn en de plaats van het aangrijpingspunt van de zwaartekracht en voor de werklijn van de op het lichaam werkende opwaartse kracht. Neemt de hellingshoek van een drijvend lichaam (schip) steeds toe, dan zal het drukingspunt B_φ een ruimtelijke kromme beschrijven. Naast een verplaatsing van B_φ in breedte- en hoogterichting zal er in het algemeen ook sprake zijn van een verplaatsing in lengterichting vanwege het vormverschil van vóór- en achterschip.



figuur 5.1

Uitgaande van een helling φ geven we het schip een extra helling $d\varphi$. De verschuiving van B_φ naar $B_{\varphi+d\varphi}$ is volgens de verschuivingswet evenwijdig aan de verbindinglijn $N_u N_i$ van de zwaartepunten van de uit- en intredende wig (zie figuur 5.1). De werklijnen van de opwaartse krachten door B_φ en $B_{\varphi+d\varphi}$ staan loodrecht op de bijbehorende waterlijnen en snijden elkaar in M_φ als $d\varphi$ nadert tot 0. Als $d\varphi$ nadert tot 0 dan wordt $B_\varphi B_{\varphi+d\varphi}$ een raaklijn aan de meetkundige plaats van B_φ , dan valt $N_u N_i$ samen met $w_\varphi l_\varphi$, zodat de raaklijn aan de B_φ -kromme evenwijdig is aan de bijbehorende waterlijn $w_\varphi l_\varphi$.

De werklijnen van de opwaartse krachten staan loodrecht op de B_φ -kromme, het zijn de normalen van de B_φ -kromme.

De snijlijn van de waterlijnen $w_\varphi l_\varphi$ en $w_{\varphi+d\varphi} l_{\varphi+d\varphi}$ gaat door het zwaartepunt van de lastlijn. Bij de hellingshoek φ is deze waterlijn alleen symmetrisch als het een schip met loodrechte zijwanden betreft of een cilinder met de halve diameter als diepgang, in alle andere gevallen is de waterlijn niet meer symmetrisch, zodat de snijlijn niet in het middenlangsvlak ligt.

Het kernvlak van de waterlijnen

Het voorgaande geeft aanleiding tot het zogenaamde kernvlak dat gevormd wordt door het omhullende vlak van de opeenvolgende waterlijnen.

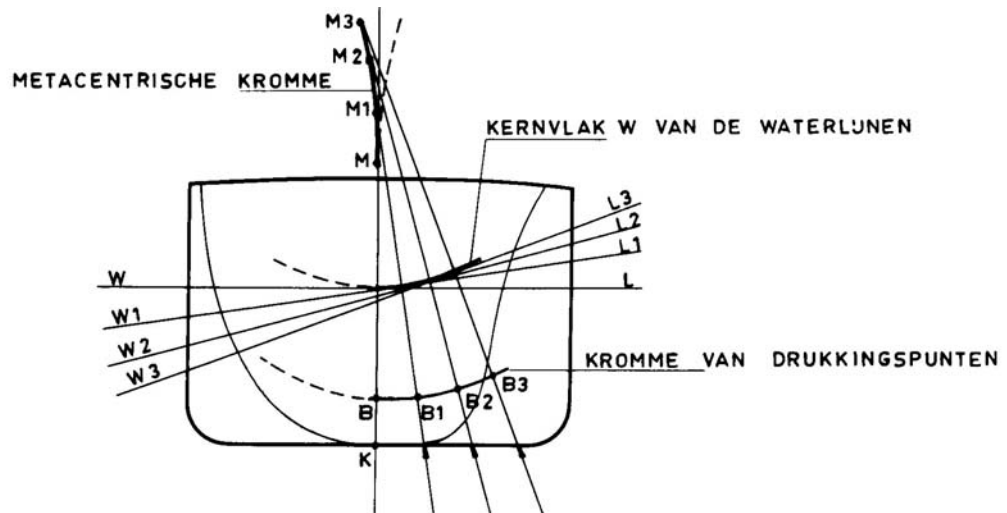
Het kernvlak raakt aan de opeenvolgende waterlijnvlakken t.p.v. de lijnen door het zwaartepunt van die waterlijnen.

De metacentrische kromme

De meetkundige plaats van M_ϕ heet metacentrische kromme. M_ϕ is de limiet van het snijpunt van twee opeenvolgende werklijnen van opdrijvende kracht. Omdat deze werklijnen van opwaartse kracht normalen zijn van de B_ϕ -kromme is M_ϕ het kromtemiddelpunt; de M_ϕ -kromme is dus de meetkundige plaats van de kromtemiddelpunten van de B_ϕ -kromme.

De plaats en de vorm van de B_ϕ - en M_ϕ -krommen bepalen de grootte van de **metacentrische straal $B_\phi M_\phi$** . Deze afstand is van belang voor het stabiliteitsmoment.

Het verband tussen de B_ϕ -kromme, M_ϕ -kromme en het kernvlak van de waterlijnen wordt in figuur 5.2 gegeven.



figuur 5.2

Tenslotte worden in figuur 5.3 weergegeven de metacentrische kromme en de kromme van drukkingpunten voor een bak met de diepgang gelijk aan de halve holte; het kernvlak van de waterlijnen ont-aardt in één punt. Tevens zijn de stabiliteitskromme (GZ) en de kromme van de dynamische weg (e) gegeven.

5.2 Dynamische stabiliteit en weg

De dynamische stabiliteit D is de arbeid die nodig is om een drijvende constructie (schip), t.o.v. een zekere beginstand, een hellingshoek ϕ te geven.

Hierbij wordt de hoekverdraaiing oneindig langzaam tot stand gebracht, zodat geen dynamische effecten optreden.

Stel dat het schip bij hellingshoek N een stabiliteitsmoment M_ϕ heeft; als de hellingshoek toeneemt tot $\phi + d\phi$, dan is de verrichte arbeid:

$$dA = M_\phi d\phi.$$

Bij een hoekverdraaiing van 0 tot $d\phi$ is de dynamische stabiliteit:

$$\text{arbeid} = D = \int_0^\phi M_\phi d\phi \quad (\phi \text{ in radialen})$$

De dynamische weg e is de dynamische stabiliteit gedeeld door het gewicht van het schip. Er geldt:

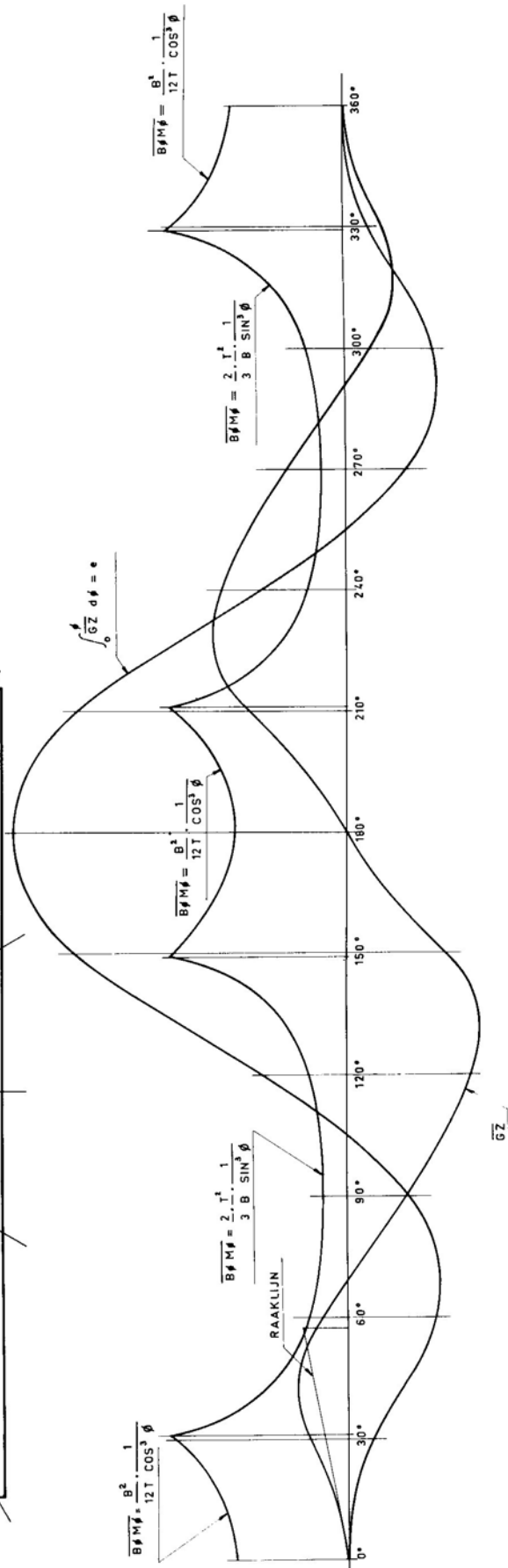
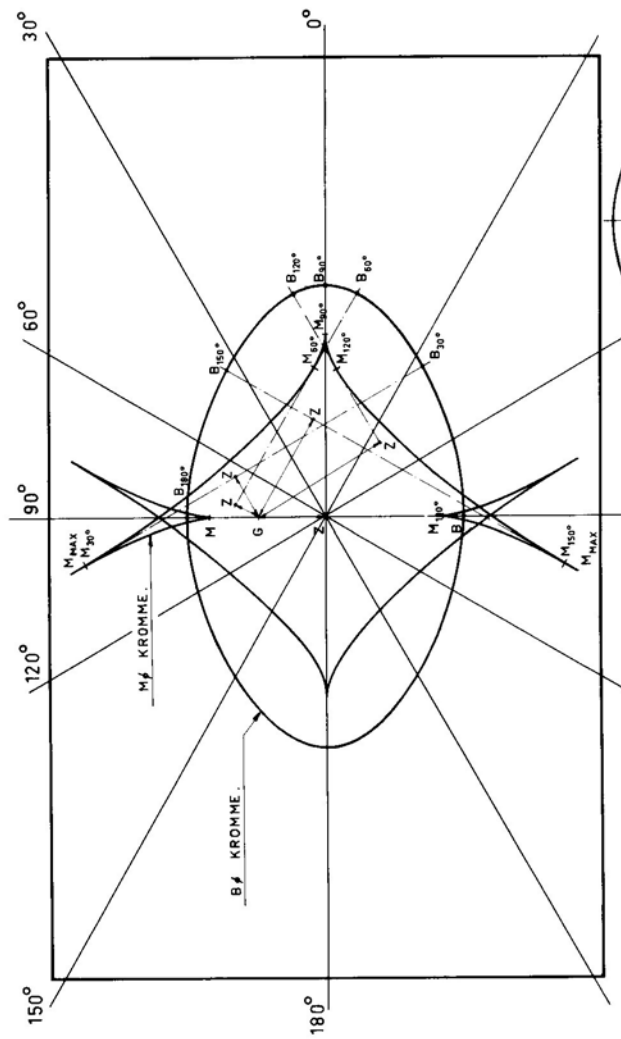
$$D = \rho g \nabla \int_0^\phi GZ_\phi d\phi \quad \text{dus} \quad e = \int_0^\phi GZ_\phi d\phi$$

De dynamische weg wordt dus voorgesteld door het oppervlak onder de kromme van armen van statische stabiliteit en wordt uitgedrukt in meterradialen, zie figuur 5.4.

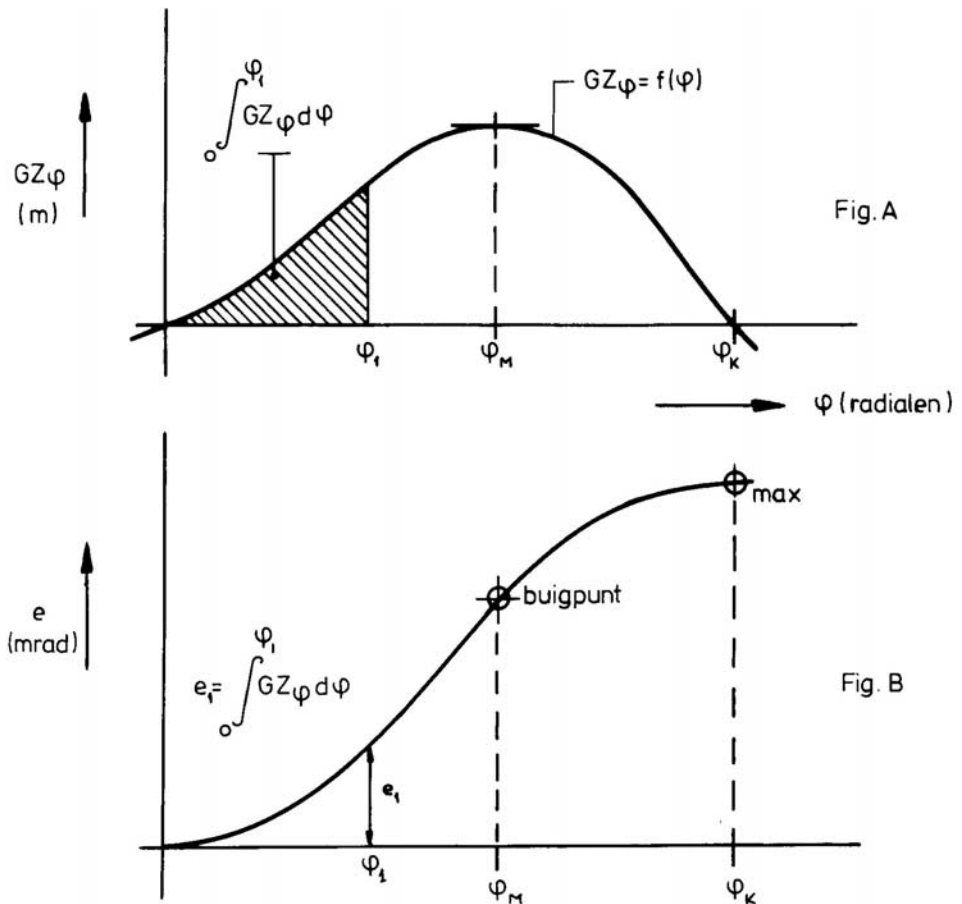
De dynamische stabiliteit resp. dynamische weg van een schip geeft aan in welke mate het vaartuig in staat is een plotseling optredende belasting (ten gevolge van een windstoot bijvoorbeeld) te incasseren. Het is een belangrijk criterium bij het beoordelen van de stabiliteit van het vaartuig.

METACENTRISCHE KROMME EN KROMME VAN DRUKKINGSPUNTEN
VAN EEN BAK MET DE VOLGENDE AFMETINGEN:

L	$= X \text{ m}$
B	$= 10 \text{ m}$
D	$= 6 \text{ m}$
T	$= 3 \text{ m}$
$\overline{GM}$	$= 0,50 \text{ m}$



figuur 5.3

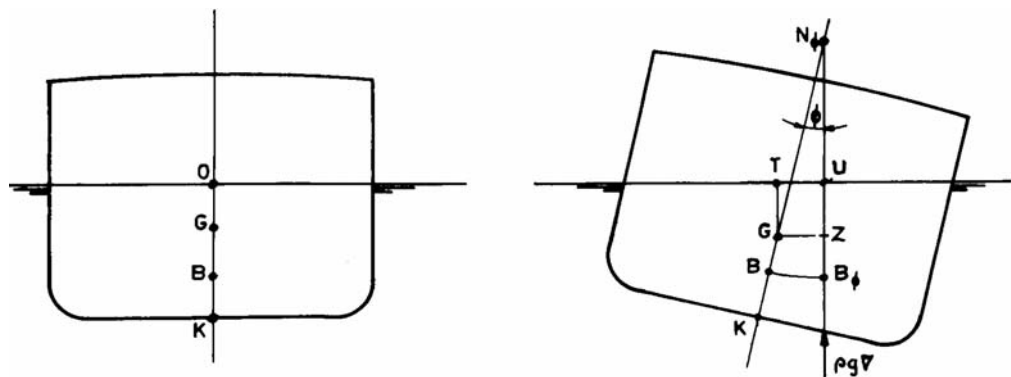


figuur 5.4

De dynamische stabiliteit kan ook op een meer directe manier berekend worden. Daartoe wordt deze arbeid in delen gesplitst, namelijk de arbeid die nodig is om het schip in het luchtledige de slagzij **N** te geven en de arbeid die bij dezelfde positieverandering in water door de waterdrukkrachten op de huid wordt verricht.

Ten aanzien van de eerste arbeid wordt opgemerkt dat alleen arbeid wordt verricht als het gewicht-zwaartepunt **G** zich verticaal verplaatst. Als referentievlak wordt het wateroppervlak genomen. De verrichte arbeid die nodig is om het schip een hellingshoek **N** te geven is, zie figuur 5.5:

$$D_1 = \rho g \nabla (GO - GT)$$



figuur 5.5

De totale arbeid verricht door de waterdrukkrachten = het verschil van de statische momenten van de totale opwaartse kracht in begin- en eindtoestand.

$$D_2 = \rho g \nabla (B_\phi U - BO)$$

De dynamische stabiliteit is nu $D_1 + D_2$, dus:

$D_{ST} = D_1 + D_2 = \rho g \nabla [(GO - GT) + (B_\phi U - BO)] = \rho g \nabla (B_\phi Z - BG)$
 De dynamische weg is dan per definitie: $e = B_\phi Z - BG$

m.a.w.: de dynamische weg is de toename van de verticale afstand tussen massazwaartepunt en drukingspunt.

5.3 De aard van het evenwicht bij uitwendige belasting

Als een schip onverwachts door een kenterend moment wordt getroffen dan ontstaat een slingerbeweging, waarvan de differentiaalvergelijking luidt:

$$I_{xx} \ddot{\phi} = \sum M = -M_{ST(\phi)} - N_\phi \dot{\phi} - m_\phi \phi + M_{K(\phi)}$$

I_{xx} = het traagheidsmoment ten opzichte van de slingeras

N_ϕ = de dempingscoëfficiënt (deze zorgt ervoor dat de slingerbeweging vlugger of langzamer uitdempt).

m_ϕ = de schijnbare vergroting van het massa-traagheidsmoment (hydrodynamisch massa-traagheidsmoment).

Het dempingsmoment kan bij berekening van het statisch en dynamisch evenwicht worden verwaarloosd, zodat:

$$I_\phi \ddot{\phi} = M_{K(\phi)} - M_{ST(\phi)} \quad \text{waarin:} \quad I_\phi = I_{xx} + m_\phi$$

Afgeleid zal worden de volgende stelling:

Bij toename van de slagzij van n_1 tot n_2 is de toename van de kinetische energie gelijk aan de arbeid die verricht is door het totale moment dat op het schip werkt.

Integratie van de bovengenoemde vergelijking geeft:

$$\int_{\phi_1}^{\phi_2} I_\phi \ddot{\phi} d\phi = \int_{\phi_1}^{\phi_2} M_{K(\phi)} d\phi - \int_{\phi_1}^{\phi_2} M_{ST(\phi)} d\phi$$

Nu weten we bij definitie dat: $\dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt}$ en $\ddot{\phi} = \frac{d\dot{\phi}}{dt}$

en door herschrijven van de integraal met: $\frac{d\phi}{dt} d\phi = d\phi \frac{d\phi}{dt} = d\phi \cdot \dot{\phi}$

volgt nu voor de integraal $\int_{\phi_1}^{\phi_2} I_\phi \ddot{\phi} d\phi$ de volgende uitdrukking:

$$\int_{\phi_1}^{\phi_2} I_\phi \ddot{\phi} d\phi = \int_{\phi_1}^{\phi_2} I_\phi \frac{d\dot{\phi}}{dt} d\phi = \int_{\phi_1}^{\phi_2} I_\phi \dot{\phi} d\phi = \left[\frac{1}{2} I_\phi \dot{\phi}^2 \right]_{\phi_1}^{\phi_2} = \frac{1}{2} I_\phi (\dot{\phi}_2^2 - \dot{\phi}_1^2)$$

Welke laatste term de toename van de kinetische energie voorstelt in slingeren tussen n_1 en n_2 .

Nemen we nu als uitgangspunt van onze beschouwing dat het schip oorspronkelijk in rust verkeert bij de hoek n_1 , dan geldt dat $\dot{\phi} = 0$ (hoeksnelheid = 0). Dan wordt de grootte van de kinetische energie

van het systeem bij n_2 : $E = \frac{1}{2} I_\phi \dot{\phi}_2^2$

en dus wordt: $\frac{1}{2} I_{\varphi} \dot{\varphi}_2^2 = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi$ hetgeen de stelling bewijst.

Uit de fysica is bekend dat de maximale uitwijking bereikt wordt als de snelheid gelijk is aan nul. Hier geldt dus: bij $\dot{\varphi} = 0$. Dan is de kinetische energie dus minimaal en de potentiële energie maximaal. Er is dan sprake van een dynamisch evenwicht.

De slinger beweging van een massa-veersysteem is maximaal als de hoeksnelheid gelijk is aan nul. Dus als: $\dot{\varphi} = 0$

Dan is $E = 0$, aangezien ofwel: $E = \frac{1}{2} I_{\varphi} \dot{\varphi}_2^2$ ofwel: $E = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi = 0$

dus er is dynamisch evenwicht als: $\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi$

De aard van het evenwicht wordt bepaald door het teken van de tweede afgeleide, dus de versnelling $\ddot{\varphi}$ bij de maximale hoek $\varphi = \varphi_2$.

Uit de bewegingsvergelijking volgt voor $\ddot{\varphi}$: $\ddot{\varphi} = \frac{1}{I_{\varphi}} \{M_{K(\varphi)} - M_{ST(\varphi)}\}$

Het teken van de versnelling bepaalt nu de aard van het evenwicht. En wel als volgt:

1^e evenwicht stabiel $\ddot{\varphi}_2 < 0$

2^{de} evenwicht instabiel (labiel) $\ddot{\varphi}_2 > 0$

3^{de} evenwicht indifferent $\ddot{\varphi}_2 = 0$

Invullen levert dus als voorwaarden voor de aard van het dynamisch evenwicht:

1^e $M_k < M_{st}$ stabiel

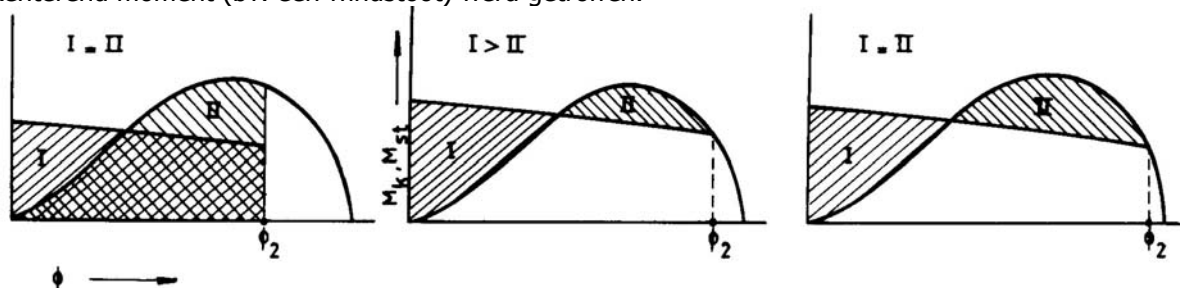
2^e $M_k > M_{st}$ instabiel (labiel)

3^e $M_k = M_{st}$ indifferent

In de figuur 5.6 zijn deze verschillende situaties getekend, waarbij dus eerst voldaan is aan de voor-

waarde dat: $\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi$

en vervolgens bepaalt $M_k < M_{st}$ of $M_k > M_{st}$ de aard van het evenwicht in dat punt. De hoek n_1 is hier eenvoudigheidshalve als $n_1 = 0$ beschouwd, dat wil zeggen: het schip lag recht op toen het door het kenterend moment (bv. een windstoot) werd getroffen.



figuur 5.6

$$\int_0^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi < \int_0^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi$$

$M_k < M_{st}$ voor $n = n_2$
dynamisch stabiel

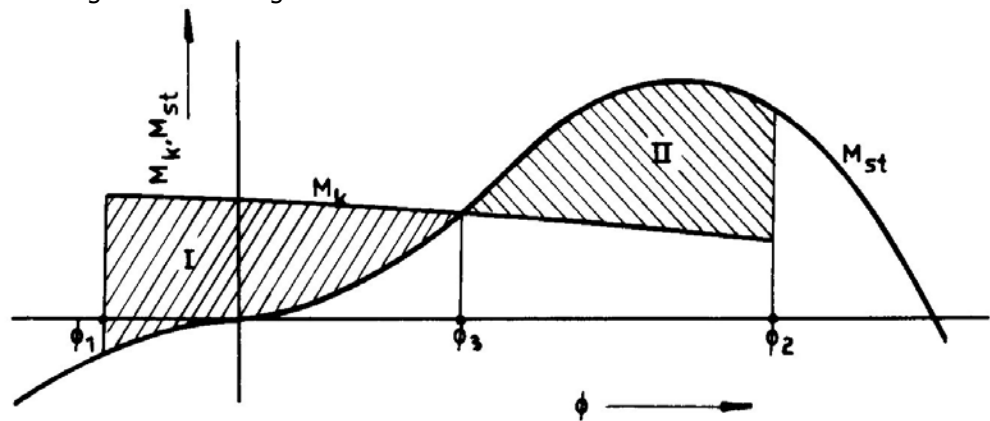
$$\int_0^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi > \int_0^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi$$

geen dynamisch evenwicht
bij $n = n_2$

$$\int_0^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi = \int_0^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi$$

$M_k = M_{st}$ voor $n = n_2$
dynamisch indifferent

Bij stabiliteitsvoorschriften, in het bijzonder ten aanzien van windbelasting, komt het voor dat er rekening gehouden moet worden met een helling naar "de verkeerde kant" op het moment dat het schip door een windstoot wordt getroffen. Zie figuur 5.7.



figuur 5.7

Uit de voorwaarde dat:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi$$

d.w.z.. Opp 1 = Opp II volgt nu dat de hoek waarbij dynamisch evenwicht zal optreden aanzienlijk groter wordt, omdat het schip een "langer traject" aflegt waarin energie opgebouwd wordt en er bovendien een stuk is waar M_K en M_{ST} "samenwerken" (nl. voor $\varphi < 0$).

Als de inschakelverschijnselen niet meer van belang zijn, bv. bij een lang werkend kenterend moment, bekijken we het stationair evenwicht. Bij dit evenwicht is de versnelling gelijk aan nul en dus de snelheid $\dot{\varphi}$ maximaal. Dan is dus ook de kinetische energie van het slingerende massa-veersysteem maximaal.

Kijken we naar de oorspronkelijke bewegingsvergelijking dan blijkt:

$$I_{\varphi} \ddot{\varphi} = M_{K(\varphi)} - M_{ST(\varphi)} = 0, \text{ omdat } \ddot{\varphi} = 0 \text{ en dus } M_{K(\varphi)} = M_{ST(\varphi)}.$$

Dit vinden we ook door de vergelijking voor de kinetische energie te beschouwen, immers:

$$E = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{K(\varphi)} d\varphi - \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_{ST(\varphi)} d\varphi = \frac{1}{2} I_{\varphi} \dot{\varphi}_2^2$$

Voor maximale kinetische energie geldt dan: $\frac{dE}{d\varphi} = 0$ (extreem als 1^e afgeleide = 0)

ofwel: $M_{K(\varphi)} - M_{ST(\varphi)} = 0$

$$M_{K(\varphi)} = M_{ST(\varphi)}$$

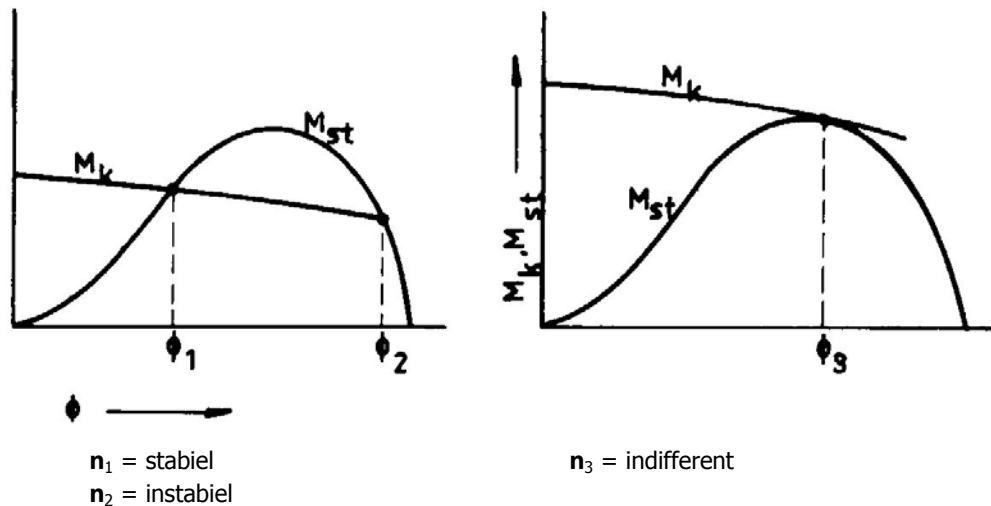
De aard van het evenwicht volgt dan uit het teken van de 2^{de} afgeleide:

$$\frac{d^2 E}{d\varphi^2} = \frac{d M_{K(\varphi)}}{d\varphi} - \frac{d M_{ST(\varphi)}}{d\varphi}$$

$$\frac{d^2 E}{d\varphi^2} < 0 \Rightarrow \frac{d M_{K(\varphi)}}{d\varphi} < \frac{d M_{ST(\varphi)}}{d\varphi} \rightarrow \text{stabiel}$$

$$\frac{d^2 E}{d\varphi^2} > 0 \Rightarrow \frac{d M_{K(\varphi)}}{d\varphi} > \frac{d M_{ST(\varphi)}}{d\varphi} \rightarrow \text{instabiel}$$

Deze gevallen zijn weergegeven in figuur 5.8



figuur 5.8

5.4 Het slingeren in vlak water

De slingerperiode bij kleine slingerhoeken

Krijgt het schip door een of andere oorzaak in vlak water een kleine slagzij dan zal (na het weghalen van de verstoring) het schip om zijn evenwichtstand gaan slingeren. We veronderstellen daarbij een positieve GM, zodat het schip in de evenwichtstand rechtop ligt en een positief (herstellend) stabiliteitsmoment heeft.

Zoals we al eerder gezien hebben luidt de bewegingsvergelijking van zo'n bewegend systeem zonder externe verstoring (kenterend moment):

$$I_{xx} \ddot{\phi} = -M_{ST}(\phi) - N_{\phi} \dot{\phi} - m_{\phi} \ddot{\phi} \quad \text{waarin:} \quad \begin{aligned} I_{xx} &= \text{massatraagheidsmoment} \\ M_{ST} &= \text{stabiliteitsmoment} \\ N_{\phi} &= \text{damping in slingeren} \\ m_{\phi} &= \text{toegevoegde massa in slingeren} \end{aligned}$$

Het gaat hier nu om de bepaling van de eigen periode in slingeren. Gaan we hierbij uit van kleine bewegingen om de evenwichtssituatie dan kan de damping verwaarloosbaar worden.

Dus: $N_{\phi} = 0$

Bovendien geldt dan voor het stabiliteitsmoment: $M_{ST} = \rho g \nabla GM \sin \phi$

of: $M_{ST} = \rho g \nabla GM \phi$

Dan wordt de bewegingsvergelijking: $(I_{xx} + m_{\phi}) \ddot{\phi} + \rho g \nabla GM \phi = 0$

De term $(I_{xx} + m_{\phi})$ wordt het schijnbare of totale massatraagheidsmoment van het schip genoemd. Veelal wordt de grootte "traagheidsstraal" k_{ϕ} [m] gebruikt welke als volgt is gedefinieerd:

$$k_{\phi}^2 = \frac{I_{\phi}}{\rho \nabla}$$

Substitutie in de eerdere vergelijking levert dan:

$$(k_{\phi}^2 \ddot{\phi} + g GM \phi = 0 \quad \text{of:} \quad \ddot{\phi} + \omega_{\phi}^2 \phi = 0$$

$$\text{waarin:} \quad \omega_{\phi}^2 = \frac{g GM}{k_{\phi}^2} \quad \text{of:} \quad \omega_{\phi} = \sqrt{\frac{g GM}{k_{\phi}^2}}$$

Dit in analogie met de algemene oplossing voor de eigenfrequentie van een massa-veersysteem, waar-

voor we eerder gezien hebben dat: $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$

waarin: $c = \text{veerconstante [N/m]}$
 $m = \text{massa [kg]}$

Het schip zal dus gaan slingeren in zijn eigen periode, welke aan de cirkel frequentie gerelateerd is door:

$$\omega_{\varphi} T_{\varphi} = 2\pi \quad \text{ofwel:} \quad T_{\varphi} = \frac{2\pi}{\omega_{\varphi}}$$

Dit geeft: $T_{\varphi} = \frac{2\pi k_{\varphi}}{\sqrt{g GM}}$

De grootte van de traagheidsstraal moet voor elk schip berekend worden en hangt af van het type schip en zijn belading.

en dan wordt: $T_{\varphi} = \frac{0.8 B}{\sqrt{GM}}$ omdat: $\pi \approx \sqrt{g}$

Voor "normale" vrachtschepen geldt als een goede benadering : $k_n = 0.38 B$ [5.1], [5.2] en [5.3]

	k_n
vracht- en passagiersschepen	0.35 - 0.45 B
zeiljachten	0.55 - 0.65 B
pontons	0.45 - 0.55 B

De waarde van k_n zou met een slingerproef te bepalen zijn als GM bekend is. Hiertoe brengt men het schip aan het slingeren door een groep mensen heen en weer te laten lopen over het dek of door een "stoot" te geven met het roer. Door de slingerperiode te meten (middelen over een zo groot mogelijk aantal) kan nu met de bekende T_n en GM k_n bepaald worden.

Omgekeerd kan zo'n slingerproef ook gebruikt worden om GM te benaderen als we k_n bekend veronderstellen. Immers uit de gegeven benaderingsformule kan met de gemeten T_n en bekende k_n nu GM bepaald worden. Deze aanpak wordt aan boord vaak gebruikt om een schatting van GM te maken. Uit de theorie van de scheepsbewegingen is bekend dat het schip, varende in golven, hoofdzakelijk slingert in zijn eigen frequentie. Door die te meten is dan GM te benaderen.

De slingerperiode bij grote slingerhoeken

Voor grote slingerhoeken kan de gebruikte benadering voor het stabiliteitsmoment niet meer gebruikt worden, maar kunnen we de benadering van Scribanti gebruiken, ofwel:

$$M_{ST} = \rho g \nabla (GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \varphi) \sin \varphi$$

Een goede benadering voor de slingerperiode is dan volgens bv. Robb [5.4]

$$\frac{T}{T_{\varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{3 BM}{8 GM} \varphi_a^2}}$$

waarin T_n de slingerperiode is bij kleine hoeken, zoals eerder gegeven.

De slingerperiode is nu ook een functie van BM en de slinger amplitude. Dit houdt dus in dat de slingerperiode afhankelijk is geworden van de beginvoorwaarden.

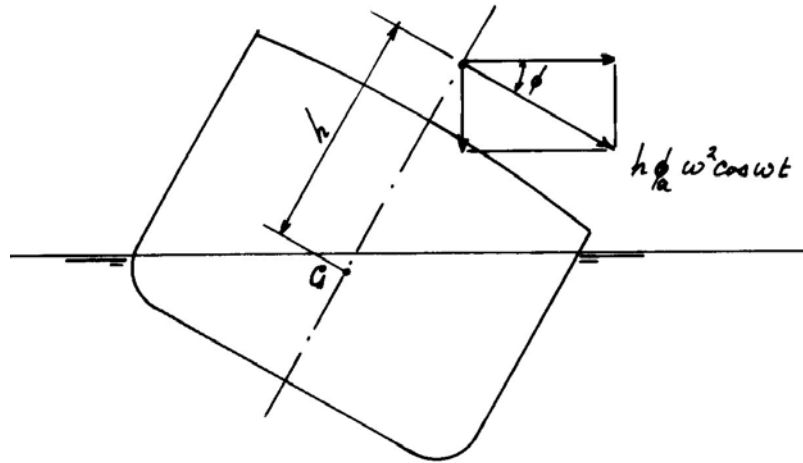
Versnellingen als gevolg van de slingerbeweging

Voor het bepalen van de versnellingen welke bij de slingerbeweging optreden beperken we ons meestal tot een harmonische slingerbeweging bij de eigen frequentie:

$$\varphi = \varphi_a \cos \omega t, \quad \text{waarin} \quad \omega = \frac{2\pi}{T_{\varphi}}$$

De lineaire tangentiële versnelling van een punt op een hoogte h boven G bedraagt:

$$\varphi h \quad \text{of} \quad -h \varphi_a \omega^2 \cos \omega t, \quad \text{zie figuur 5.9}$$



figuur 5.9

De horizontale en verticale componenten zijn respectievelijk:

horizontaal: $-h \varphi_a \omega^2 \cos \omega t \cos \varphi$

verticaal: $-h \varphi_a \omega^2 \cos \omega t \sin \varphi$

Als $\mathbf{n} = \mathbf{n}_a$ en als $\cos \mathbf{T} t = 1$, dan is dus de verticale versnelling gelijk aan de amplitude van de vertica-

le versnelling: $-h \varphi_a \frac{4\pi^2}{T_\varphi^2} \sin \varphi$

De slingerperiode heeft dus grote invloed op de verticale versnelling; hoe kleiner de periode hoe groter de versnelling. De amplitude van de verticale versnelling kunnen we ook schrijven als:

$$h \varphi_a \omega^2 = h \varphi_a \frac{g GM}{k_\varphi^2} = \frac{\varphi_a g}{c^2} \frac{h GM}{B}$$

namelijk met substitutie van: $\omega = \frac{2\pi}{T_\varphi}$, $T_\varphi = \frac{2\pi k_\varphi}{\sqrt{g GM}}$ en $k_\varphi = c B$

Bij dezelfde slingeramplitude en dezelfde hoogte h boven het massazwaartepunt is $\frac{GM}{B}$ een maat voor de optredende versnellingen.

In sommige gevallen is het voordelig een dimensieloze slingerperiode te gebruiken (Kempf).

Dan is: $T_K = T_\varphi \sqrt{\frac{g}{B}}$ per definitie of $T_K = 2.38 \sqrt{\frac{B}{GM}}$

Op dit punt zal worden teruggekomen in hoofdstuk 8: "Dwarsscheepse stabiliteit (beoordeling)".

De versnellingen zijn verder van belang vanwege zeeziekteproblemen, die op kunnen treden bij passagiers en bemanning en de optredende traagheidskrachten bij bijvoorbeeld containers en het dimensioneren van containersjorings. Bovendien spelen versnellingen een rol bij het overgaan van lading. (graan, kolen, erts, enz.)

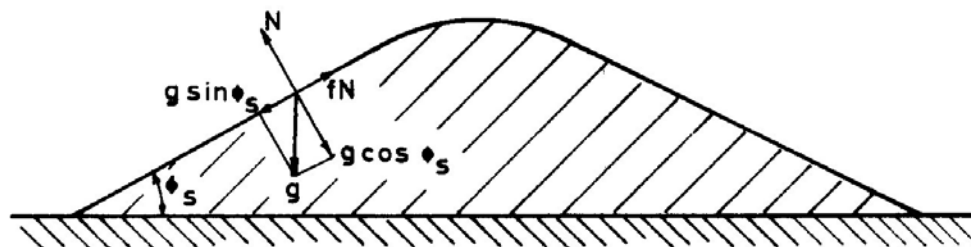
Statische en dynamische taludhoek

Bij gestorte lading is de mogelijkheid aanwezig dat ten gevolge van het slingeren van het schip de lading "overgaat" (verschuift naar de lage kant).

Los gestort materiaal neemt een hoek n_s (statische taludhoek). Hierbij is evenwicht tussen de wrijvingskracht en de tangentiële component van de zwaartekracht:

$$W = f N \quad N = mg \cos n_s \quad \text{evenwicht als: } f mg \cos n_s = mg \sin n_s$$

hieruit kan afgeleid worden dat: $f = \tan n_s$
zie figuur 5.10.



figuur 5.10

n_s is een materiaalconstante, afhankelijk van de grootte der korrels of brokken en de vochtigheidsgraad. Voor de volgende materialen geldt:

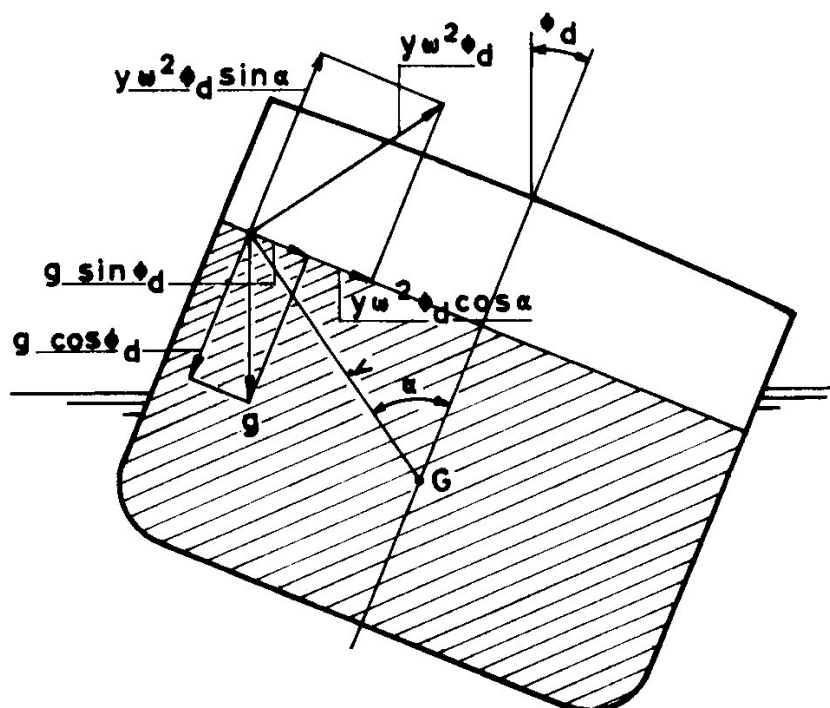
	n_s		n_s
graan	25° à 35°	zand, grind, leem	30° à 45°
kolen	30° à 45°	erts	30° à 50°
cokes	35° à 50°	hoogovenslakken, steenzout	35° à 50°

Bij een slingerend schip gaat de lading schuiven als de dynamische taludhoek n_d wordt overschreden. De slingerbeweging is gegeven door:

$$\Phi = \varphi_a \cos \omega t$$

Als $n = n_a$ zijn hoek en hoekversnelling beide maximaal: $\varphi = \omega^2 \varphi_a$

De lineaire versnelling op een afstand y van G bedraagt: $y \omega^2 \varphi_a$, zie figuur 5.11



figuur 5.11

We berekenen voor die toestand de dynamische taludhoek n_D

De normaal component van de versnelling in het punt (y, ") is:

$$g \cos \varphi_D - y \omega_\varphi^2 \varphi_D \sin \alpha$$

hierin is: $y \omega_\varphi^2 \varphi_D$ de amplitude van de versnelling t.g.v. het slingeren.

De tangentiële component van de versnelling in het punt (y, ") is:

$$g \sin \varphi_D - y \omega_\varphi^2 \varphi_D \cos \alpha$$

$$\text{Verschuiven treedt op als: } \frac{\text{normaal component}}{\text{tangentiële component}} = \frac{g \sin \varphi_D + y \omega_\varphi^2 \varphi_D \cos \alpha}{g \cos \varphi_D - y \omega_\varphi^2 \varphi_D \sin \alpha} = \tan \varphi_s$$

waarin: n_s = statische taludhoek

Uitgewerkt en met enige benaderingen geeft dit:

$$\varphi_D = \frac{\varphi_s}{1 + \frac{4y}{T_\varphi^2} \cos(\alpha - \varphi_s)} \quad (y \text{ in meters en } T_n \text{ in seconden})$$

dus: $n_D < n_s$

n_D kleiner naarmate y groter,
 T_n kleiner
 n_s kleiner.

Ten gevolge van de slingerbeweging en door de versnellingen ten gevolge van de stampbeweging kan de dynamische taludhoek ongeveer 2/3 van de statische taludhoek bedragen.

De statische taludhoek (angle of repose) wordt in de praktijk bepaald met behulp van de zogenaamde "tilting box", zie ook de "Code of safe practice for solid bulk cargoes" van IMCO. [5.7]

Bepaling van de stabiliteit

De kromme van armen van statische stabiliteit is zeer geschikt voor de beoordeling van de stabiliteit van een schip of een andere drijvende constructie.

De kromme van armen wordt enerzijds bepaald door de hoogteligging van het gewichtszwaartepunt (KG), anderzijds door de scheepsvorm, waterverplaatsing, trim, enz., d.w.z. door hydrostatische of geometrische grootheden.

In het algemene geval is de berekening van de stabiliteit van een vaartuig zeer gecompliceerd, omdat:

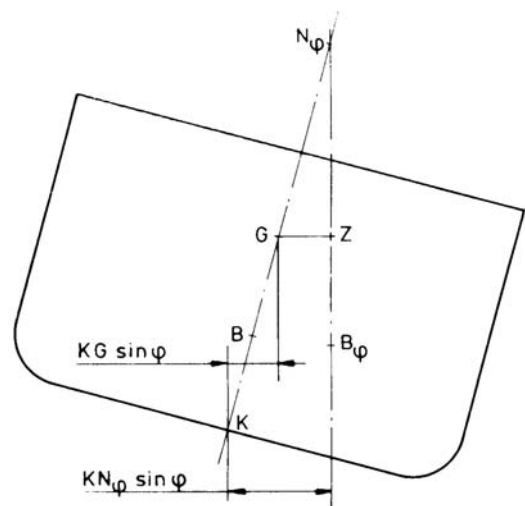
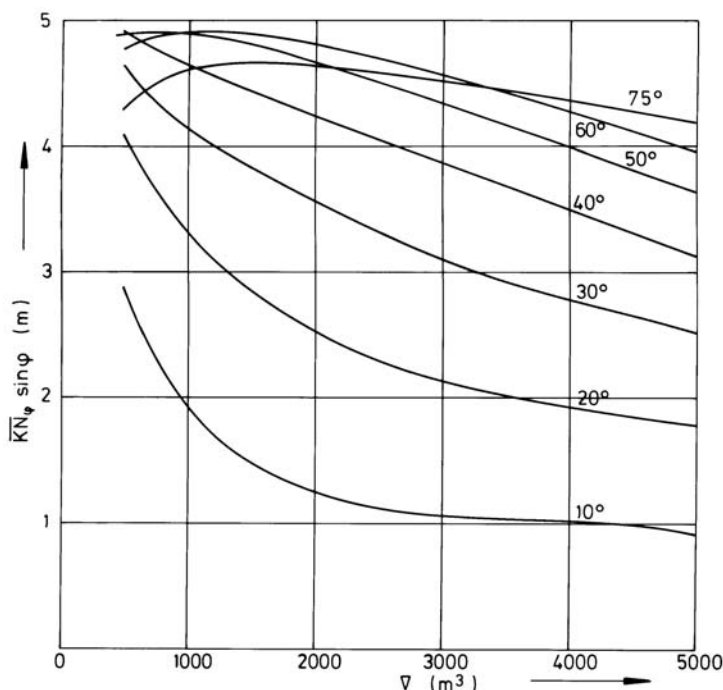
- het schip vaart en daardoor eigen golven opwekt;
- er meestal geen vlak water is maar golven waardoor het schip beweegt;
- er een zeer groot aantal beladingstoestanden is met de daarbij behorende diepgang en trim;
- er bij helling meestal verschuiving van het drukingspunt in langsscheepse richting optreedt, zodat er ook sprake is van trimverandering.

Bij "normale" schepen wordt de stabiliteitsberekening daarom sterk vereenvoudigd, namelijk:

- stilliggend schip;
- in vlak water;
- een beperkt aantal representatieve beladingstoestanden, zoals:
 - leeg schip, homogeen beladen bij vertrek en aankomst, ballast bij vertrek en aankomst;
 - eventueel aangevuld met hout, container en graan beladingstoestanden en andere interessante condities (hopper half beladen, enz.);
- initiële trim en vertrimming tijdens hellen buiten beschouwing gelaten.

5.5 Dwarskrommen van stabiliteit

De vorm waarin de berekeningsresultaten worden opgesteld en welke geschikt is om bij allerlei beladingstoestanden gebruikt te worden is de zogenaamde dwarskrommen van stabiliteit (ook wel "cross curves of stability" of "pantocarènes" genoemd). In dit diagram worden de waarden van $\overline{KN}_\varphi \sin \varphi$ uitgestrookt als functie van de waterverplaatsing of het displacement voor een aantal hellingshoeken, zie figuur 5.12 en bijlage 3.



figuur 5.12

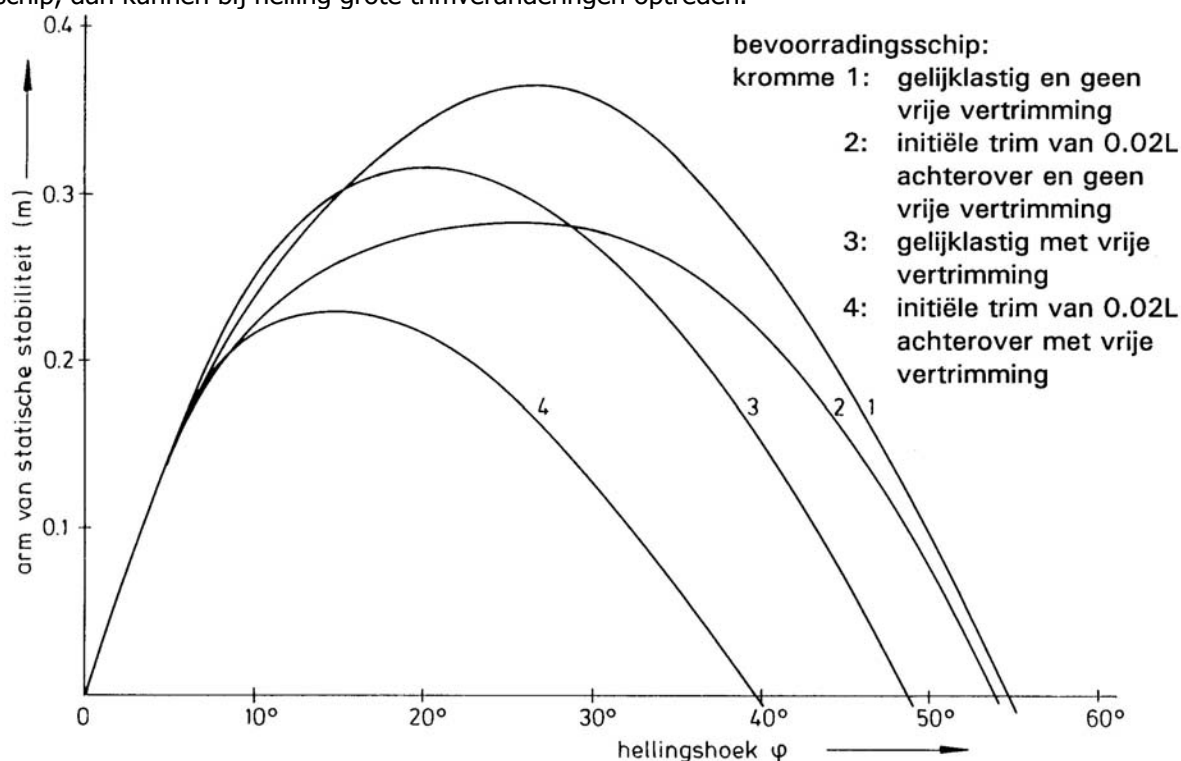
De arm van statische stabiliteit wordt gevonden door bij de desbetreffende waterverplaatsing $\overline{KN}_\varphi \sin \varphi$ uit de dwarskrommen af te lezen en daarna GZ_φ te bepalen volgens:

$$GZ_{\varphi} = KN_{\varphi} \sin \varphi - KG \sin \varphi$$

De zo gevonden kromme van armen van statische stabiliteit dient uiteraard in de oorsprong te raken aan een lijn waarvan de tangens van de helling gelijk is aan GM, zie ook Hst. 4.5.

In een aantal gevallen is de vereenvoudiging t.a.v. initiële trim en vertrimming tijdens hellen niet toelaatbaar. Het blijkt namelijk voor o.a. bevoorradingsschepen en visserijvaartuigen dat hierdoor de stabiliteit bij helling sterk beïnvloed wordt, zie figuur 5.13. [5.8]

Het zal duidelijk zijn dat nu bij elke hellingshoek de ligging van het schip moet worden vastgesteld. Het vertrimmen van een schip tijdens hellen wordt bepaald door de scheepsvorm. Bij een "Scribanti-schip" zal geen vertrimming optreden tijdens hellen van het schip (mits het dek niet in of de kim uit het water komt). Zijn daarentegen de spantvormen in voor- en achterschip zeer verschillend, zoals bijvoorbeeld bij supply-vessels met V-vormige spanten in het voorschip en zeer vlakke spanten in het achterschip, dan kunnen bij helling grote trimveranderingen optreden.



figuur 5.13

5.6 Planimetermethode

Voor het bepalen van de dwarskrommen van stabiliteit zijn een aantal methoden beschikbaar, waarbij het er steeds om gaat voor een aantal hellingshoeken en diepgangen de ligging van het drukingspunt te bepalen. Eén ervan is de planimetermethode van Middendorf-Liddell.

Het schip wordt, zoals in figuur 5.14 is aangegeven, door een aantal verticale vlakken, die loodrecht op $W_{\varphi}L_{\varphi}$ staan, verdeeld in een aantal schijven, waarvan de dikte niet gelijk hoeft te zijn.

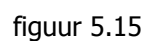
Met de planimeter wordt nu van elke ordinaat het oppervlak bepaald dat onder WL_{φ} en links van vlak I ligt; deze waarden worden op basis van de lengte uitgestrookt en numeriek geïntegreerd met de regel van Simpson. Het resultaat is de inhoud van de carène onder WL_{φ} en links van vlak I.

Evenzo worden de inhoud tot II, III en IV bepaald. Deze inhoud, naar beneden vanuit WL_{φ} uitgezet op de vlakken I, II, enz. en uitgestrookt, geven een kromme met als eindordinaat de inhoud van de gehele carène L_{φ} .

Het oppervlak tussen deze kromme, WL_{φ} en de eindordinaat is een maat voor het statisch moment van de carène t.o.v. de eindordinaat, immers dit:

De afstand van B_φ tot de eindordinaat is: $y_{B_\varphi} = \frac{\int_0^{\nabla_\varphi} y \, d\nabla}{\nabla_\varphi}$ dus $KN_\varphi \sin\varphi = k_\varphi = b_\varphi - y_{B_\varphi}$

De invloed van bovenbouwen op de stabiliteit is bij deze methode vrij eenvoudig te berekenen. Het is daarbij van belang de spantoppervlakken te bepalen met en zonder bovenbouw, zodat de waterverplaatsing tot aan de willekeurige eindschotten berekend kan worden, zie figuur 5.15.



5.15

Daarom zijn er na de komst van de moderne rekenapparatuur een aantal programma's verschenen waarmee de stabiliteitsberekeningen sneller maar vooral ook nauwkeuriger kunnen worden uitgevoerd. Tevens is de mogelijkheid geschapen om eventuele vertrimming door hellen, stabiliteit in golven, enz. in de berekeningen op te nemen.

5.7 * Benaderingsmethoden

In de loop van de tijd zijn vele benaderingsmethoden voor het bepalen van de stabiliteit ontwikkeld. Daarbij staat voorop in een vroeg stadium van het scheepsontwerp, als nog geen lijnenplan beschikbaar is, de stabiliteit met voldoende nauwkeurigheid te controleren.

In [5.14] worden een vijftiental methoden genoemd en op een tweetal scheepsvormen getest. Zeer goede resultaten worden geconstateerd met de methoden van Prohaska I [5.15] en Prohaska II [5.16]. In 1979 is de eenvoudigste Prohaska I methode verbeterd door H.E. Guldhammer [5.17]. Deze methode geldt slechts voor bepaalde scheepsvormen.

Methode Guldhammer

Deze methode berust op de volgende overwegingen:

$$M_{ST} = \rho g \nabla (GM \sin \varphi + MN \sin \varphi)$$

metacentrum + toegevoegde stabiliteit
(residuary stability)

$MN \sin \varphi$ is dimensieloos te maken door de coëfficiënt of residuary stability in te voeren:

$$C_{rs} = \frac{MN_{\varphi} \sin \varphi}{BM}$$

Door veel scheepsvormen te analyseren zijn diagrammen opgesteld voor standaardwaarden van $c_B = 0.50$ en $c_M = 0.75$ met als variabelen T/B en D_{II}/B ; c_B en c_M bepaald bij de ontwerpdiepgang. Bij afwijkende waarden van c_B en c_M wordt C_{rs} gecorrigeerd m.b.v. de formule:

$$C_{rs} = C'_{rs} + m[(c_m - 0.75) - b(1 - c_m)(c_B - 0.50)]$$

waarin: C_{RS} de waarde voorstelt behorende bij de standaardwaarden van c_B en c_M volgens fig. 5.16;

m is een correctie coëfficiënt voor c_m ;

b is een correctie coëfficiënt voor c_B af te lezen uit figuur 5.17.

De holte D_{II} die in de diagrammen wordt gebruikt is bepaald door:

$$D_{II} = D_I + {}^aD_H + {}^aD_S$$

Hierin is D_I de holte gecorrigeerd voor de zeeg, aD_H is de correctie voor dekhuizen en aD_S is de correctie voor de opbouwen (bak en kampagne).

De stabiliteit wordt verder nog beïnvloed door het karakter van de scheepsvorm; de diagrammen zijn opgesteld voor een zogenaamde "normaal" vorm.

Bij U-vorm C_{rs} te verhogen met $+ 0.04 \sin N$,

bij V-vorm C_{rs} te verhogen met $- 0.04 \sin N$.

Bij toepassing van deze methode wordt aangeraden de originele publicatie er op na te slaan.

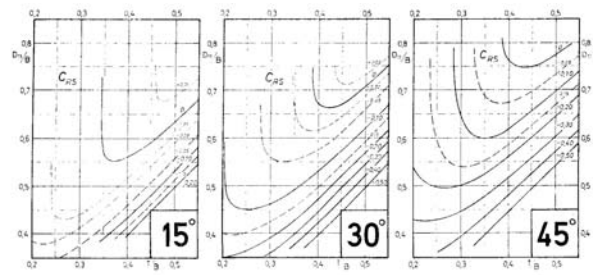


FIG. 5a.

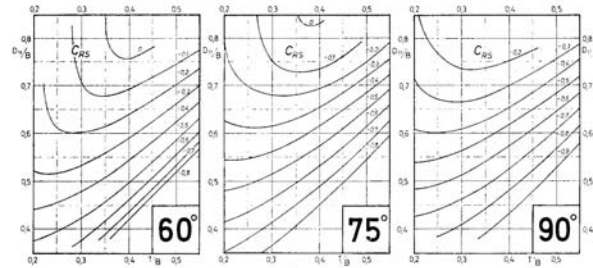


FIG. 5b.

figuur 5.16

FIG. 5. (a) and (b). C_{RS} -diagrams, giving the value C_{RS} for the coefficient at the standard conditions $\delta = 0.50$ and $\beta = 0.75$.

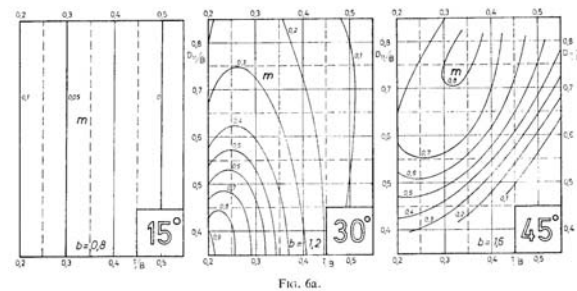


FIG. 6a.

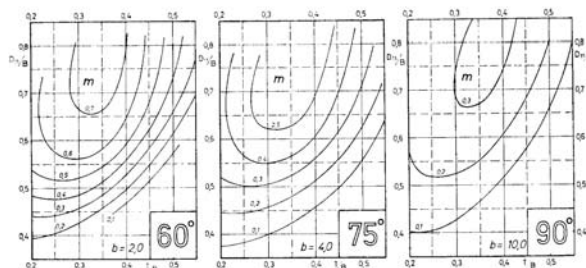


FIG. 6b.

figuur 5.17

FIG. 6. (a) and (b) m -diagrams, giving the value of the midship section correction coefficient m . The values of the fullness correction coefficient b are stated in the diagrams too. The coefficients m and b to be used by ships differing from standard values $\delta = 0.50$ and $\beta = 0.75$.

Benadering van KB en BM

Bij de toepassing van de methode Guldhammer zijn GM en BM nodig. Ook voor de beoordeling van de aanvangsstabiliteit zijn deze grootheden in een vroeg stadium van het ontwerp dringend gewenst. Afgezien van KG komt dit neer op de hydrostatische grootheden KB en BM.

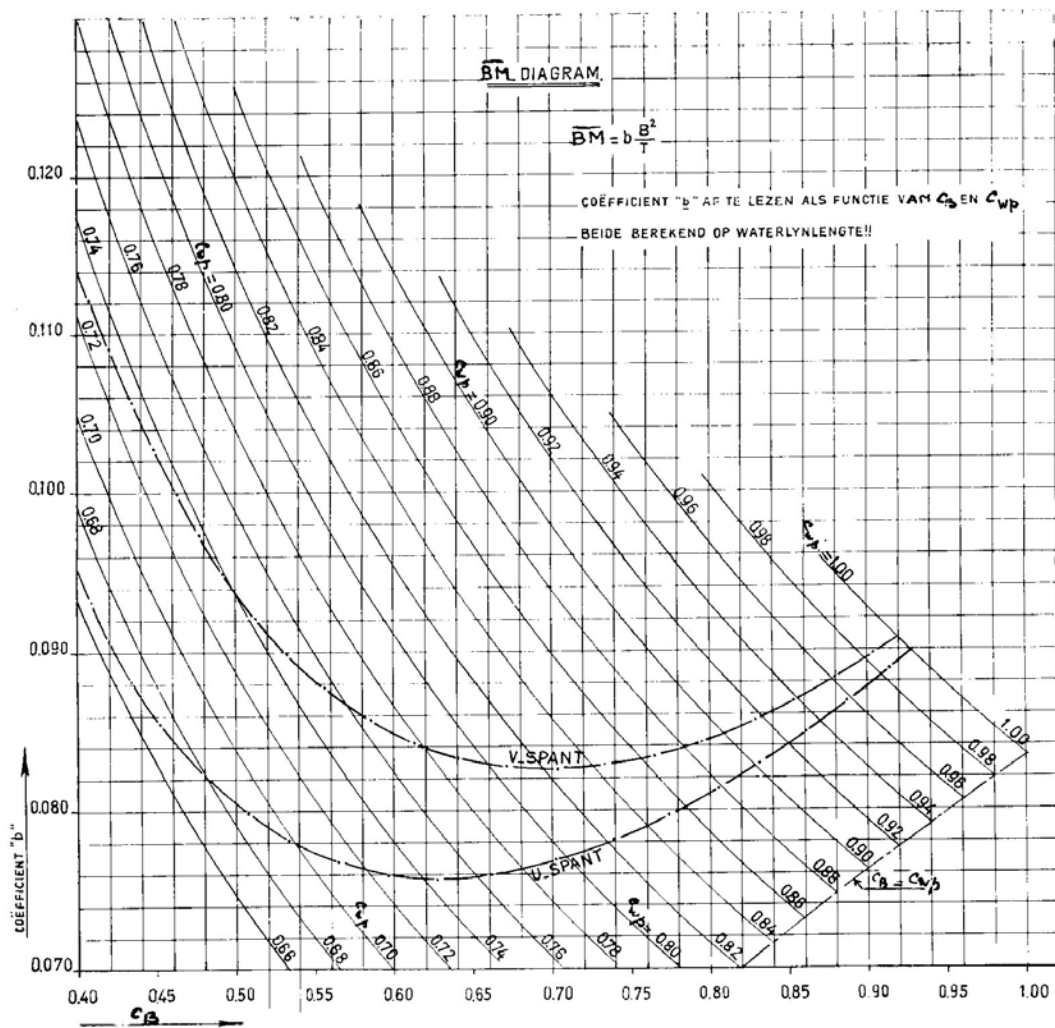
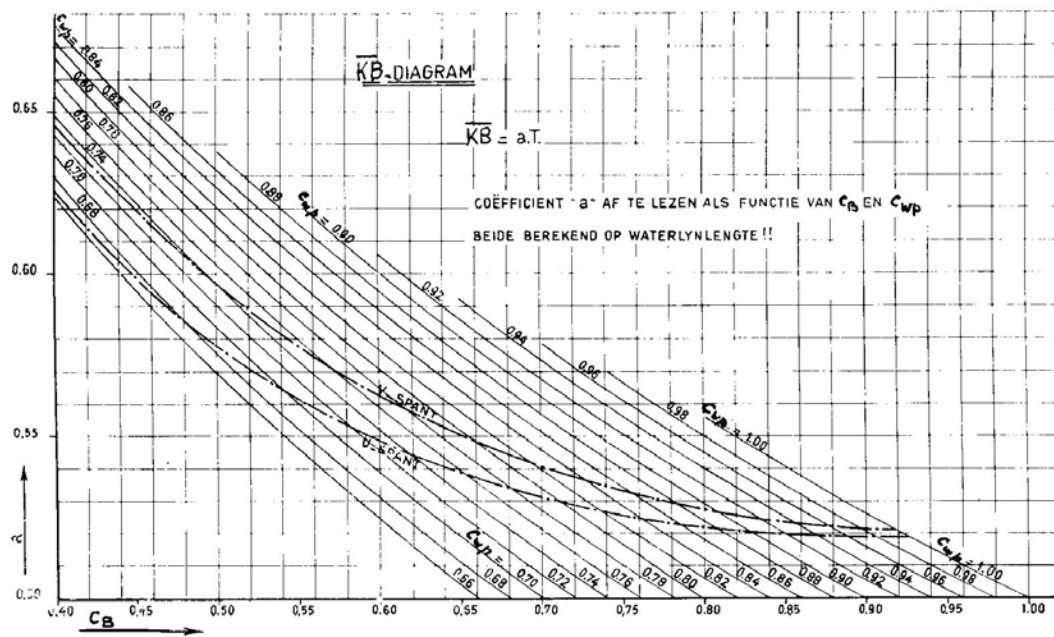
Als nog geen lijnenplan ter beschikking staat kunnen deze worden geschat met behulp van benaderingsformules. Wanneer geschreven wordt:

$$KB = a T \quad \text{en} \quad BM = b \frac{B^2}{T}$$

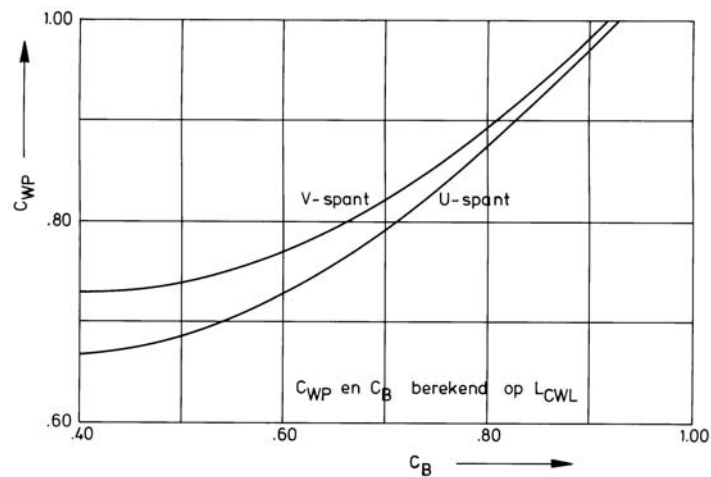
kunnen a en b ontleend worden aan de diagrammen van figuur 5.18 uit de publicatie van Lussenberg [5.18].

De waterlijncoëfficiënt kan geschat worden op basis van C_B met behulp van figuur 5.19.

De nauwkeurigheid van deze benaderingsformules en -methoden is betrekkelijk. Een geringe onnauwkeurigheid in KM en KG leidt reeds tot een grote onnauwkeurigheid in GM. Meestal is het daarom aan te bevelen snel een lijnenplan te ontwerpen en de belangrijkste hydrostatische grootheden nauwkeurig te bepalen.



figuur 5.18



figuur 5.19

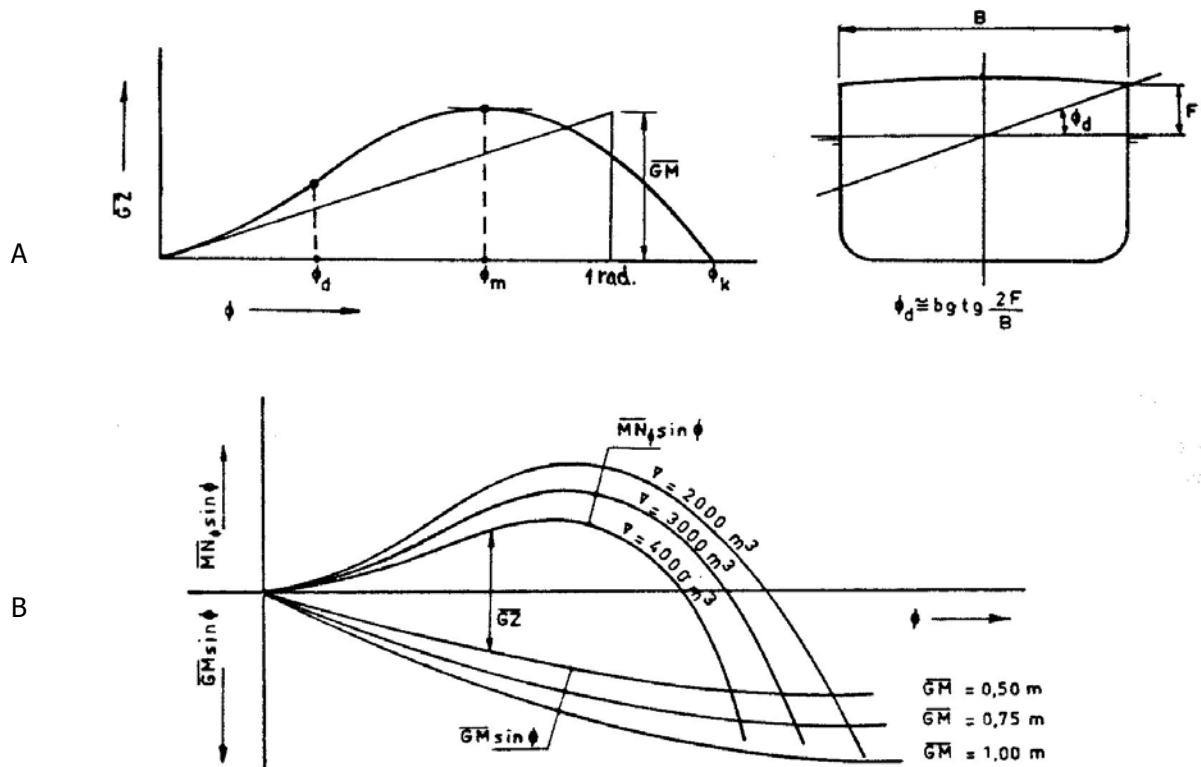
5.8 Het uitzetten van de kromme van armen van statische stabiliteit

De kromme van armen van statische stabiliteit voor één beladingstoestand kan direct op basis van de hellingshoek φ uitgezet worden, figuur 5.20 A.

Aanbevolen wordt de kromme van armen op zodanige schalen te tekenen dat 10° (horizontaal) overeenkomt met 0.20 m (verticaal). Een nadeel van het uitzetten van GZ is de afhankelijkheid van de hoogteligging van G. Bij één displacement kan KG verschillende waarden hebben, afhankelijk van de belading. Schepers en later Prohaska stelden daarom een presentatie voor waarbij dit bezwaar wordt overvragen en tevens voor meerdere beladingstoestanden de GZ-waarde door interpolatie kan worden bepaald, figuur 5.20 B.

De kromme $MN_\varphi \sin \varphi$ heeft een horizontale raaklijn voor $\varphi = 0$, want:

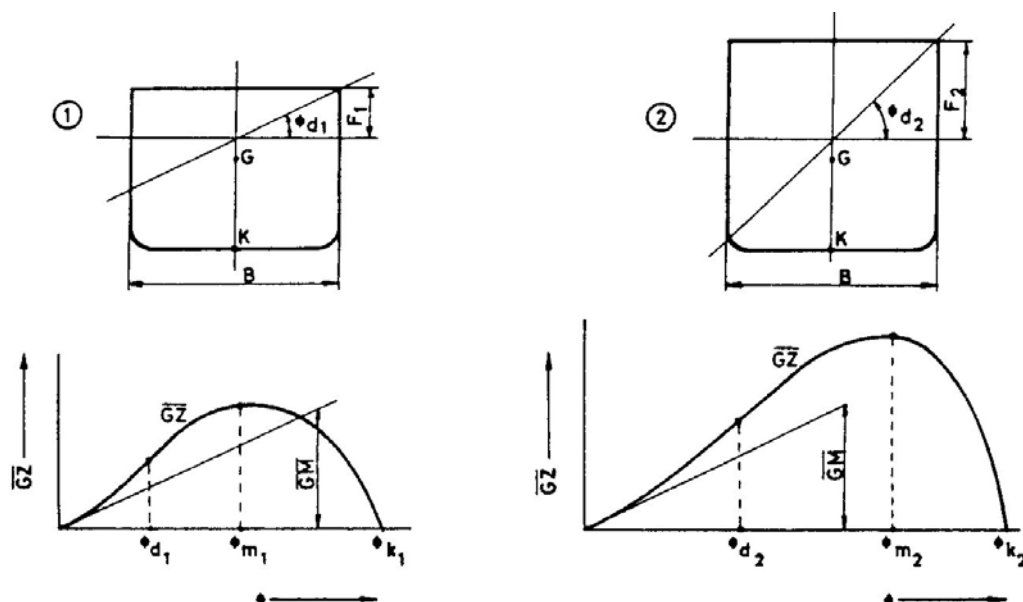
$$\lim_{\varphi \rightarrow 0} \frac{d MN_\varphi \sin \varphi}{d \varphi} = \lim_{\varphi \rightarrow 0} MN_\varphi = 0$$



figuur 5.20

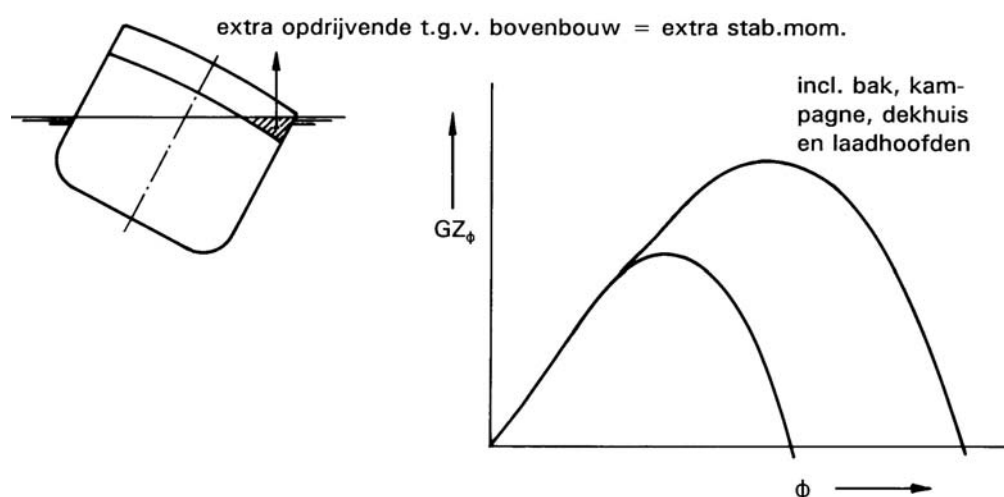
5.9 Invloed van vrijboord, laadhoofden, bovenbouwen, enz.

De kromme van armen van statische stabiliteit wordt sterk beïnvloed door de grootte van het vrijboord, zie figuur 5.21. Wanneer van twee gelijke schepen, maar met verschillend vrijboord, de kromme van armen worden vergeleken dan heeft het schip met het grootste vrijboord een grotere ϕ_D , een grotere GZ_{max} , een grotere omvang en een grotere dynamische weg. Kleine schepen hebben volgens de uitwateringsvoorschriften een relatief klein vrijboord, dus ϕ_D is klein. Om toch voldoende dynamische stabiliteit te bezitten moet GM dan relatief groot worden gekozen (met alle gevolgen van dien).



figuur 5.21

Ook de aanwezigheid van bovenbouwen (bak, brug, kampagne), dekhuisen en laadhoofden hebben grote invloed op de stabiliteit van het schip. Deze invloed is groter bij een kleiner vrijboord en bij de grotere hellingshoeken; de invloed van een brug is groter dan van de bak, enz. In figuur 5.22 is een voorbeeld gegeven van de kromme van armen van een KHV-vaartuig met bak, kampagne, dekhuis en laadhoofden vergeleken met de kromme waarbij deze niet in rekening zijn gebracht.



figuur 5.22

Onder bepaalde omstandigheden mogen opbouwen, laadhoofden, dekhuisen, enz. meegerekend worden in de stabiliteitsberekening. De voorwaarden, die daarbij gesteld worden, hebben te maken met de plaatsing van de openingen, waardoor water naar binnen zou kunnen stromen en de aanwezige middelen tot waterdichte afsluiting van deze openingen.

De bijdrage aan de stabiliteit van een houtdeklaag mag onder bepaalde voorwaarden worden meegerekend. Containers daarentegen worden niet als waterdicht beschouwd en mogen niet worden meegerekend.

5.10 De invloed van de voorwaartse snelheid op de stabiliteit (in vlak water)

Zoals in paragraaf 5.5 is vermeld wordt de stabiliteitsberekening als regel uitgevoerd voor het stilliggende schip in vlak water. Dit neemt niet weg dat verwacht moet worden dat het varende schip een andere aanvangsstabiliteit zal hebben dan het stilliggende. Dit speelt vooral een rol bij snelvarende schepen. Immers door de voorwaartse snelheid ontstaat een geheel andere drukverdeling langs de scheepsromp waardoor een golfsysteem ontstaat en het schip inzinkt en/of vertrimt. In het verleden zijn een aantal proeven uitgevoerd om de invloed van de voorwaartse snelheid op de aanvangsstabiliteit vast te stellen. Meestal wordt voor volle schepen een toename van de aanvangsstabiliteit gevonden, maar bij fijne schepen bij hoge snelheid een vermindering.

Figuur 5.23 toont de resultaten met modellen van containerschepen [5.24].

De modellen hadden de volgende blokcoëfficiënten, zie figuur 5.23 A:

model 149 $c_B = 0.500$ "fijn" model

model 150 $c_B = 0.538$ origineel

model 151 $c_B = 0.575$ "vol" model

de dienstsnelheid bedroeg: $Fn = 0.30$.

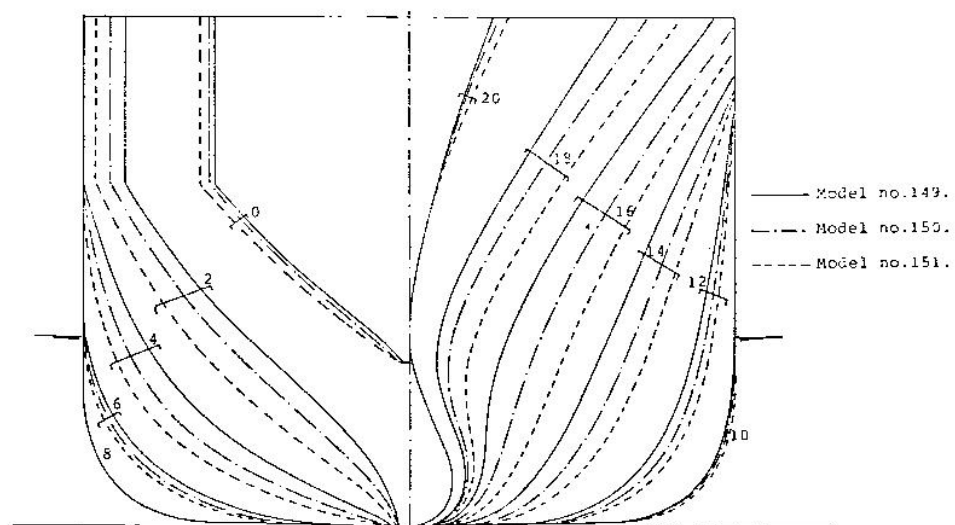


Fig. A.

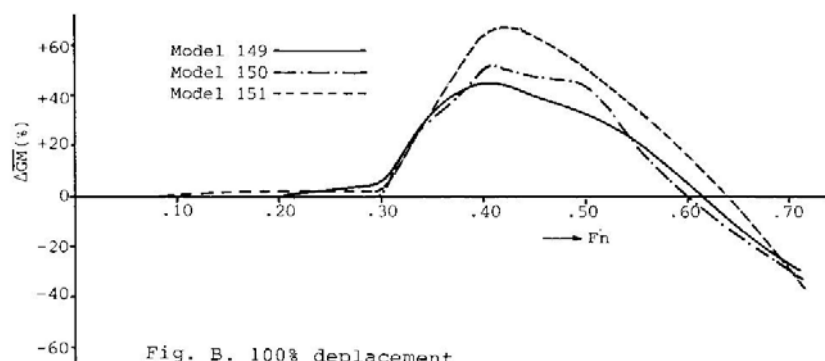


Fig. B. 100% displacement

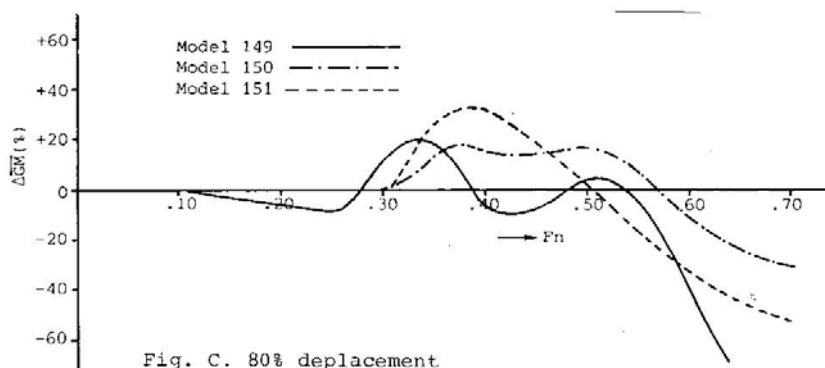
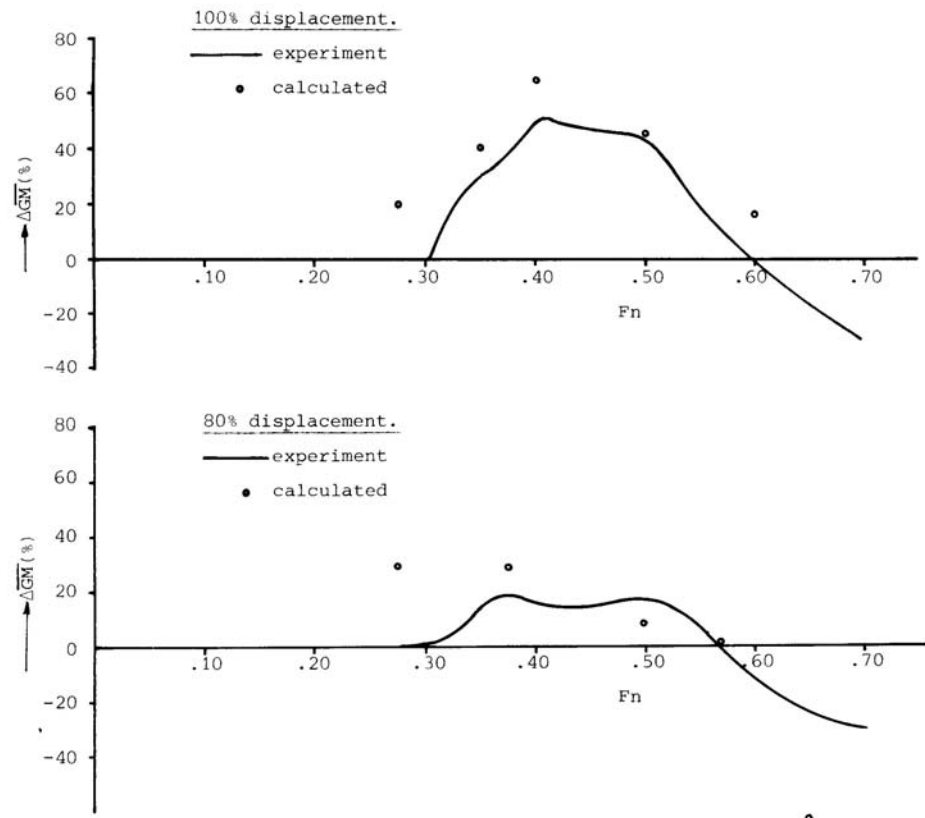


Fig. C. 80% displacement

figuur 5.23

In figuur 5.23 B zijn de resultaten gegeven bij 100 % displacement. Alle modellen vertonen een toename van de stabiliteit tot $F_n = 0.60$. In figuur 5.23 C zijn de resultaten gegeven bij 80% displacement. Daarbij blijkt model 149 een vermindering van stabiliteit te vertonen van ca. 10% GM bij snelheden lager dan de dienstsnelheid. Aan de hand van de opgemeten golfprofielen is verder getracht de stabiliteitsverandering d.m.v. berekening te voorspellen.

Figuur 5.24 geeft een vergelijking tussen gemeten en berekende waarden voor model 150 bij 100% en 80% displacement.



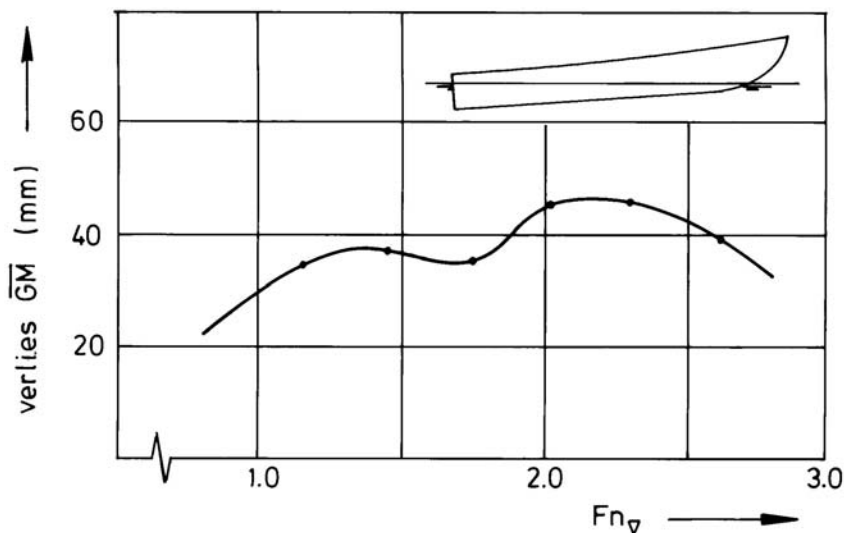
figuur 5.24

Planerende schepen

De afname van de dwarsscheepse stabiliteit, mogelijk leidend tot instabiliteit, van snelvarende planeerende motorschepen moet gezocht worden in de veranderende drukverdeling onder het schip als gevolg van de snelheid, waardoor het verticale evenwicht in afnemende mate door hydrostatische en in toenemende mate door hydrodynamische krachten bepaald wordt. Belangrijke parameters hierbij zijn deadrise, trim en helling.

In figuur 5.25 is het verlies aan aanvangsstabiliteit ten gevolge van planeergedrag gegeven voor een sleeptank model: $L_{pp} = 1.50$ m, $B_{wl} = 0.37$ m, $L = 27.34$ dm³. De figuur is ontstaan door bij iedere snelheid de vorm van het onderwaterschip te bepalen en hiermee een nieuwe waarde van GM uit te rekenen.[5.25 en 5.26]

Het Froudegetal is gegeven op basis van de inhoud van het schip:
$$Fn_{\nabla} = \frac{v}{\sqrt{g \nabla^{1/3}}}$$



figuur 5.25

Snelle rondspantschepen

In [5.27] hebben Marwood en Bailey dimensieloze minimale waarden gegeven voor de initiële aanvangsstabiliteit gedeeld door de diepgang (GM/T) verhoudingen als functie van B/T, waarbij nog een

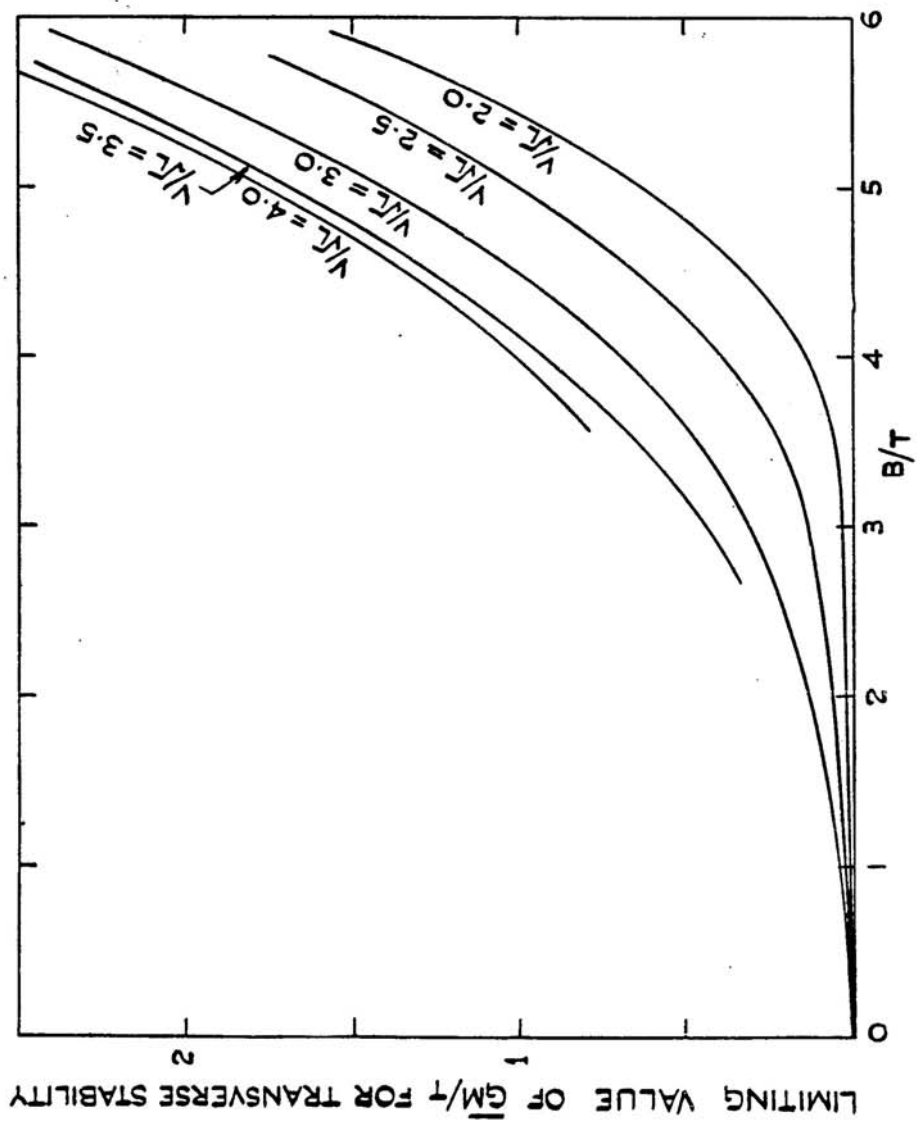
positieve stabiliteit verkregen wordt tijdens vaartcondities bij verschillende v/L verhoudingen. Hierbij is v in knopen en L is de waterlijnlengthe op ontwerpdiepgang in feet; zie figuur 5.26.

Zeiljachten

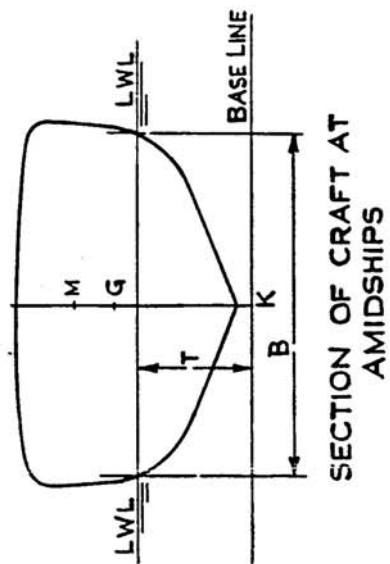
In figuur 5.27 is te zien hoe de arm van statische stabiliteit afneemt bij toenemende vaarsnelheid voor zeiljachten met hoge B/T verhoudingen. [5.28]

Let vooral op het grote verschil tussen de waarden van $GM \sin n$ (= GZ bij $n = 0$) en $GN \sin n$ (= GZ bij $n \rightarrow 0$), hetgeen duidelijk aangeeft hoe snel de arm van statische stabiliteit achteruit kan gaan, omdat bij helling de breedte van de waterlijn van deze brede en ondiepe schepen aanzienlijk zal afnemen, waardoor het breedtetraagheidsmoment van de waterlijn, BM en dus ook de arm van het stabiliteitsmoment sterk afneemt.

Met name model 31 zal bij helling voorover trimmen, vanwege het grote verschil van de spantvorm van het voor- en achterschip, waardoor het effect van de stabiliteitsafname nog verder versterkt wordt.

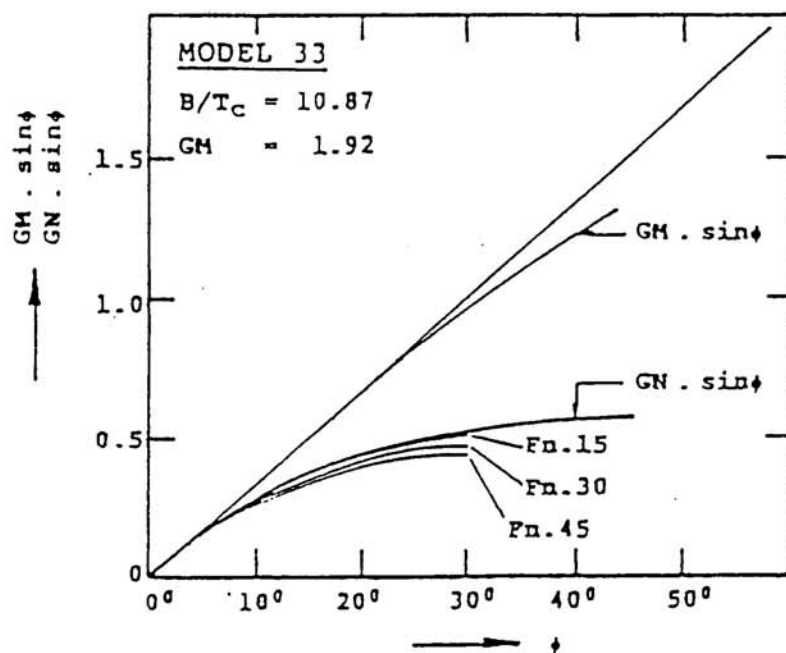
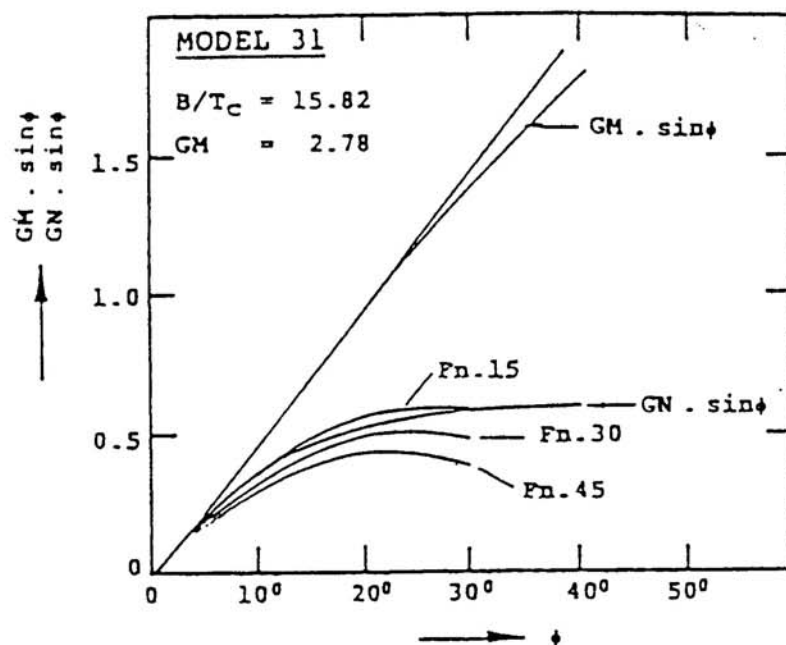
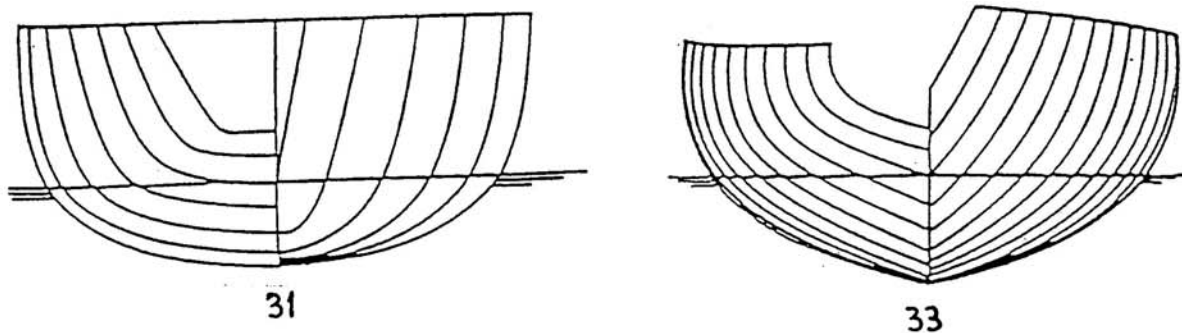


LIMITING $\overline{GM}$ FOR TRANSVERSE STABILITY



SECTION OF CRAFT AT
AMIDSHIPS

figuur 5.26



figuur 5.27

5.11 * Literatuur hoofdstuk 5

- [5.1] "Stabilitätsbeurteilung in der Praxis"
Seefisch, JSTG 1965 bl. 578 - 593
- [5.2] "Der Tragheitsdurchmesser bei Sonderschiffe"
H. Thode
Hansa 1965 bl. 2329 - 2333
- [5.3] "Stabilitäts- und Rollschwingsuntersuchungen mit Küsten-Motorschiffen"
J. Jens
Hansa 1964 bl. 1419 - 1425
- [5.4] "A note of rolling ships"
prof. A. M. Robb
TRINA 1958 bl. 396 - 406
- [5.5] "Über Rollschwingungen von Schiffen"
Dipl.ing. O. Krappinger
Hansa 1958 bl. 1876 - 1880
- [5.6] "Stabilitätsgrenzen für Schiffen"
G. Kempf
Schiffbau 1940 bl. 17
- [5.7] IMCO-resolutie A434
"Code of safe and practice for solid bulk cargoes"
IMCO, London, nov. 1979
- [5.8] "Stabiliteit van bevoorradingsschepen"
Ir. H. Vermeer
Schip en Werf 1979 No. 18, blz. 363 - 370
- [5.9] "Einige Gesichtspunkte beim Projektieren von schnellen Schiffe mit grosser Räume
Dipl. Ing. H. Langenberg
Hansa 1968, blz. 1653 - 1657
- [5.10] "Stabilitätsgünstige Schiffsformen"
Dipl. ing. H. Langenberg
Hansa 1969, blz. 1961 - 1963
- [5.11] "Stabilitätsbeziehungen bei trapezformigen Spanten"
C. von den Steinen
Schiffbau 1929, blz. 538 - 542 en 565 - 567
- [5.12] "The influence of hull shape on transverse stability"
Prof. R.K. Burcher
Naval architect 1979 blz. 111 - 128
- [5.13] "Beschrijving en toepassing van ALGOL-programma's voor hydrostatische berekeningen"
Ing. A. Versluis,
Rapport no. 282 van het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde
- [5.14] "Diagramme zur Ermittlung der beim Schiffsentwurf benötigten hydrostatischen Werte"
Dipl. ing. E.L. Weberling
New Ships 1975 Heft 1 blz. 11 - 35
- [5.15] "Residuary Stability"

Prof. C.W. Prohaska,
TINA 1947 blz. 342 - 375

- [5.16] "Results of some systematic stability calculations"
Prof. C.W. Prohaska
Trans. Inst. of Eng. & Shipb.in Scotland 1961, blz. 211 - 253
- [5.17] "C_{rs}-diagrams for design calculation of the stability of ships"
H.E. Guldhammer
Ocean Engiineering 1979 vol. 6 blz. 581 - 592
- [5.18] "Stabiliteitsbenadering in het ontwerpstadium"
L. Lussenburg,
Schip en Werf 1960 blz. 460 - 467
- [5.19] "Initial metacentric height of small seagoing ships and the inaccuracy and unreliability of calculated curves of righting levers"
Prof.ir. J.W. Bonebakker
I.S.P. 1957, no. 40 blz. 613 - 626
- [5.20] "Het experimenteel bepalen van de statische stabiliteitskromme"
Ir. J. Gerritsma
Rapport no. 48 van het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde
- [5.21] "Ein Stabilitätsindikator"
G. Kempf
Schiffbau 1913
- [5.22] "Schiffsmodel-Waage zur Messung der Längs-, Quer- und Leck-stabilität"
Prof.dr.ing. H. Völker
Schiffstechnik Bd. 7 - 1960 Heft 36, blz. 62 - 66
- [5.23] "Messung der Leckhebelarme am Schiffsmodell"
Prof.dr.ing. H. Völker Schiff und Hafen 1970, bl. 5 - 10
- [5.24] "The influence of forward speed on the initial transverse stability of a fast containership"
Prof.ir.J.A. Korteweg
Rapport no. 587 van het Laboratorium voor Scheepshydropneumica
Delft, maart 1983
- [5.25] "De dwarsscheepse stabiliteit van snelle V-spant motorboten"
5^e jaars cursuswerk J.B.M. Pieffers
Rapport no. 512-S van het Laboratorium voor Scheepshydropneumica
Delft, 1979
- [5.26] "De dwarsstabiliteit van snelle motorschepen"
afstudeerwerk J.B.M. Pieffers,
Rapport no. 512-S van het Laboratorium voor Scheepshydropneumica
Delft, april 1980
- [5.27] "Transverse stability of round-bottomed high speed craft underway"
W.J. Marwood and D. Bailey
report no. 98 of the National Physical Laboratory
Oct. 1968
- [5.28] "Sailing yacht performance in calm water and waves"
J. Gerritsma, J.A. Keuning and R. Onnink
report no. 925-P
12th International Symposium on Yacht Design and Construction, HISWA, November 199

6 Dwarsscheepse stabiliteit (toepassingen)

6.1 Inleiding

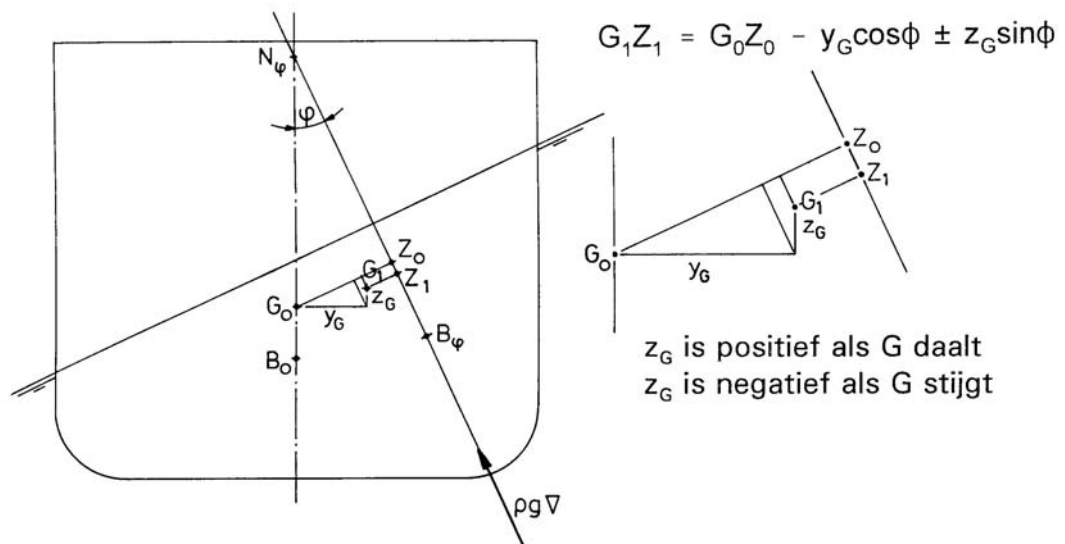
Bij verstoring van de evenwichtssituatie van een drijvend object is er sprake van verandering van de ligging van het zwaartepunt van het systeem en een verandering van de onderwatervorm van het object, waardoor de plaats van het drukingspunt verandert.

In veel gevallen zal m.b.v. de verschuivingswet de nieuwe plaats van het zwaarte- en drukingspunt bepaald kunnen worden.

Een aantal gevallen die aanleiding geven voor de verandering van de stabiliteit zullen behandeld worden:

- verplaatsen van gewichten
- overgaan van lading
- vloeibare lading
- waterovername
- windbelasting
- ijsafzetting
- aan de grond lopen
- bijzondere gevallen
- dokken

Ten gevolge van de verplaatsing van het massazwaartepunt van het systeem in dwarscheepse richting: y_G en in hoogte: z_G verandert de oorspronkelijke arm van statische stabiliteit.



figuur 6.1

Bij verplaatsing van vaste gewichten zijn y_G en z_G constanten, bij vloeibare lading, lekwater, enz. functies van ϕ . Wanneer verder geen uitwendige momenten optreden (wind bijv.) ontstaat evenwicht als:

$$G_1Z_1 = G_0Z_0 - y_G \cos \phi \pm z_G \sin \phi = 0$$

In figuur 6.2 is de kromme van armen van statische stabiliteit voor een schip gegeven en de reductie daarvan t.g.v. een verschuiving van het gewichtszwaartepunt in breedte en omhoog.

In figuur 6.3 wordt op een andere wijze getoond hoe de hellingshoek bepaald kan worden.

De excentrische ligging van het gewichtszwaartepunt (nml. verplaatst van G_0 naar G_1) veroorzaakt een kenterend moment:

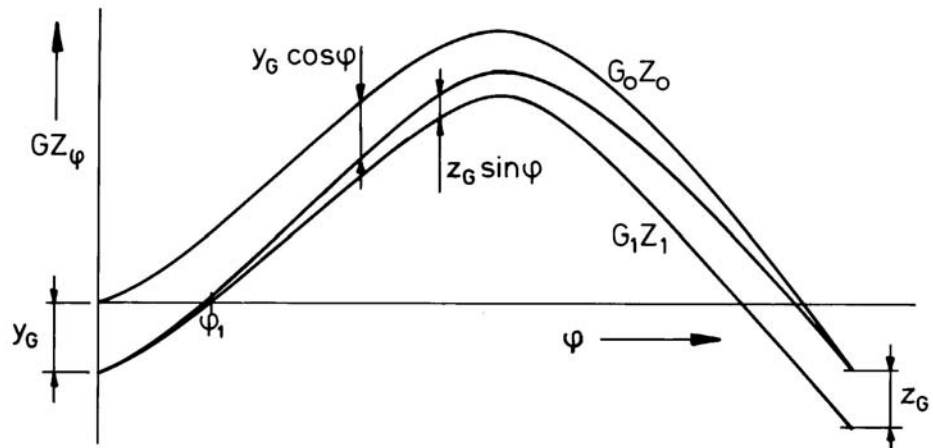
$$M_K = \text{gewicht} (y_G \cos \phi + z_G \sin \phi)$$

De verplaatsing van het drukingspunt (nml. verplaatst van B_0 naar B_ϕ) veroorzaakt een oprichtend moment; het zogenaamde stabiliteitsmoment:

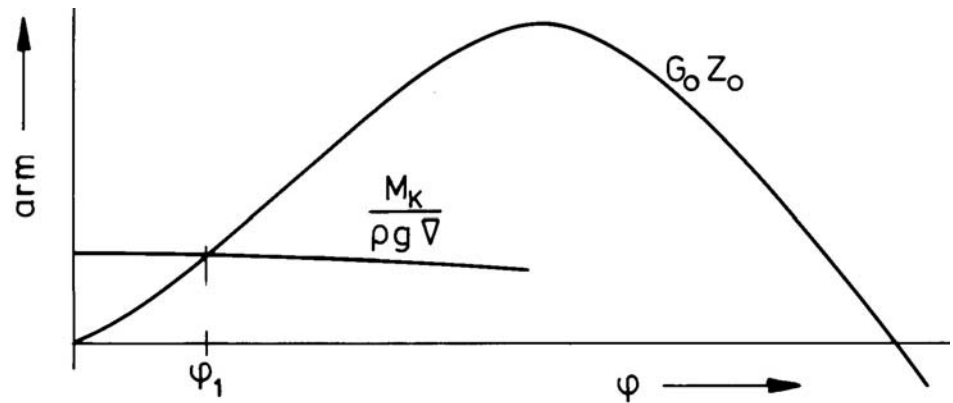
$$M_{ST} = DgL \ G_0 Z_0 = DgL \ G_0 N_\varphi \sin \varphi$$

Er is evenwicht als: $M_K = M_{ST}$ dus als: $G_0 Z_0 = y_G \cos \varphi + z_G \sin \varphi$

figuur 6.2



figuur 6.3



6.2 Verplaatsen van gewichten

Als een gewicht verplaatst wordt is m.b.v. de verschuivingwet de nieuwe plaats van het totale gewichtszwaartepunt te berekenen.

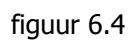
Veronderstel bijvoorbeeld dat een last op de dubbele bodem staat en buitenboord geplaatst moet worden m.b.v. een scheepskraan, zie figuur 6.4.

Op het moment dat de last los is van de tanktop en vrij kan slingeren, verplaatst het zwaartepunt van de last zich naar het topje van de kraan. Ten gevolge daarvan verplaatst het systeemzwaartepunt zich van G_0 naar G_1 :

$$G_0 G_1 = \frac{p h}{\Delta} = z_G$$

Bij het buitenboord zwenken verplaatst het zwaartepunt zich van G_1 naar G_2 :

$$G_1 G_2 = \frac{p b}{\Delta} = y_G$$


$$G_0 Z_0 = G_1 G_2 \cos \varphi + G_0 G_1 \sin \varphi = \frac{p b}{\Delta} \cos \varphi + \frac{p h}{\Delta} \sin \varphi$$

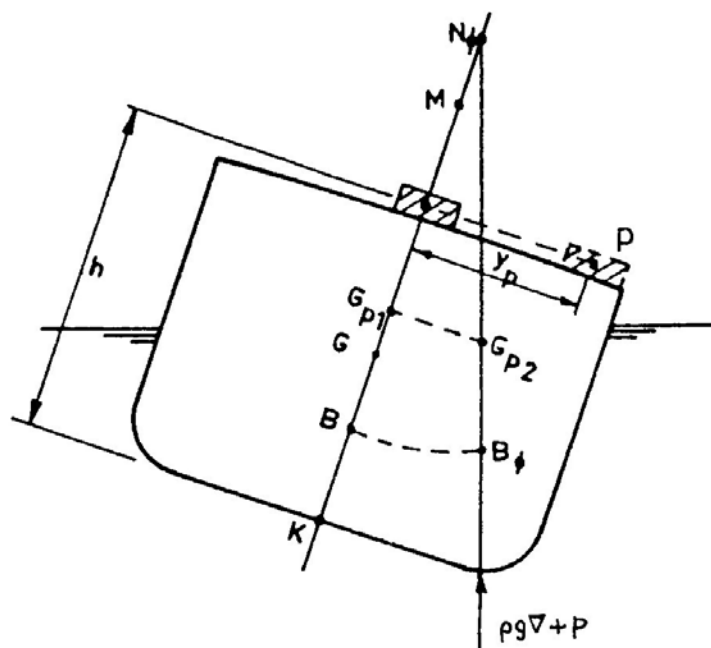

De hoogteligging van het massazwaartepunt speelt een belangrijke rol bij de berekening van de stabiliteit. De grootte van KG wordt bij het ontwerp zo goed mogelijk geschat en bij het uitwerken van een project berekend met behulp van bekende gewichten van platen, profielen, machines, uitrusting, enz. Toch blijft een dergelijke berekening vrij onzeker, hoewel ervaring met het scheepstype een vrij goede aanwijzing kan geven bij het beoordelen van de juistheid van de berekeningen. Om deze berekeningen uiteindelijk te controleren en ook omdat de scheepvaartinspectie dat eist wordt de hellingproef uitgevoerd. Hierbij wordt GM experimenteel bepaald en met de berekende KM (uit het carènediagram) volgt:

6.3

Aangezien de hellingproef nooit precies in de bedoelde toestand van het schip (gereed doch geheel leeg) zal kunnen plaatsvinden, is nog enig correctierekenwerk nodig om KG in deze toestand te bepalen. Bij het uitvoeren van de hellingproef moeten de volgende voorzorgen worden getroffen:

- Bij voorkeur moet het schip geheel droog zijn. Lekwater in de ruimen moet verwijderd worden en tanks moeten helemaal leeg zijn. Is het schip in die toestand instabiel dan moeten enige dubbele bodem tanks gevuld worden tot in de overvloeipijpen, zodat er geen lucht meer aanwezig is en er geen vrije vloeistofoppervlakken zijn.
- Het gewicht en de plaats van onderdelen die tijdens de proef aan boord zijn, maar niet tot de uitrusting van het schip behoren, zoals gereedschappen, tijdelijke magazijnen, stellingen, enz., moeten worden bepaald. Indien tanks gevuld zijn (bijv. brandstof voor proefdraaien van motoren of eigen stroomvoorziening aan boord) moeten de zwaartepunten en de gewichten van de vloeistof bekend zijn. Het bepalen van het zwaartepunt is soms moeilijk door de onregelmatige vorm van de tank en de inhoud van de constructiedelen.
- Tijdens de hellingproef moet het schip vrij zijn in haar bewegingen. Liefst kiest men een windstille dag met één slappe meerdraad vóór en achter. Kabelverbindingen naar de wal, luchtslangen, gangways, enz. moeten verwijderd worden. Niet meer mensen aan boord dan absoluut noodzakelijk. Het schip moet zoveel mogelijk in de richting van de wind liggen; een bouwdok geeft vaak een goede bescherming tegen de windinvloed.
- Aan boord worden enige ballastgewichten geplaatst om het schip tijdens de hellingproef een uitwijking (slagzij) te kunnen geven, zie figuur 6.6. Het totale gewicht p moet zo groot zijn dat een slagzij van ongeveer 2° bereikt kan worden. Bij kleine schepen mag dit 3° à 4° zijn. Het gewicht bedraagt 0.2 à 0.5 % van het displacement. De gewichten worden in het symmetrievlak en ongeveer op de halve lengte geplaatst, boven het zwaartepunt van de waterlijn (zie Hst 9.2), zodat er geen trim aanwezig is.
- De diepgangen vóór en achter worden voor de proef nauwkeurig afgelezen. Tevens wordt de dichtheid van het havenwater gemeten (vaak afwijkend van 1000 kg/m^3). Met behulp van deze gegevens wordt het displacement ($DgL + p$) en KM bepaald uit het carènediagram of berekend uit het lijnenplan. Een eventuele slagzij volgt uit het verschil in aflezing van de diepgangsmerken op $\frac{1}{2}L$ aan SB en BB. Een slagzij van meer dan 3° is bezwaarlijk. Waarom?
- Door middel van verplaatsing van het gewicht p in dwarsscheepse richting wordt een slagzij bewerkstelligd. Het gewicht wordt eerst in het symmetrievlak geplaatst en de daarbij behorende nulstand met hoekmeetapparatuur vastgelegd. Dan wordt het gewicht naar SB verschoven en de optredende slagzij gemeten; daarna wordt het gewicht naar BB verschoven en weer wordt de slagzij gemeten; tenslotte moet de middenstand gecontroleerd worden door het gewicht weer in het symmetrievlak te plaatsen. Zonodig wordt deze procedure een keer herhaald. Het gewicht bestaat vaak uit meerdere delen in verband met de verplaatsbaarheid; het is dan ook aan te bevelen om een nauwgezet schema bij het verplaatsen van de gewichten aan te houden.

Uit elk van de metingen wordt in eerste instantie $G_{p1}M$ berekend. Hierbij is aangenomen dat ϕ klein is, zodat verondersteld mag worden dat M en N_ϕ samenvallen, zie figuur 6.6.



figuur 6.6

G = massazwaartepunt schip exclusief hellinggewicht(en)

G_{p1} = massazwaartepunt schip inclusief hellinggewicht(en)

Nu is: $\tan \varphi = \frac{G_{p1} G_{p2}}{G_{p1} M}$ en $G_{p1} G_{p2} = \frac{p y_p}{\rho g \nabla + p}$

Door p te wege, y_p op te meten $G_{p1} G_{p2}$ te berekenen, φ te meten en $DgL + p$ te berekenen uit de opgenomen diepgangen en de gemeten dichtheid van het water kan $G_{p1} M$ worden bepaald:

$$G_{p1} M = \frac{p y_p}{(\rho g \nabla + p) \tan \varphi}$$

De uitkomsten van $G_{p1} M$ voor de verschillende posities van het ballastgewicht en de bijbehorende hellingshoeken mogen geen grote spreiding vertonen.

Met de berekende KM wordt dan:

$$KG_{p1} = KM - G_{p1} M$$

De hoogteligging van het schip zonder de ballastgewichten volgt dan uit:

$$KG = \frac{(\rho g \nabla + p) KG_{p1} - p h}{\rho g \nabla}$$

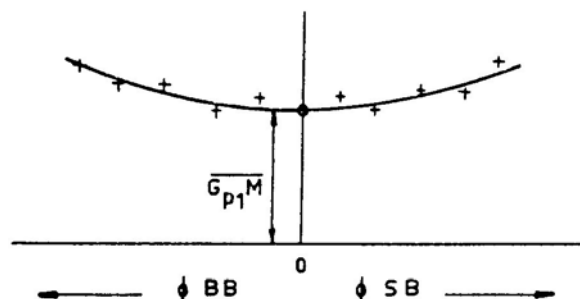
Deze KG heeft dan betrekking op het schip in de hellingproeftoestand voordat de ballastgewichten aan boord waren. Op overeenkomstige wijze moet nu KG gecorrigeerd worden voor de aan boord aanwezige gereedschappen, tijdelijke magazijnen, stellingen, enz. en niet tot de uitrusting en inventaris van het schip behorende goederen, terwijl tevens in aanmerking moet worden genomen alle nog niet aan boord zijnde zaken die wel tot de normale inrichting en uitrusting moeten worden gerekend.

Voor het meten van de slagzij, die relatief klein is, kan een inclinometer gebruikt worden, een camera of een lange slinger bestaande uit een dunne draad met daaraan een gewicht dat in een bak met water of olie hangt (demping).

Als de slagzij de gegeven waarde overschrijdt en niet meer met de aanvangsstabiliteit gerekend mag worden dan volgt $G_{p1} M$ uit:

$$G_{p1} M = G_{p1} N_{\varphi} - M N_{\varphi} = \frac{p y_p}{(\rho g \nabla + p) \tan \varphi} - \frac{1}{2} BM \tan^2 \varphi$$

Is de benadering met behulp van de formule van Scribanti onjuist, dan kunnen de $G_{p1} N_{\varphi}$ waarden op basis van φ worden uitgezet. Extrapolatie van de $G_{p1} N_{\varphi}$ -kromme tot $\varphi = 0$ geeft dan $G_{p1} M$, zie figuur 6.7. Bij deze laatste methode zijn metingen bij meerdere hellingshoeken noodzakelijk.



figuur 6.7

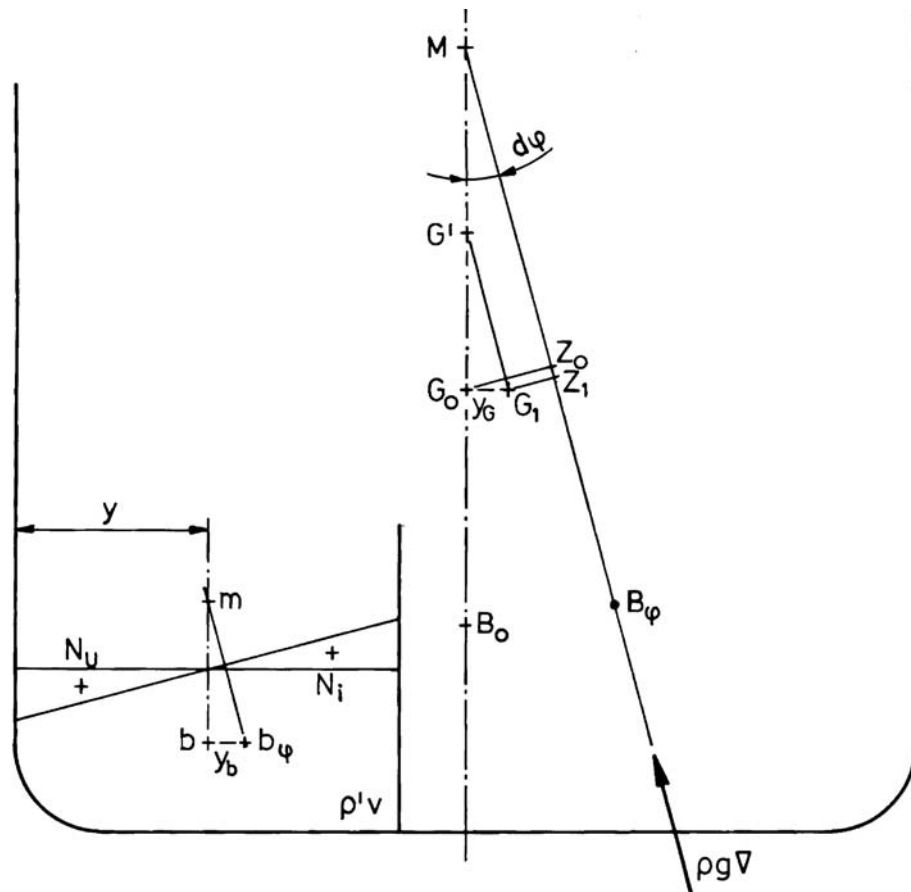
6.4 Invloed van vrije vloeistofoppervlakken

Bij vrije vloeistofoppervlakken (niet geheel gevulde tanks, lekwater, enz.) zal t.g.v. helling een verplaatsing van het vloeistofzwaartepunt en daardoor van het systeemzwaartepunt optreden. Aangezien deze

verplaatsing steeds naar "de lage kant" plaatsvindt leidt dit tot een vermindering van de stabiliteit. Schepen en andere drijvende constructies hebben vloeistoffen en/of vloeibare lading aan boord (brandstoffen, drinkwater, ballastwater, enz.); de vloeistoffen worden verbruikt en de ladingtanks zijn niet geheel gevuld of kunnen niet geheel gevuld worden wegens volumeverandering van de lading bij temperatuurswisselingen en daarom zullen vrije vloeistofoppervlakken aanwezig zijn. Het zogenaamde "slack" zijn der tanks.

Invloed van vrije vloeistofoppervlakken bij kleine hellingshoeken

Bij kleine hellingshoeken kan bij de berekening van de stabiliteitsreductie t.g.v. vrije vloeistofoppervlakken de verplaatsing in hoogte van het vloeistofzwaartepunt buiten beschouwing blijven en beperken we ons tot de verplaatsing in breedte richting, zie figuur 6.8.



figuur 6.8

Ten gevolge van het horizontaal blijven van de vloeistofspiegel bij helling verschuift het zwaartepunt van de vloeistof van b naar b_ϕ over een afstand y_b . Met behulp van de zwaartepunten van de intredende en uitredende wiggen kan de verplaatsing y_b bepaald worden,

$$bb_\phi = y_b v = N_u N_i \cdot \text{inhoud wig} \quad N_u N_i = \frac{4}{3} y$$

$$\text{inhoud wig} = \int_0^1 \frac{1}{2} y^2 d\phi dx \quad y_b = \frac{\int_0^1 \frac{2}{3} y^3 d\phi dx}{v}$$

$$\int_0^1 \frac{2}{3} y^3 dx = \text{traagheidsmoment van het beschouwde oppervlak, dus:}$$

$$y_b = \frac{i}{v} d\phi$$

hierin is: i = eigen traagheidsmoment van de vloeistofspiegel
 v = volume van de vloeistof

Hierdoor verplaatst het systeemzwaartepunt van schip en vloeistof zich van G_0 naar G_1 over een afstand y_G . De oorspronkelijke arm van statische stabiliteit G_0Z_0 neemt nu af tot G_1Z_1 . Als de verschuivingswet toegepast wordt op G , wordt gevonden:

$$G_0G_1 = y_G = \frac{\rho' v y_b}{\rho \nabla} = \frac{\rho' i d\varphi}{\rho \nabla}$$

D' = dichtheid van de vloeistoflading
 D = dichtheid van het buitenwater
 L = waterverplaatsing van het schip

De arm van statische stabiliteit wordt nu:

$$G_1Z_1 = G_0M \sin d\varphi - \frac{\rho' i}{\rho \nabla} \sin d\varphi = \left(G_0M - \frac{\rho' i}{\rho \nabla} \right) \sin d\varphi$$

Uit figuur 6.8 en bovenstaande formule blijkt dat de metacenterhoogte schijnbaar is afgenomen van G_0M tot $G'M$, waarbij:

$$G_0G' = \frac{\rho' i}{\rho \nabla}$$

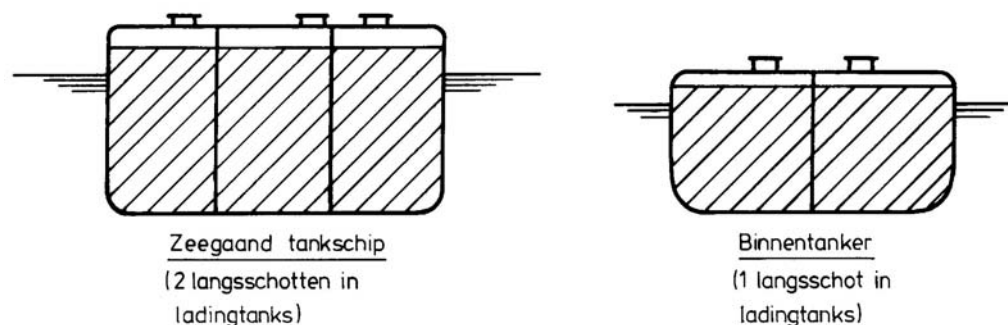
Voor meerdere vrije vloeistofoppervlakken is de reductie:

$$G_0G' = \frac{\sum \rho' i}{\rho \nabla}$$

De reductie is schijnbaar omdat G niet in hoogte is veranderd, maar in breedte is verschoven.

- $G'M$ = gereduceerde metacenterhoogte;
- deze afleiding is praktisch toepasbaar tot 6 à 7°;
- de vloeistofspiegel mag noch de bodem noch de top van de tank raken.

Schepen voor het vervoer van vloeibare lading (tankers) zouden zonder speciale maatregelen zeer veel stabiliteit verliezen t.g.v. vrije vloeistofoppervlakken. Deze schepen worden derhalve niet alleen met dwarsschotten maar ook met één of twee langsschotten uitgevoerd, zodat de dwarstraagheidsmomenten van de vrije vloeistofoppervlakken aanmerkelijk worden gereduceerd, zie figuur 6.9.



figuur 6.9

Op overeenkomstige wijze kan worden afgeleid dat ook de langsscheepse stabiliteit door vrije vloeistofoppervlakken wordt beïnvloed. Dan is de reductie van de langsmetacenterhoogte:

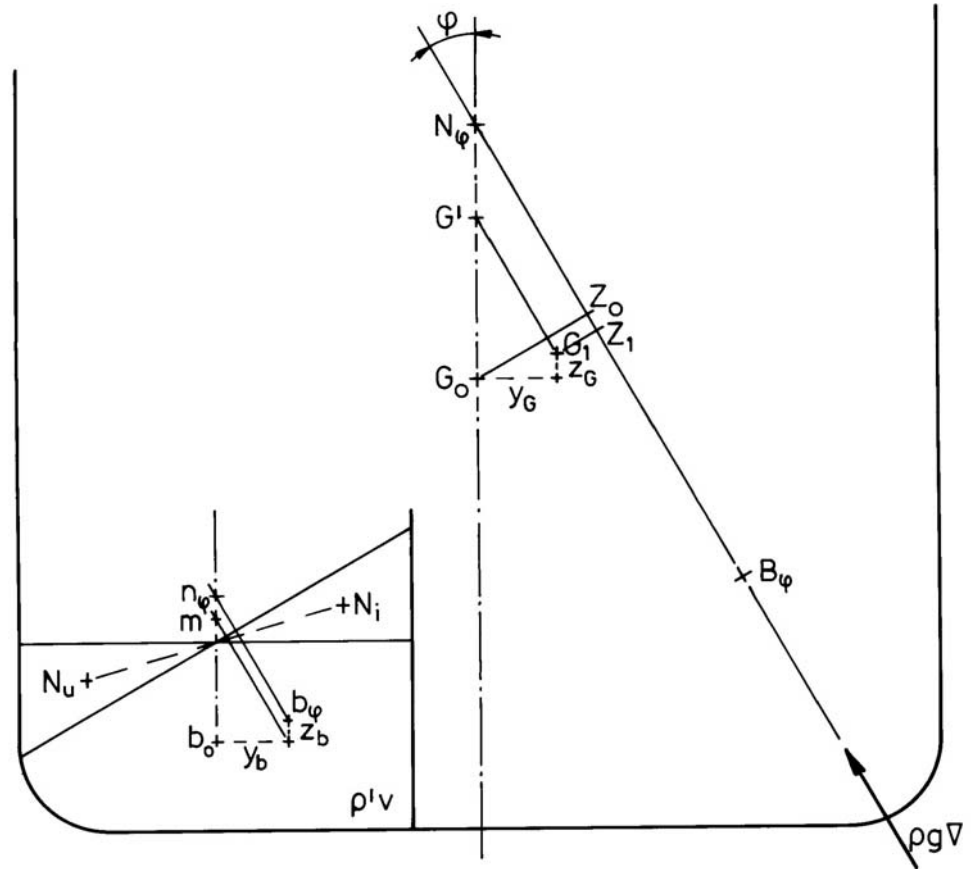
$$G_0G' = \frac{\sum \rho' i_L}{\rho \nabla}$$

waarin i_L = het langstraagheidsmoment van het vrije vloeistofoppervlak.

Bij stabiliteitsberekeningen dient volgens de richtlijnen van IMCO rekening gehouden te worden met het "slack" zijn van één of één paar tanks per soort vloeistof (incl. waterballast).

De invloed van vrije vloeistofoppervlakken bij grotere hellingshoeken

Bij grotere hellingshoeken kan de invloed m.b.v. de formule van Scribanti worden bepaald. Deze geldt exact voor tanks met verticale wanden, waarbij de vloeistofspiegel bij helling noch de bodem noch de top van de tank raakt.



figuur 6.10

Bij helling zal het zwaartepunt b_0 van de vloeistof naar b_N verschuiven. De verticale verplaatsing mag nu niet worden verwaarloosd, zodat de verplaatsingen y_b en z_b zijn. T.g.v. deze verplaatsingen zal het zwaartepunt van het schip gaan van G_0 naar G_1 . De verplaatsingen zijn y_G en z_G .

Geheel overeenkomstig de formule van Sribanti geldt:

$$b_0 n_\varphi = b_0 m + m n_\varphi = b_0 m \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varphi\right) = \frac{i}{v} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varphi\right)$$

De verplaatsingen y_b en z_b zijn nu te bepalen:

$$y_b = \frac{i}{v} \tan \varphi \quad \text{en} \quad z_b = \frac{i}{v} \frac{1}{2} \tan^2 \varphi$$

M.b.v. de verschuivingswet zijn de verplaatsingen van G te bepalen:

$$y_G = \frac{\rho' v y_b}{\rho \nabla} = \frac{\rho' i \tan \varphi}{\rho \nabla} \quad \text{en} \quad z_G = \frac{\rho' v z_b}{\rho \nabla} = \frac{\rho' \frac{i}{v} \frac{1}{2} \tan^2 \varphi}{\rho \nabla}$$

De arm van statische stabiliteit neemt af van $G_0 Z_0$ tot $G_1 Z_1$, zodat:

$$G_1 Z_1 = G_0 Z_0 - y_G \cos \varphi - z_G \sin \varphi$$

$$G_1 Z_1 = G_0 Z_0 - \frac{\rho' i}{\rho \nabla} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varphi\right) \sin \varphi$$

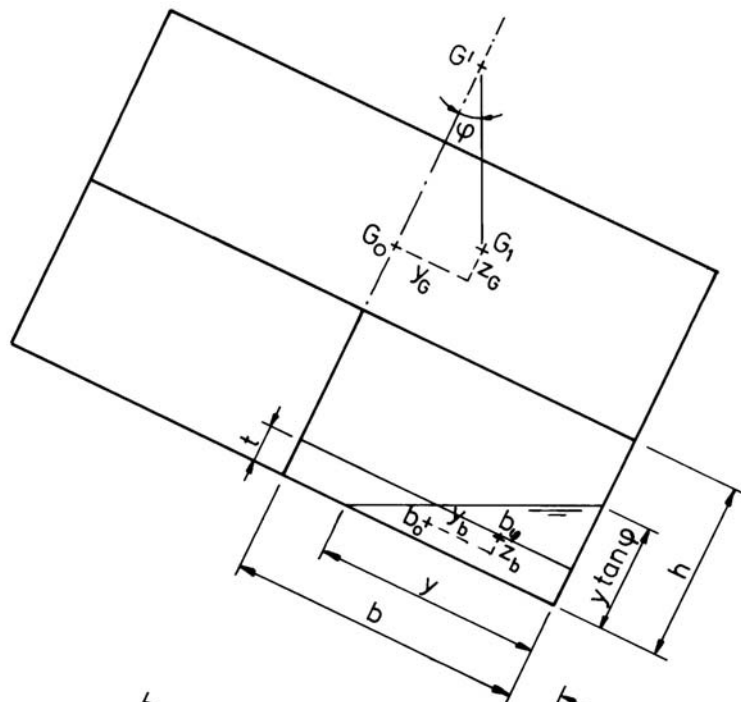
De vermindering van de arm van statische stabiliteit is dus:

$$\frac{\rho' i}{\rho V} \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varphi\right) \sin \varphi$$

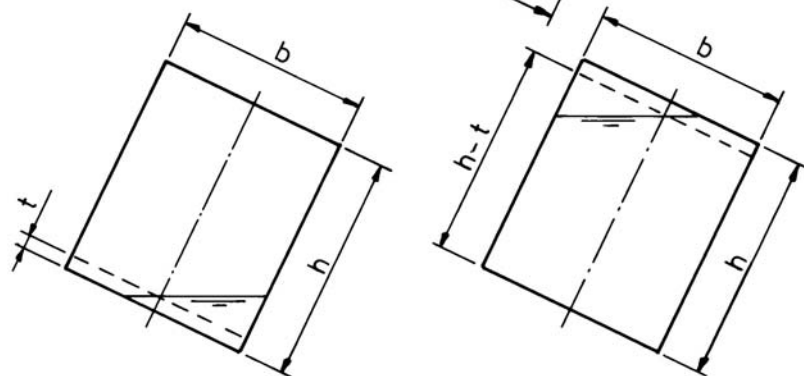
of $c \frac{\rho' i}{\rho V}$ waarin: $c = \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varphi\right) \sin \varphi$

Achteraf moet steeds worden gecontroleerd of aan de voorwaarden van de formule van Scribanti is voldaan, nml. loodrechte wanden van de tank en de vloeistofspiegel raakt noch de bodem noch de top van de tank.

In een aantal gevallen zal hieraan niet worden voldaan. Om dan toch een inzicht te krijgen in het stabiliteitsverlies heeft ir L.P. Herfst een benaderingsmethode ontwikkeld die bekend staat als de methode Herfst. [6.1]



figuur 6.11 A



figuur 6.11 B

In figuur 6.11 A is de situatie geschetst waarbij een tank met verticale wanden oorspronkelijk gevuld was tot een hoogte t. Door de slagzij loopt de vloeistof naar de lage kant en het vloeistofzwaartepunt verplaatst zich van b_0 naar b_N .

Aangezien de hoeveelheid vloeistof constant is geldt:

$$l b t = l \frac{1}{2} y \tan^2 \varphi \quad y = \sqrt{\frac{2 b t}{\tan \varphi}}$$

(l = lengte van de tank)

De verplaatsingen y_b en z_b van het zwaartepunt van de vloeistof zijn:

$$y_b = \frac{1}{2}b - \frac{1}{3}y = \frac{1}{2}b - \frac{1}{3}\sqrt{\frac{2bt}{\tan\varphi}}$$

$$z_b = \frac{1}{3}y \tan\varphi - \frac{1}{2}t = \frac{1}{3}\sqrt{2bt \tan\varphi} - \frac{1}{2}t$$

De verplaatsing van het massazwaartepunt van het totale systeem is:

$$y_G = \frac{\rho' v}{\rho \nabla} \left(\frac{1}{2}b - \frac{1}{3}\sqrt{\frac{2bt}{\tan\varphi}} \right)$$

$$z_G = \frac{\rho' v}{\rho \nabla} \left(\frac{1}{3}\sqrt{2bt \tan\varphi} - \frac{1}{2}t \right)$$

Bij uitwerken volgt dan dat de vermindering van de arm van statische stabiliteit, uitgedrukt m.b.v. de

formule: $c \frac{\rho' i}{\rho \nabla}$ bedraagt:

$$c = \frac{t}{b} \left(6 \cos\varphi - 4 \cos\varphi \sqrt{2 \frac{t}{b} \cotan\varphi} - 6 \frac{t}{b} \sin\varphi + 4 \sin\varphi \sqrt{2 \frac{t}{b} \tan\varphi} \right)$$

Als de tank zover gevuld is dat de vloeistofspiegel de tanktop raakt (zie figuur 6.11 B) dan geldt vanwege symmetrie overwegingen dat de coëfficiënt c voor een tankpeil t en $h-t$ gelijk is.

In het geval dat de vloeistofspiegel de bodem en de top van de tank raakt, geldt:

$$c = \frac{t}{b} \left(6 \frac{h-t}{h} \cos\varphi + 6 \frac{h-t}{b} \sin\varphi \right) - \frac{h^3}{b^3} \left(1 + \frac{1}{2} \cotan^2\varphi \right) \cos\varphi$$

De diagrammen kunnen ook gebruikt worden voor het bepalen van de kromme van armen van stabiliteit van een rechthoekige bak, namelijk:

$$GZ_\varphi = BN_\varphi \sin\varphi - BG \sin\varphi = c \frac{B^2}{12 T} - BG \sin\varphi$$

Dan is in de diagrammen h de holte, b de breedte en t de diepgang van de bak.

De diagrammen gelden uitsluitend voor rechthoekige tanks; voor tanks met een trapeziumvormige plattegrond worden vormcoëfficiënten gegeven waarmee toch de diagrammen kunnen worden gebruikt. Een goede benadering wordt namelijk verkregen door de trapeziumvormige tank te vervangen door een rechthoekige met gelijke hoogte h en peil t , maar met een gecorrigeerde breedte b zodanig dat het traagheidsmoment van de vloeistofspiegel gelijk blijft.

6.5 Windbelasting

In vele gevallen zal het van belang zijn na te gaan in hoeverre een schip of andere varende of drijvende constructie zijdelingse winddruk kan verdragen. In het bijzonder geldt dit voor schepen in ballastconditie, voor schepen met grote windvangende oppervlakken, zoals container-, autotransportschepen, enz. en voor offshore constructies.

De kracht die een dwarsscheeps gerichte wind op een oppervlak uitoefent is afhankelijk van:

$$K_W = \frac{1}{2} D_W v_W^2 \cdot_w A \quad (N)$$

D_W = luchtdichtheid = 1.293 kg/m³

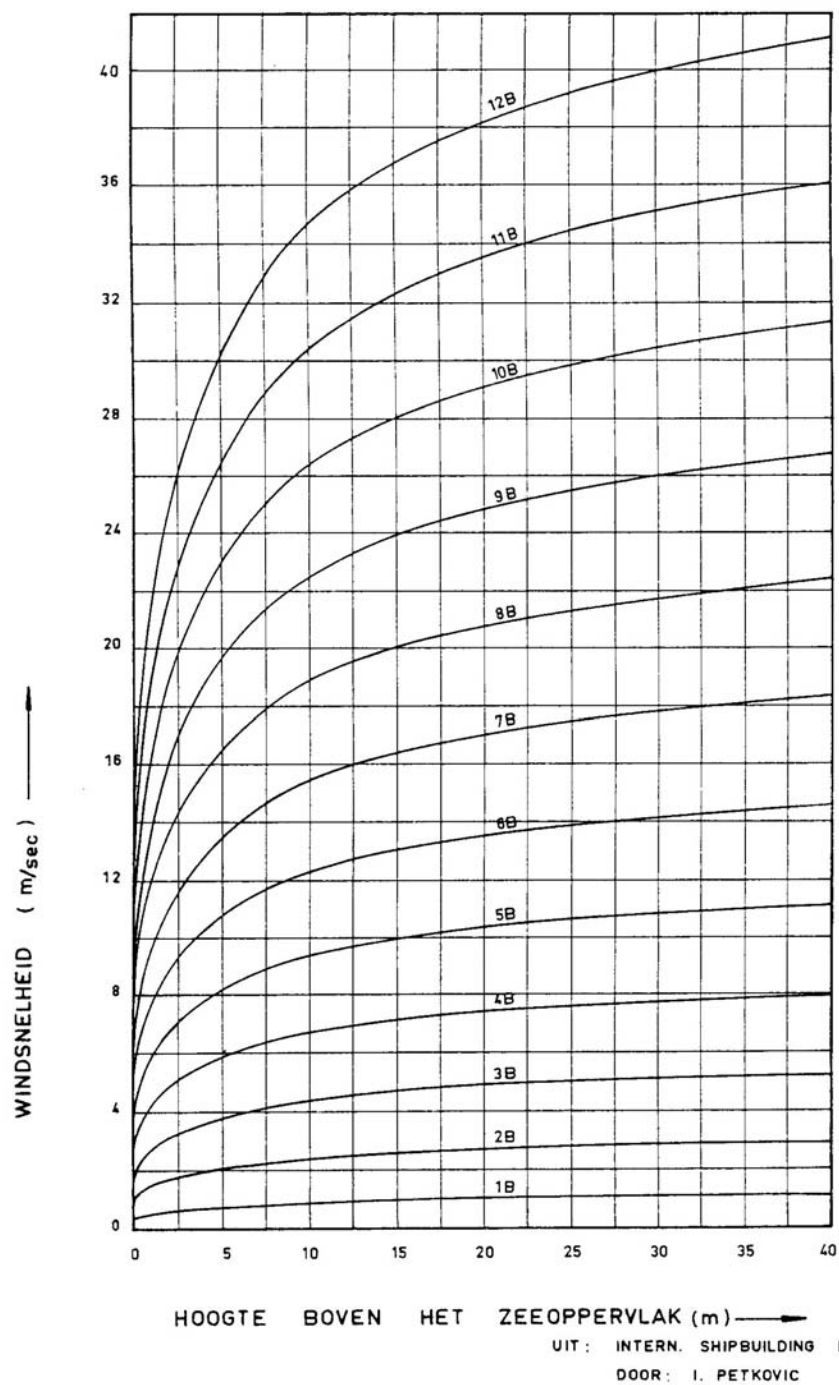
v_W = de windsnelheid

$\cdot_w$ = de windweerstandcoëfficiënt

A = de grootte van het geprojecteerde oppervlak

Volgens [6.2] is de windsnelheid op 10 m boven het zeeoppervlak, zie figuur 6.12:

$$v_W = 0.836 \quad B^3 \quad \text{waarin } B = \text{Beaufortnummer}$$



figuur 6.12

De windsnelheidsverdeling in hoogte kan bepaald worden m.b.v. onderstaande tabel, waarin de windsnelheid is aangegeven in verhouding tot die op 10 m hoogte boven het zeeoppervlak.

h (m)	0	2.5	5	10	15	20	30	40
v_W/v_{W10}	0.393	0.755	0.871	1.000	1.059	1.099	1.150	1.183

De windweerstandscoefficiënt bedraagt:

- grote platte vlakken $\cdot_w = 1.2$
- grote cilinders $\cdot_w = 0.8$

stangen en draden $\cdot_w = 0.9 - 1.2$

Bij deze coëfficiënten is geen rekening gehouden met lift. Een vlak dat schuin aangestroomd wordt veroorzaakt ook lift; deze kan aanzienlijk zijn, met name bij delen met gestroomlijnde vormen. Isherwood [6.3] heeft hier onderzoek naar gedaan.

Wat betreft de berekening van de totale windkracht wordt soms gebruik gemaakt van:

- een constante windsnelheid, overeenkomende met de windsnelheid op gelijke hoogte als het zwaartepunt van het betrokken oppervlak;
- een constante windsnelheid, overeenkomende met de windsnelheid op 10 m hoogte boven het zeeoppervlak;
- een windsnelheid variërend met de hoogte boven water; deze verfijning is nauwelijks zinvol gezien de vele vereenvoudigingen;
- een constante winddruk van 75 kg/m^2 beneden een hoogte van 5 m boven de lastlijn en een winddruk van 125 kg/m^2 boven deze hoogte.

In het algemene geval is K_W : $K_W = \frac{1}{2} D_W G^n_1 v_{Wi}^2 \cdot_{Wi} A_i \text{ (N)}$

waarbij v , $\cdot$ en A voor elk deel moeten worden vastgesteld.

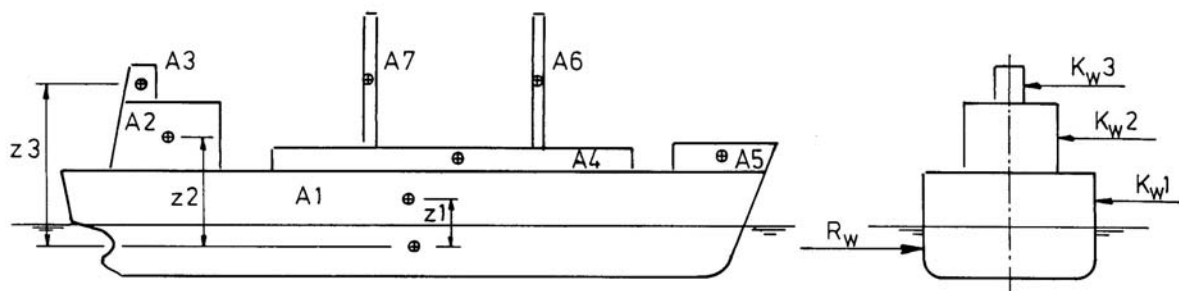
Er wordt als regel aangenomen dat de waterweerstandskrachten aangrijpen in het zwaartepunt van het lateraal oppervlak onder water en de windkrachten in de zwaartepunten van de betreffende oppervlakken.

Het windmoment in de rechtop liggende toestand ($\varphi = 0^\circ$) wordt dan:

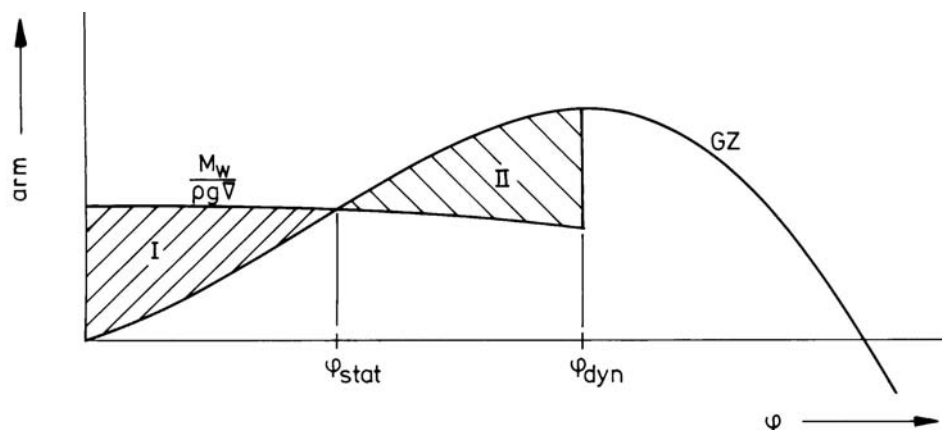
$$M_W = \frac{1}{2} D_W G^n_1 v_{Wi}^2 \cdot_{Wi} A_i z_i \text{ (Nm)}$$

waarin z_i de verticale afstand voorstelt van het betrokken laterale oppervlak boven water tot aan het lateraal punt onder water, zie figuur 6.13

Het schip zal t.g.v. het plotseling optredende van het windmoment een hoek $\mathbf{N}_{dyn}$ bereiken, waarbij voldaan wordt aan de voorwaarde: opp. I = opp. II, zie figuur 6.14.
De aldus bepaalde hoek φ_{dyn} mag niet groter zijn dan φ_{wd} , de hoek waarbij niet-waterdichte openingen onder water komen.



figuur 6.13



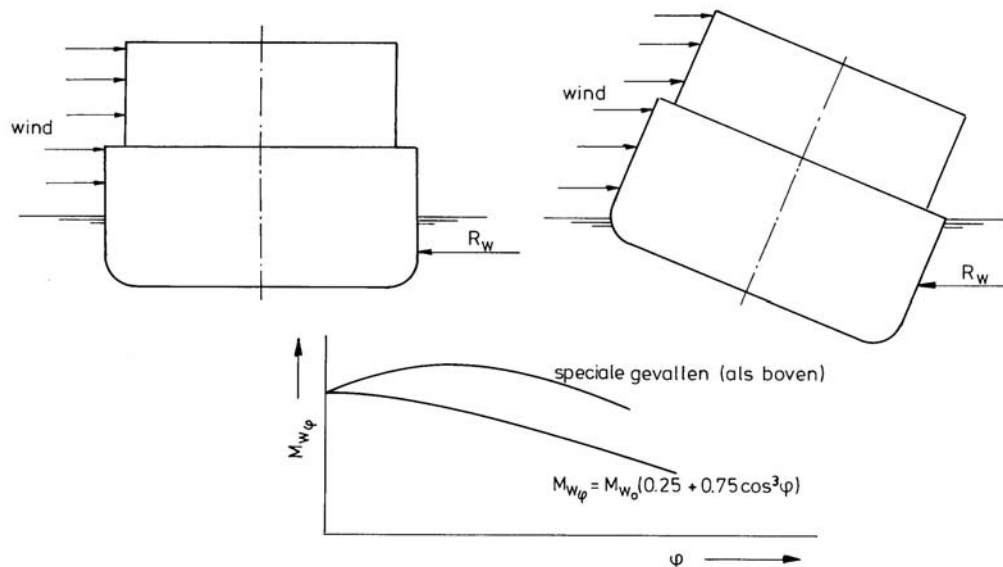
figuur 6.14

Het windmoment als functie van de hellingshoek wordt door Japanse onderzoekers aangegeven als [6.4]:

$$M_{WN} = M_{W0} (0.25 + 0.75 \cos^3 N)$$

Het verloop van het windmoment M_{WN} hoeft niet steeds het maximum te hebben bij $N = 0^\circ$. Bij brede platte vaartuigen kan zeker een windmoment verloop ontstaan als in figuur 6.15 is aangegeven; het maximum windmoment treedt daarbij eerst bij een hellingshoek van 20° à 30° op [6.5].

Voor offshore constructies dient bij normale bedrijfstoestanden rekening te worden gehouden met een windsnelheid van 70 knoop (36 m/s) en bij "severe storm condition" 100 knoop (51.4 m/s). [6.6] [6.7]



figuur 6.15

In IMO verband is gewerkt aan harmonisatie van de verschillende nationale voorschriften t.a.v. "weather criteria" [6.8] (severe wind and rolling criterium).

Deze "recommendation" wordt ook aanbevolen voor visserijvaartuigen en gaat uit van de volgende veronderstellingen:

- het schip is onderworpen aan een constante winddruk loodrecht op het symmetrievlak, waarvan het windmoment = $M_{W1} = P.A.Z$
waarin: $P = 0.0514 \text{ t/m}^2$;
 A = geprojecteerd oppervlak van het schip en deklading boven de waterlijn;
 Z = verticale afstand van het zwaartepunt van het oppervlak A tot het zwaartepunt van het lateraal oppervlak of bij benadering tot een punt op de halve diepgang;
- vanaf de resulterende hoek van statisch evenwicht φ_{stat} slingert het schip t.g.v. de golven naar loef over een hoek φ_c ($\varphi_{\text{stat. max.}} = 16^\circ$ of 80 % van φ_D);
- het schip ondergaat een plotselinge windvlaag, waarbij het windmoment bedraagt $M_{W2} = 1.5 M_{W1}$

Onder de geschetste omstandigheden moet oppervlak II $\leq$ oppervlak I, waarbij $\varphi_2 \leq N_{\text{wd}}$ of 50° of φ_3 , welke de kleinste is. Hierbij dient ook de invloed van vrije vloeistofoppervlakken in aanmerking te worden genomen.

$$\varphi_c = 109 k X_1 X_2 \sqrt{r s} \quad \text{graden}$$

waarin; X_1 zie tabel 1; X_2 zie tabel 2;

$d = T_{\text{gem.}}$ volgens de mal

$k = 1.0$ voor schepen met ronde kim, zonder kim- of stafkiel;

0.7 voor schepen met scherpe kim;

volgens tabel 3 voor schepen met kimkielen, een stafkiel of beide;

A_k = totaal oppervlak van kimkielen of lateraal oppervlak van stafkiel of som van beide;

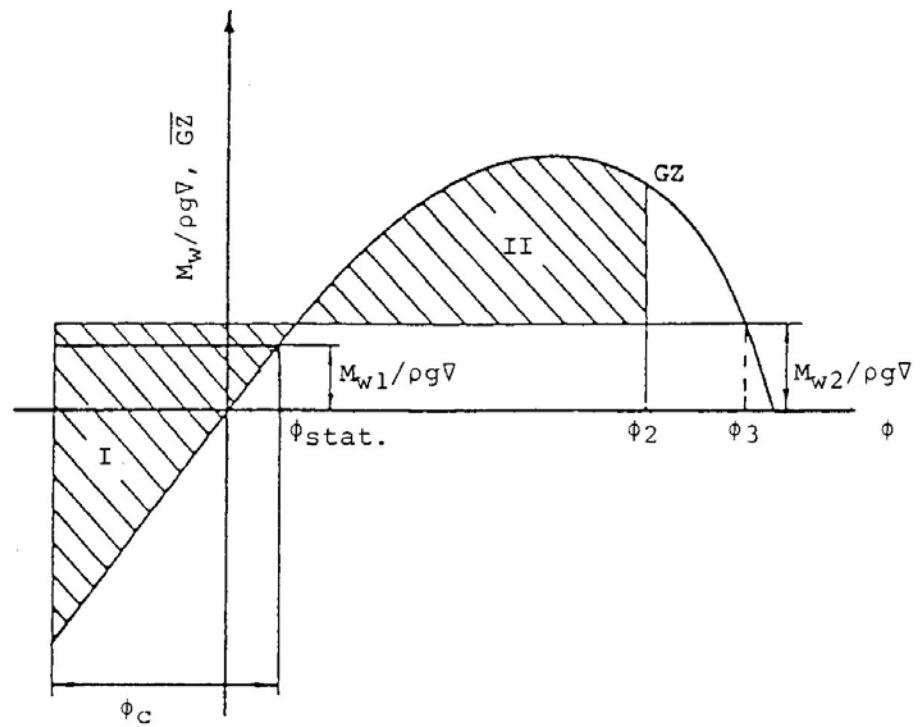
$r = 0.73 - 0.6 OG / d$

OG = afstand massazwaartepunt tot waterlijn (+ boven, - beneden)

$$s = \text{factor volgens tabel 4 waarbij slingertijd } T = \frac{2 C B}{\sqrt{GM}}$$

$$C = 0.373 + 0.023 (B / d) - 0.043 (L_{wl} / 100)$$

GM = aanvangsmetacenterhoogte gecorrigeerd voor vrij vloeistofoppervlakken



figuur 6.16

tabel 1

B/d	X ₁
# 2.4	1.00
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3.0	0.90
3.1	0.88
3.2	0.86
3.3	0.84
3.4	0.82
\$ 3.5	0.80

tabel 2

C _B	X ₂
# 0.45	0.75
0.50	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
\$ 0.70	1.0

tabel 3

A _k 100/(L B)	k
0	1.00
1.0	0.98
1.5	0.95
2.0	0.88
2.5	0.79
3.0	0.74
3.5	0.72
\$ 4.0	0.70

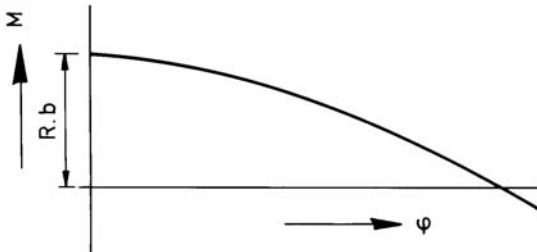
tabel 4

T	s
# 6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
\$ 20	0.035

6.6 Aan de grond lopen

Bij het aan de grond lopen van een vaartuig kunnen verschillende gevallen worden onderscheiden. De grootte van het stabiliteitsmoment zal in deze gevallen worden nagegaan.

- a. t.p.v. een horizontale bodem
veronderstel: variabele diepgang
scheef beladen schip



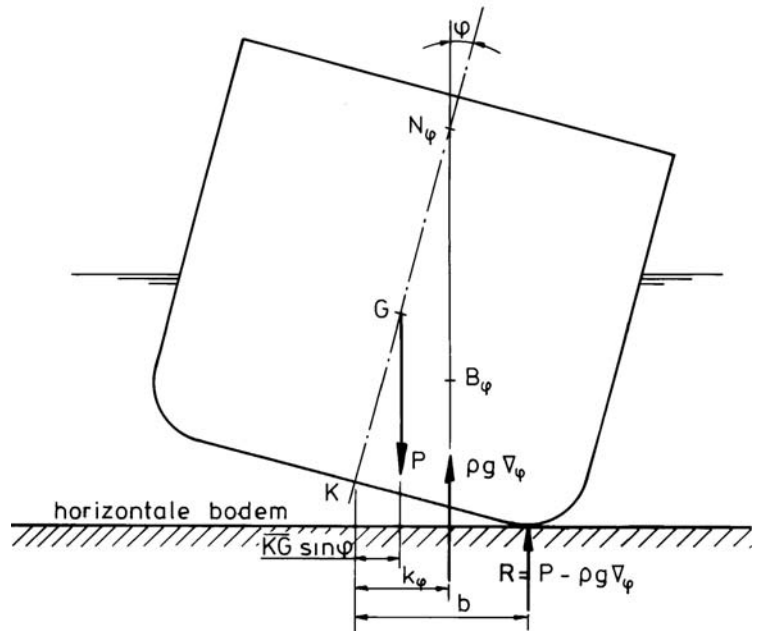
figuur 6.17

$$\nabla_\varphi < \nabla_0 \quad p = \rho g \nabla_\varphi + R$$

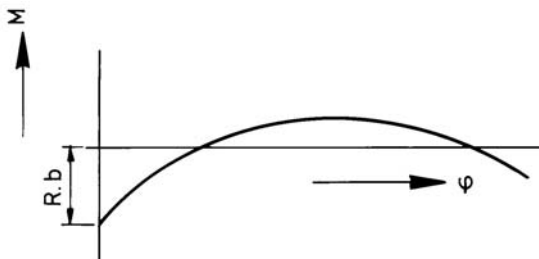
$$\text{dus } R = P - \rho g \nabla_\varphi$$

$$\sum M \text{ t.o.v. } K = 0:$$

$$M = \rho g \nabla_\varphi K N_\varphi \sin\varphi - P K G \sin\varphi + R b$$



- b. t.p.v. een hellende bodem

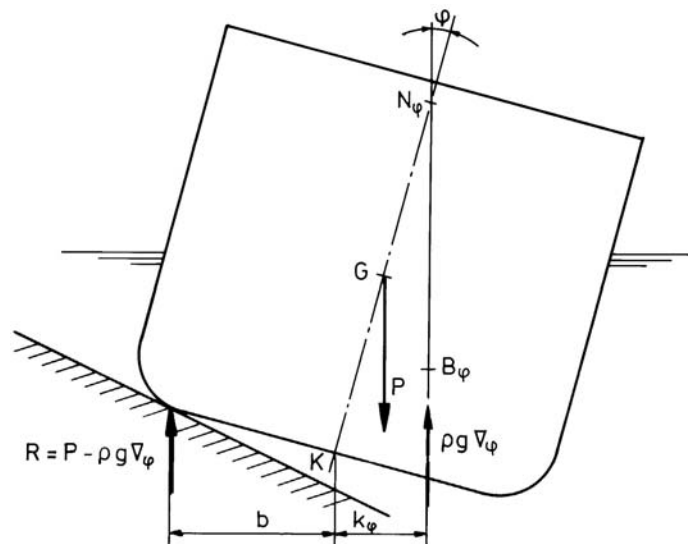


figuur 6.18

$$\nabla_\varphi > \nabla_0 \quad R = P - \rho g \nabla_\varphi$$

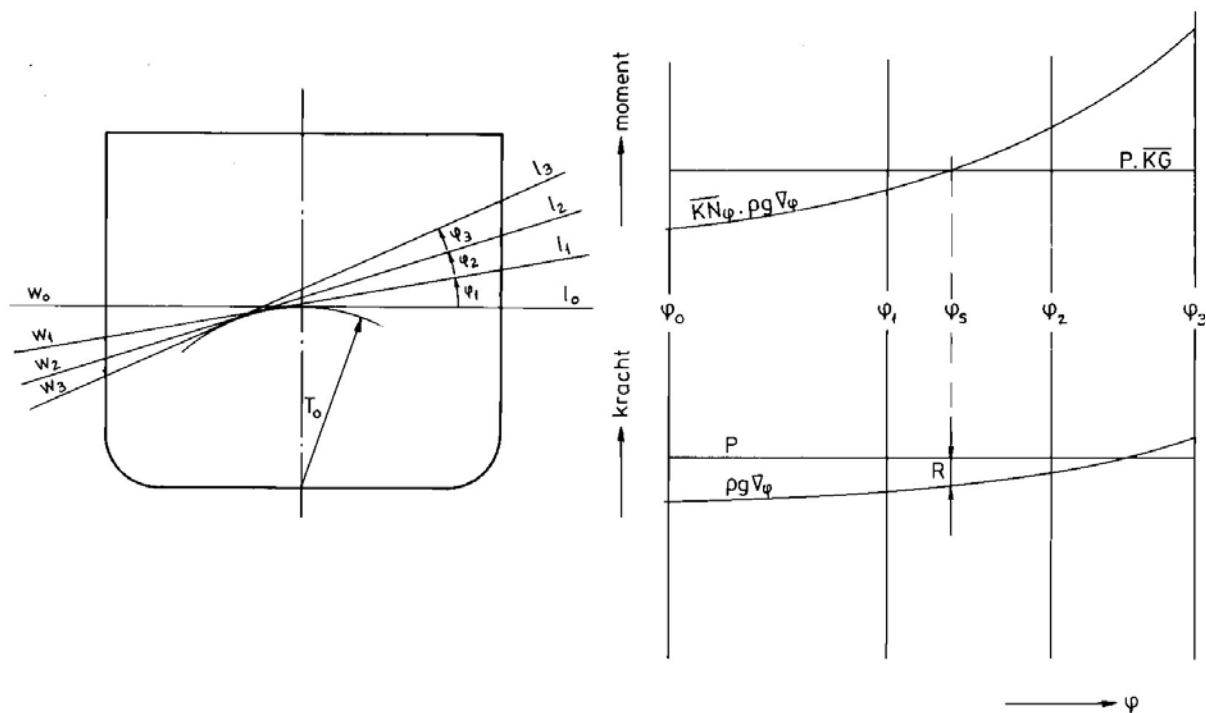
$$\sum M \text{ t.o.v. } K = 0:$$

$$M = \rho g \nabla_\varphi K N_\varphi \sin\varphi - P K G \sin\varphi - (P - \rho g \nabla_\varphi) b$$



Afhankelijk van de helling van schip en bodem is in bovenstaande gevallen het moment t.g.v. de reactiekracht ($P - Dg L_\varphi$) resp. positief of negatief.

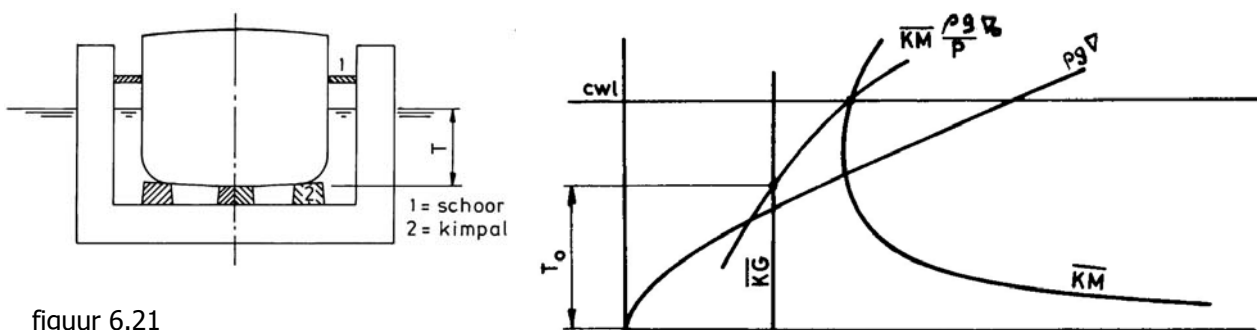
Met de armen van statische stabiliteit kan hier niet worden gewerkt, want L is een functie van de hellingshoek, dus niet constant.



figuur 6.20

d. dokken

Uit oogpunt van stabiliteit komt een schip dat gedokt wordt overeen met een over de gehele lengte van de kielplaat aan de grond gelopen schip en dalende waterstand. Het is van belang de diepgang T_0 te bepalen waarbij het evenwicht labiel wordt. Deze diepgang is te vinden door het snijpunt te bepalen van $\frac{KM \rho g \nabla_0}{P}$ met de lijn KG ; zie figuur 6.21.

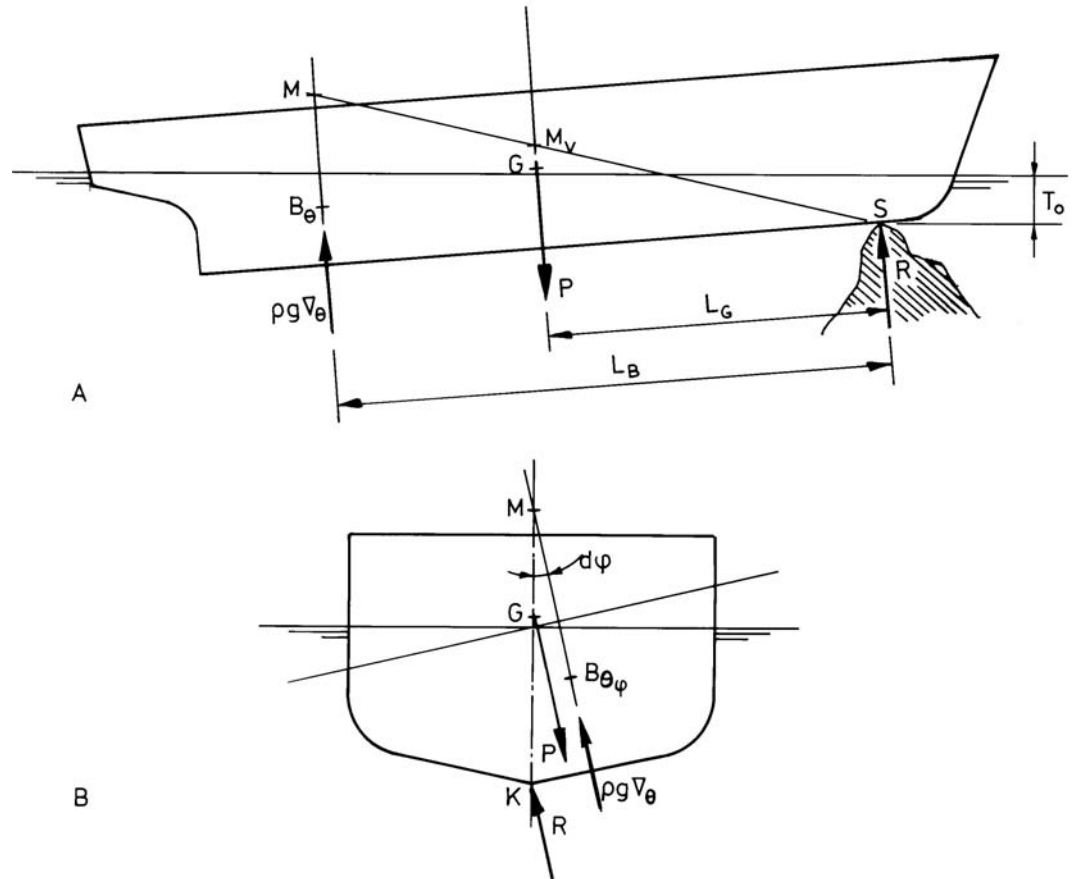


figuur 6.21

Voordat de diepgang T_0 bereikt wordt dient het te dokken schip d.m.v. schoren en zgn. kimpallen (ondersteuning van het vlak in de zijde) te worden ondersteund.

e. het schip zit op één punt van de kielplaat vast

In deze situatie is naast hellen ook vertrimming van het schip mogelijk. Deze situatie is aangegeven in figuur 6.22.



figuur 6.22 B

1. verticaal evenwicht

$$\Sigma V = 0 \rightarrow p = R + \rho g \nabla_{\theta} \quad \text{of } R = P - \rho g \nabla_{\theta}$$

2. langsscheeps evenwicht, zie figuur 6.22 A

$$\Sigma M \text{ t.o.v. } S \rightarrow \rho g \nabla_{\theta} L_B - P L_G = 0 \quad \frac{\rho g \nabla_{\theta}}{P} = \frac{L_G}{L_B}$$

3. dwarsscheeps evenwicht, zie figuur 6.22 B

$$\Sigma M \text{ t.o.v. } K \rightarrow M = \rho g \nabla_{\theta} KM \sin \varphi - P KG \sin \varphi$$

$$M = \left(P \frac{L_G}{L_B} KM - P KG \right) \sin \varphi$$

uit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur 6.22A) volgt: $\frac{L_G}{L_B} KM = KM_v$

$$M = P (KM_v - KG) \sin \varphi = P GM_v \sin \varphi$$

GM_v is in dit geval maatgevend voor de stabiliteit en wordt de **virtuele metacenterhoogte** genoemd. Voor stabiel evenwicht moet M_v boven G liggen. Bij het opdrijven van schepen tijdens tewaterlaten en uitdokken speelt deze grootheid een belangrijke rol.

De evenwichtsstand bij een gegeven waterstand t.p.v. het punt waar het schip vastzit (T₀) en de reactiekracht R verkrijgt men door bij deze T₀ enige waterlijnen met trimhoek **2₁**, **2₂** en **2₃** aan te nemen; de evenwichtsvoorwaarde luidt:

$$Dg L_2 L_B = P L_G.$$

6.7 Schuivende lading

Het verschuiven van lading t.g.v. het slingeren van het schip in zeegang zal de stabiliteit van het schip nadelig beïnvloeden. Containers, allerhande stukgoedlading, trailers en ander rollend materieel dienen dan ook vóór de reis stevig te worden vastgezet. Lading die hoog opgestapeld is aan dek moet vooral goed zeevast worden gezet.

Een apart hoofdstuk vormt hierbij de los gestorte lading omdat deze zich kan gedragen als ware het een vloeistof met dien verstande dat bij heftig slingeren deze lading "overgaat" naar de lage kant maar slechts ten dele of helemaal niet teruggaat. Op zo'n moment is er sprake van een asymmetrische belasting. Speciaal het vervoer van graan is vanwege dat gevaar uitvoerig gereguleerd [6.10].

6.8 Waterovername

Bij zwaar weer kunnen (kleine) vaartuigen water "overnemen". Dit kan in de vorm van wateropname door de aanwezige deklast of vrij water aan dek.

a. Wateropname door de deklast

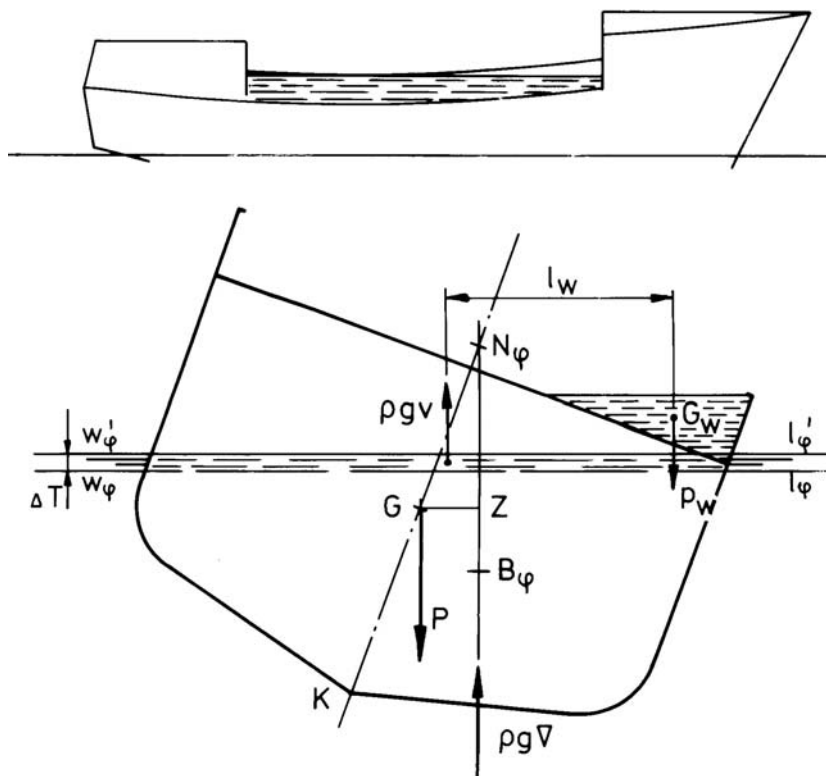
Bij houtschepen kan de houtdeklast zwaarder worden door het opnemen van water en op deze wijze aanleiding geven tot vermindering van de stabiliteit. Daarom dient hier rekening te worden gehouden met een gewichtstoename van 10% van de houtdeklast. Daar staat tegenover dat bij houtschepen de opwaartse kracht van de houtdeklast, mits goed gesjord, gedeeltelijk in rekening mag worden gebracht [6.11].

Bij bevoorradingsschepen die pijpen vervoeren ontstaat het gevaar dat de pijpen vollopen met overkomend water, zodat dit niet snel afgevoerd kan worden. Bij de stabiliteitsberekening moet daarom rekening worden gehouden met een hoeveelheid water gelijk aan 10 - 30% van het volume van de pijpen, afhankelijk van het vrijboord midscheeps. Vaak wordt de eis gesteld dat de open einden van de pijpen met een plaat afgedicht moeten worden. [6.12]

b. Vrij water aan dek

De uitwerking van vrije watermassa's aan dek heeft in principe dezelfde nadelige invloed op de stabiliteit van een schip als de eerder besproken vrije vloeistofoppervlakken. Het is daarom van belang dat klein zeegaande vaartuigen uitgerust worden met een voldoende aantal waterloospoorten of een open relingwerk.

Bij de voorschriften voor visserijsschepen wordt ervan uitgegaan dat de zgn. kuilen tot aan de verschan-sing volstaan met zeewater, zie figuur 6.23.



figuur 6.23

Het extra gewicht dat op deze manier aan boord genomen wordt bedraagt dan: $p_w = DgW$ waarbij W = volume van de hoeveelheid water aan dek met zwaartepunt is G_w . Onder invloed hiervan zal het schip dieper inzinken met de afstand aT tot de waterlijn $w_\phi'l_\phi'$. In het zwaartepunt van deze extra waterverplaatsing grijpt dus een extra opwaartse kracht Dgv aan, zodat $Dgv = p_w$. Als het zwaartepunt van dit schijfje en G_w niet op één verticaal liggen vormen Dgv en p_w een hellend moment. Het stabiliteitsmoment wordt dan:

$$M_{ST} = \rho g \nabla_\theta KN_\phi \sin\phi - P KG \sin\phi - p_w l_w$$

Bij $\phi < \phi_d$ zullen bij schepen met verticale wanden de waterlijnen elkaar in het symmetrievlak snijden; bij 'normale' schepen is dit een goede benadering, maar bij grotere hellingshoeken ($\phi > 15^\circ$) gaat dit niet meer op en de berekening van de hellende momenten bij verschillende hellingshoeken en dus verschillende hoeveelheden water aan dek wordt een bewerkelijke zaak.

Daarom is bij het opstellen van de conventie voor visserij schepen door de voormalige USSR voorgesteld de berekeningen uit te voeren voor een rechthoekige bak en de resultaten ook te gebruiken voor normale visserij schepen [6.13].

Op deze wijze worden wel enige benaderingen ingevoerd waardoor M_{WOD} (moment t.g.v. water aan dek) wat te groot zal uitvallen. Men beschouwt dit echter als compensatie voor het verwaarlozen van dynamische effecten.

Men voert de coëfficiënt c_{WOD} in:

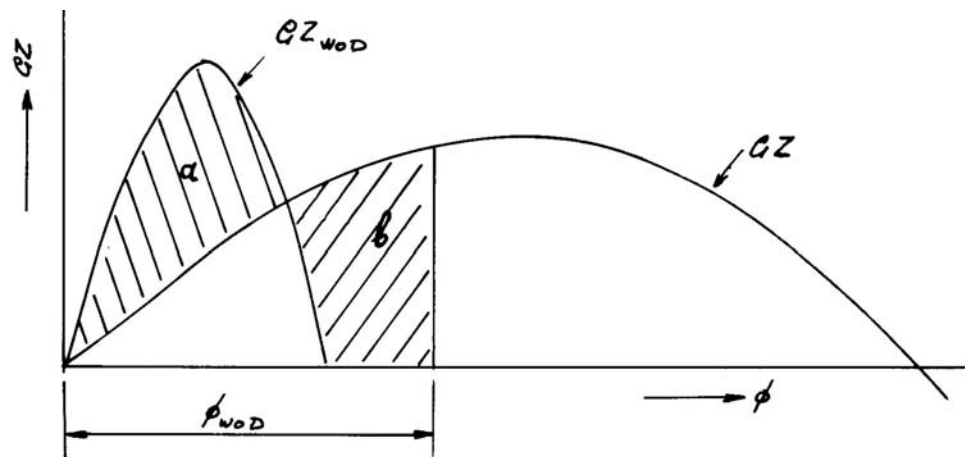
$$c_{WOD} = \frac{M_{WOD}}{\rho g W_0 \frac{B}{4}}$$

Hierin is: W_0 = volume van het water in de kuil zonder trim en hellingshoek

c_{WOD} kan in een groot aantal grafieken worden afgelezen en is gegeven als functie van de hellingshoek, de hoek waarbij het bovenste punt van de verschansing vrij komt van het water en de hoek waarbij het dek te water komt [6.14].

Met behulp hiervan is snel een benaderd moment t.g.v. water aan dek te bepalen, waarbij nog correcties voor W_0 worden toegepast voor de aanwezigheid van dekhuisen [6.15].

De stabiliteit wordt tenslotte beoordeeld aan de hand van figuur 6.24.



figuur 6.24

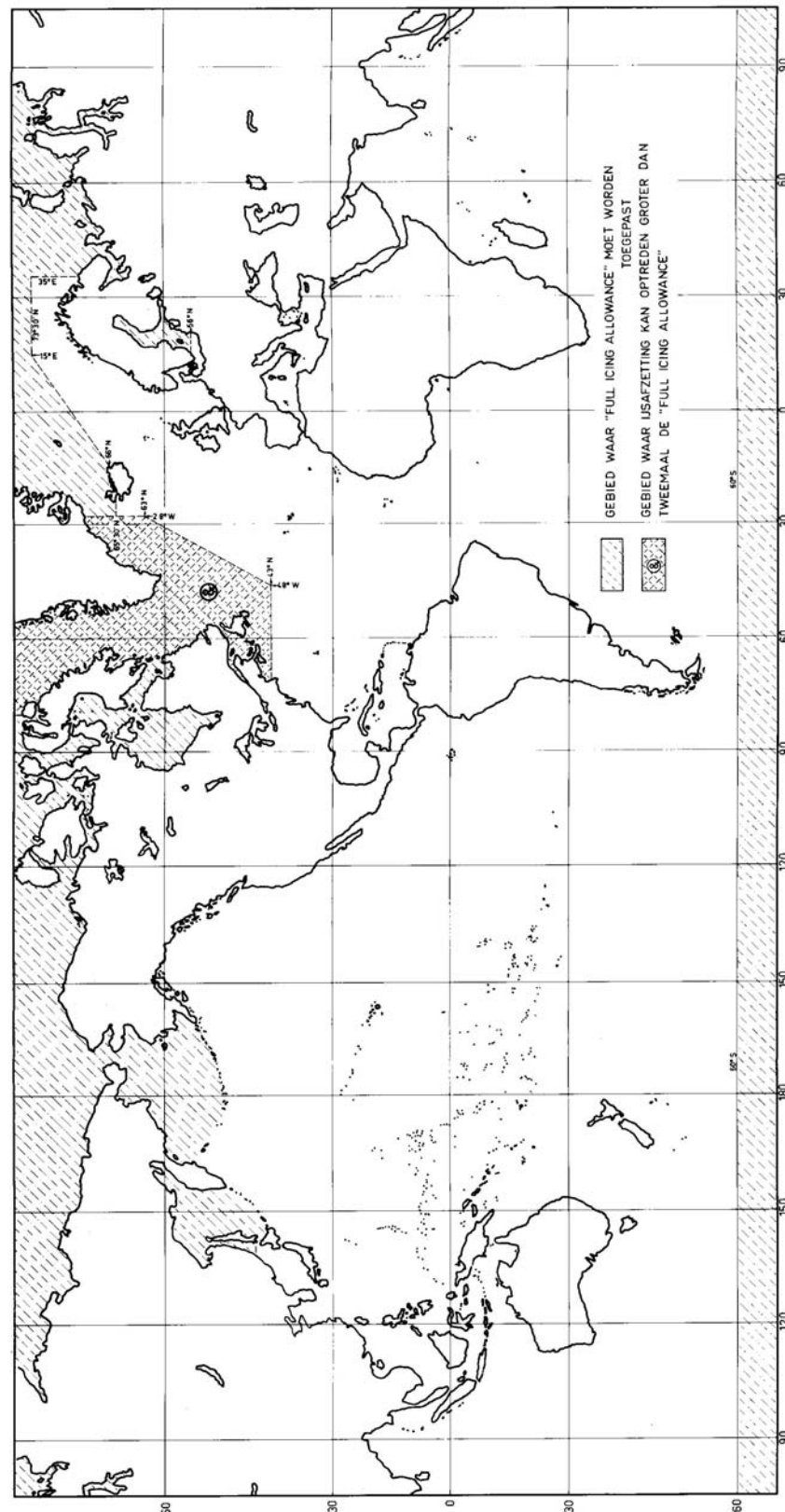
Voorwaarde is dat de dynamische hellingshoek ϕ_{WOD} kleiner is dan de hoek waarbij niet waterdichte openingen te water komen ϕ_{WD} .

ϕ_{WOD} wordt bepaald op basis van: oppervlak a = oppervlak b .

GZ_{WOD} is de arm van het hellend moment van het water aan dek; deze wordt 0 als de top van de verschansing onder water komt.

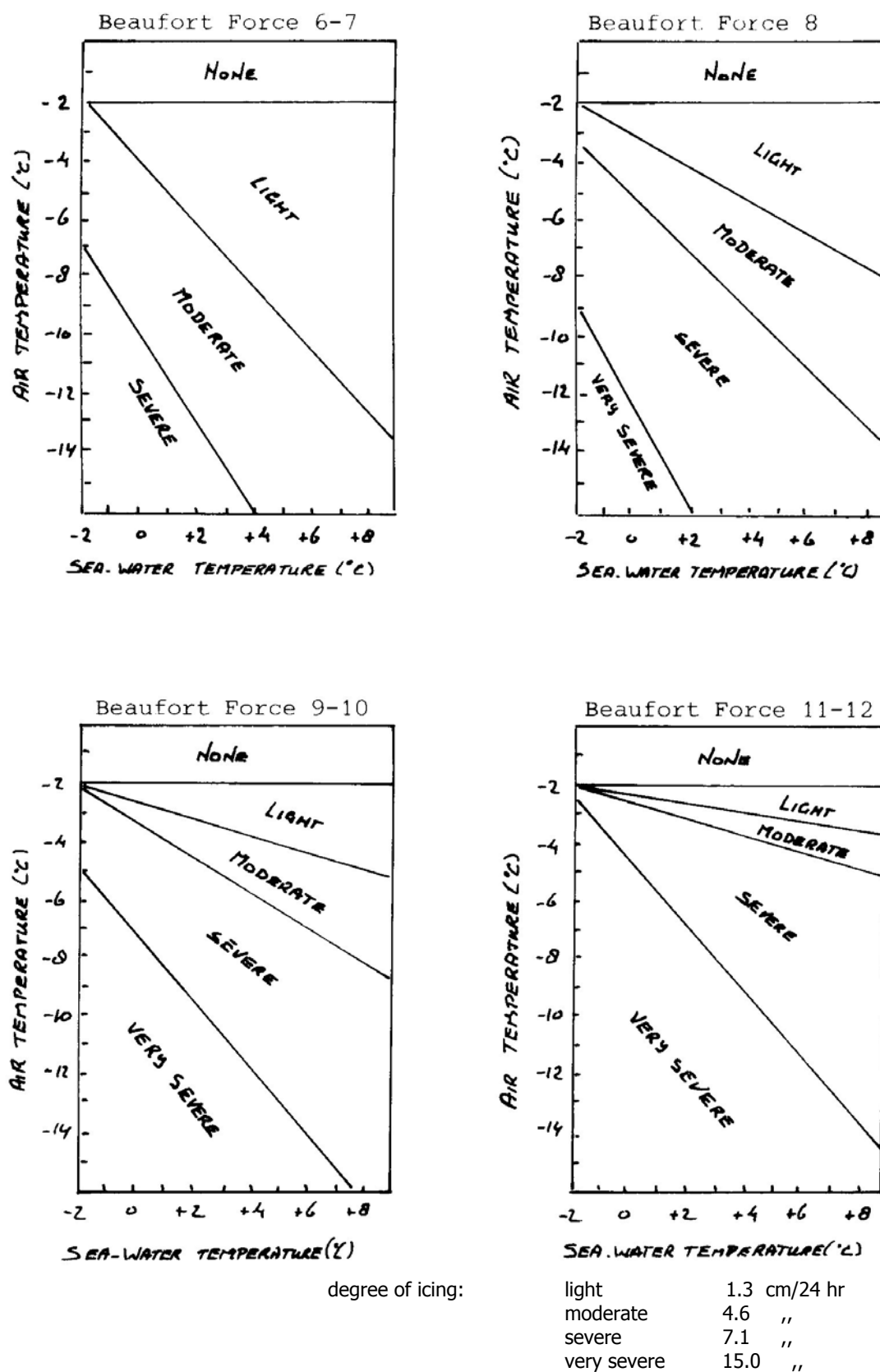
6.9 IJsafzetting

Een verschijnsel dat speciaal de scheepvaart in de noordelijke (zuidelijke) wateren bedreigt is ijsafzetting op dekken, bovenbouwen en tuigage. De vaargebieden met gevaar voor ijsafzetting zijn aangegeven in figuur 6.25 ontleend aan [6.16]. De genoemde "full icing allowance" is een afzetting van 30 kg/m^2 op "exposed weather decks and gangways", 7.5 kg/m^2 op het lateraal oppervlak aan elke zijde van het schip boven water, enz.



figuur 6.25

Voor schepen die in de met & aangegeven gebieden varen, kunnen 50 tot 100% hogere ijsgewichten voorkomen. De omstandigheden welke bepalend zijn voor het optreden van ijsafzetting zijn: zeewater- en luchttemperatuur en windsterkte, zie figuur 6.26 ontleend aan [6.16].

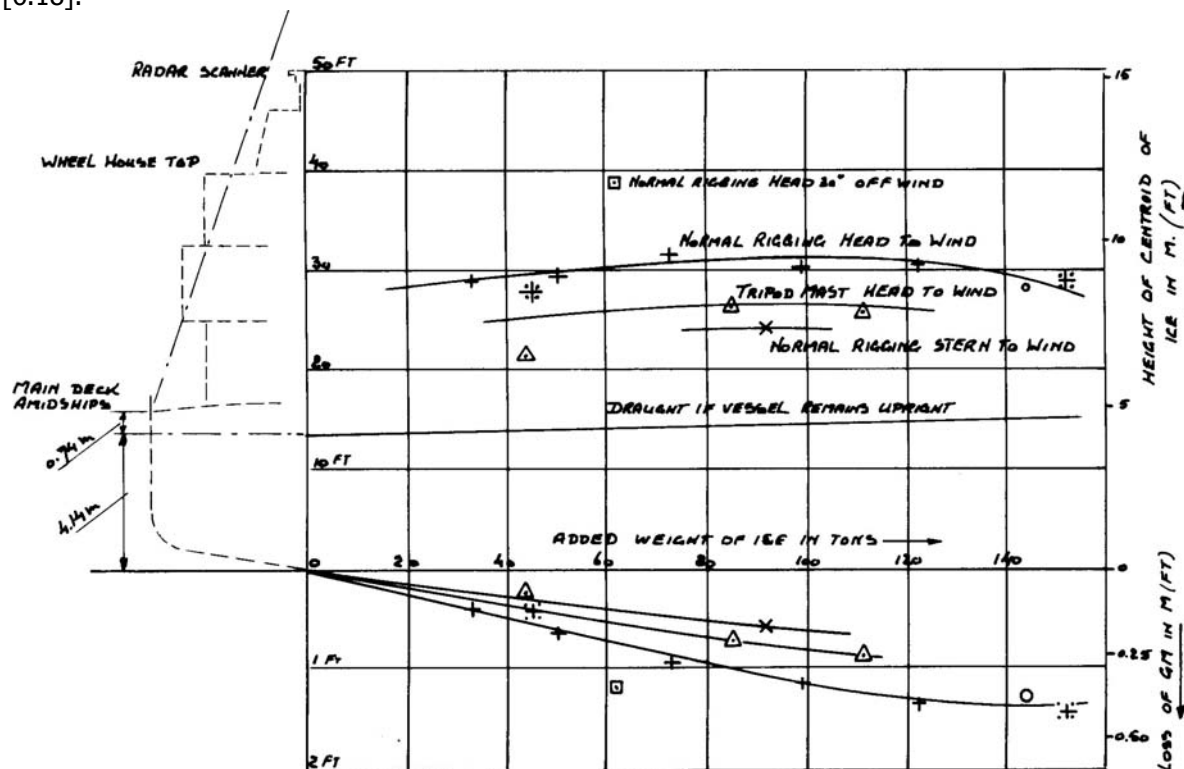


figuur 6.26

Tot slot wordt in figuur 6.27 een overzicht gegeven van de invloed van ijsafzetting op de stabiliteit. Het diagram is bepaald op basis van proeven met een trawler model bij lage temperaturen. Volgens dit dia-

gram kan een reductie in de aanvangsmetacenterhoogte optreden van 0.30 à 0.40 m bij een totaal ijs-
gewicht van " 150 t.

Volgens meer recente gegevens komen ijsafzettingen voor die 2.75 x zo groot zijn als volgens IMCO
[6.18].



figuur 6.27

6.10 Bijzondere gevallen

Draaicirkel varen

Als een schip een draaicirkel vaart treedt een middelpuntvliedende kracht op, aangrijpend in het systeemzwaartepunt, ter grootte van:

$$\rho \nabla \frac{v^2}{R_c}$$

De reactiekracht is in de stationaire toestand even groot en tegengesteld van richting. Aangenomen wordt dat het aangrijpingspunt van de reactiekracht op een hoogte $T/2$ onder de waterlijn ligt, d.w.z. ongeveer het lateraal punt. Nu is:

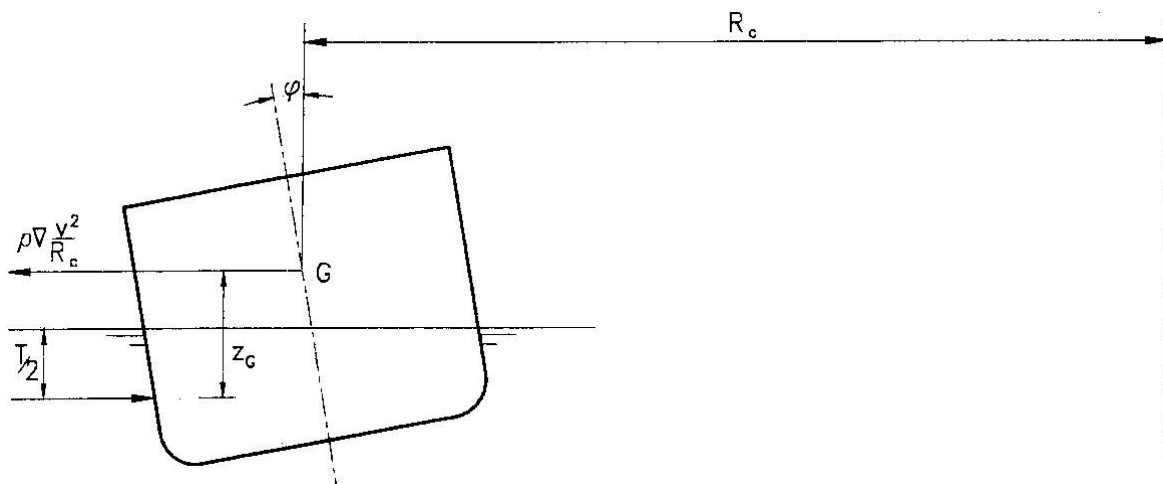
$$M_K = \rho \nabla \frac{v^2}{R_c} z_G \quad M_{ST} = \rho g \nabla GM \sin \varphi$$

$$\text{evenwicht als: } \sin \varphi = \frac{v^2 z_G}{g R_c GM}$$

Voor het moment t.g.v. draaicirkel varen moet volgens [6.19] genomen worden:

$$0.02 \frac{v_s^2}{L} \Delta \left(\text{KG} - \frac{T}{2} \right)$$

Voor al bij schepen met hoge opbouwen en/of grote snelheid kan het gewenst zijn de optredende hellingshoek $\mathbf{N}$ bij draaicirkel varen te controleren. Als regel worden geen grotere hellingshoeken toelaatbaar geacht dan 10° .



figuur 6.28

Passagiers aan één kant

Soms kan het gewenst zijn, vooral bij kleinere passagiersschepen, na te gaan welke slagzij op zal treden als alle passagiers aan één kant van het schip samendrommen op het bovenste toegankelijke dek. Als een passagiersschip een draaicirkel vaart, mag de gezamenlijke invloed van passagiers aan één kant en het draaicirkelmoment geen aanleiding geven tot een grotere hoek dan 10° [6.19]. Ook speelt de zogenaamde paniek hoek ($7 - 8^\circ$) hierbij een rol.

Stabiliteit van kleine zeegaande vaartuigen

Bij de meeste scheepstypen kan de stabiliteit voldoende worden beoordeeld aan de hand van de kromme van armen van statische stabiliteit, bepaald tot de kenterhoek ϕ_K (kenterhoek).

Bij enkele scheepstypen is het verloop van de kromme van armen bij nog grotere hellingshoeken van belang. Dit geldt in het bijzonder voor kleine zeegaande vaartuigen zoals jachten, reddingsboten, visserijvaartuigen, enz.

In figuur 6.29 zijn de krommen van armen weergegeven van twee typen zeiljachten, die deelnamen aan de beruchte "Fastnet" race van 1979.

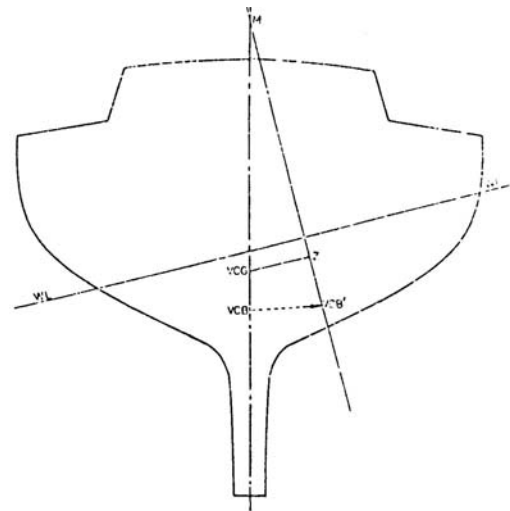
Het valt op dat de dynamische stabiliteit en de kenterhoek van het type "Contessa" aanmerkelijk groter zijn dan die van de Half Tonner. De eerste zal dus lang niet zo gauw in zware zeegang met brekende golven omvergeworpen worden.

Bovendien, eenmaal omvergeworpen zijnde, is de stabiliteit bij 180° wel positief, maar daarbij is slechts een kleine positieve dynamische stabiliteit aanwezig. Indien er dus golven optreden die de "Contessa" konden doen kenteren, wordt deze in korte tijd weer opnieuw "omver"geworpen en richt zich dan weer op.

Bij de Half Tonner is de dynamische stabiliteit anders verdeeld. De dynamische stabiliteit vóór de kenterhoek is kleiner; de dynamische stabiliteit in gekenterde toestand echter is aanmerkelijk groter dan bij de "Contessa". Het betekent dat de Half Tonner eerder in zware zeegang zal kenteren en dat het langer zal duren voordat deze zich weer op kan richten, d.w.z. langer in de gekenterde positie zal blijven liggen. [6.20]

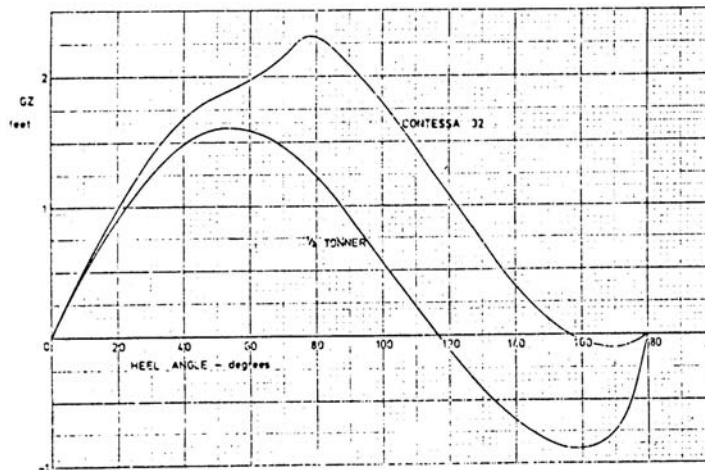
TABLE 1

	Contessa 32	Half Tonner
Displacement (lbs)	10112	8320
LCB (ft aft of STN 5)	-0.86	-0.84
BM (ft)	3.34	4.09
GM (ft)	3.10	2.78
VCG (ft above measured WL)	-0.75	0.65



NOMENCLATURE

- LCB — Longitudinal position of the centre of buoyancy
- VCB — Vertical position of the centre of buoyancy
- VCG — Vertical position of the centre of gravity
- BM — Vertical distance of the transverse metacentre (M) above VCB
- GM — Vertical distance of the transverse metacentre (M) above VCG
- GZ — Horizontal length of the righting lever



Intact GZ Curves for Contessa 32 and Half Tonner

figuur 6.29

6.11 * Bepaling van de GZ_{ϕ} -kromme van een zeilschip m.b.v. computerprogrammatuur

Hier zal uitgelegd worden hoe men aan de GZ_{ϕ} - krommen van een zeilschip van 9 m (hetzelfde zeilschip waarvan op bladzijde 3.20 en 3.21 de carènetabel gegeven is) komt. Het schip wordt geheel gekenterd, dat wil zeggen: GZ_{ϕ} wordt berekend bij hoeken van 0° tot 180° .

Er zijn een aantal variaties gemaakt op het originele schip: het schip is ongeveer 65 cm smaller en breder gemaakt. Hierdoor kan men het resultaat zien van het versmallen en verbreden van een schip. Tevens zijn er berekeningen gemaakt met hetzelfde schip, ook versmald en verbreed, zonder opbouw. Hierdoor kan men zien wat een opbouw doet met de stabiliteit van een schip, zeker als deze geheel gekenterd is.

Met behulp van computerprogrammatuur kunnen de dwarskrommen van het schip verkregen worden. Deze dwarskrommen geven bij verschillende waterverplaatsingen een waarde voor $KN_{\phi} \sin \phi$.

Voor het verkrijgen van deze krommen moet men eerst de scheepsvorm definiëren en invoeren in het programma, vervolgens moet men het bereik van de waterverplaatsing en een bepaalde stapgrootte invoeren en de hoeken, waarbij de $KN_{\phi} \sin \phi$ berekend moet worden, opgeven.

Uitleg berekeningen van de GZ_{ϕ} - krommen:

Bij alle drie de zeilschepen heeft men gestreefd naar een zelfde stabiliteitsmoment, namelijk 100 kgm/graad. Alle drie de zeilschepen hebben ook een zelfde diepgang gekregen, namelijk 0.60 m, hetgeen leidt tot verschillende waterverplaatsingen, die te vinden zijn in de carènetabellen. Het smalle schip is uiteraard het lichtst, de brede het zwaarst. Het smalle schip heeft door het voor deze vorm van het schip relatief hoge stabiliteitsmoment een zeer hoge GM.

$$GM = \frac{M_{ST}}{\rho g \nabla \sin \left(1 * \frac{\pi}{180} \right)} = \frac{100}{\rho g \nabla \sin \left(1 * \frac{\pi}{180} \right)}$$

Dit resulteert in een zeer lage KG, immers: $KG = KM - GM$.
(KM is gegeven in de carènetabellen)

Dit is zeer onrealistisch, omdat onderin dit schip dan veel gewicht moet zijn, wat leidt tot meer gewicht, wat dus niet meer klopt met het oorspronkelijke gewicht. Maar het gaat hier om het verschil tussen de drie variaties.

Uitvoer berekeningen voor het zeilschip met opbouw:

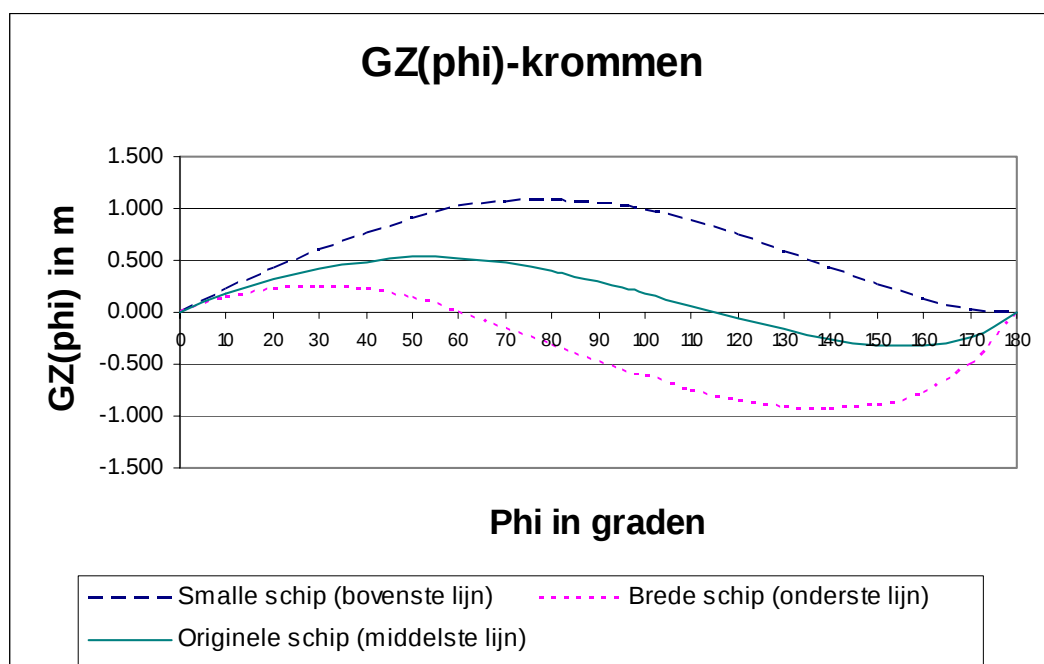
$KN_{\phi}\sin\phi$ is gegeven in de dwarskrommentabellen.

GZ-kromme van het smalle schip met opbouw		
Beide schepen hebben een diepgang van 0.60 m		
Gestreefd Mst =	100	kgm/graad
Gegevens:		
Waterverplaatsing	4.58	ton
KM	1.413	m
GM = Mst/(waterverpl.*sin(1*pi/180))		
KG = KM-GM		
GZ(phi) = KNsin(phi)-KGsin(phi)		
GM =	1.251	m
KG =	0.162	m

GZ-kromme van het originele schip met opbouw		
Beide schepen hebben een diepgang van 0.60 m		
Gestreefd Mst =	100	kgm/graad
Gegevens:		
Waterverplaatsing	5.66	ton
KM	1.925	m
GM = Mst/(waterverpl.*sin(1*pi/180))		
KG = KM-GM		
GZ(phi) = KNsin(phi)-KGsin(phi)		
GM =	1.012	m
KG =	0.913	m

GZ-kromme van het brede schip met opbouw		
Beide schepen hebben een diepgang van 0.60 m		
Gestreefd Mst =	100	kgm/graad
Gegevens:		
Waterverplaatsing	6.66	ton
KM	2.545	m
GM = Mst/(waterverpl.*sin(1*pi/180))		
KG = KM-GM		
GZ(phi) = KNsin(phi)-KGsin(phi)		
GM =	0.860	m

Grafiek van het zeilschip met opbouw



figuur 6.30

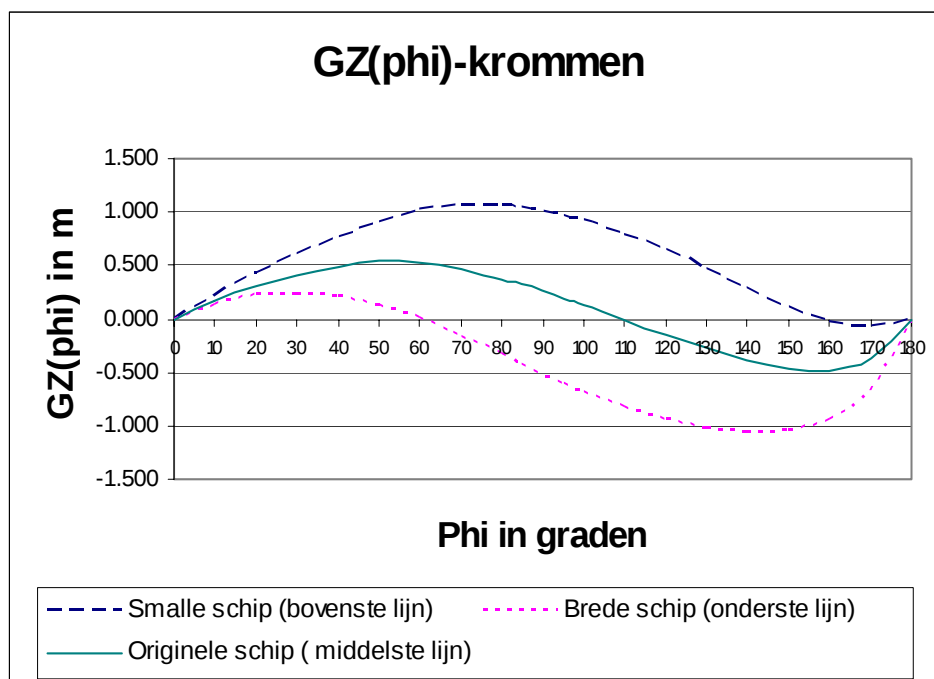
Uitvoer berekeningen voor het zeilschip **zonder opbouw**:

GZ-kromme van het smalle schip zonder opbouw		
Beide schepen hebben een diepgang van 0.60 m		
Gestreefd Mst =	100	kgm/graad
Gegevens:		
Waterverplaatsing	4.58	ton
KM	1.413	m
$GM = Mst / (waterverpl. * \sin(1 * \pi / 180))$		
$KG = KM - GM$		
$GZ(\phi) = KN \sin(\phi) - KG \sin(\phi)$		
GM =	1.251	m

GZ-kromme van het originele schip zonder opbouw		
Beide schepen hebben een diepgang van 0.60 m		
Gestreefd Mst =	100	kgm/graad
Gegevens:		
Waterverplaatsing	5.66	ton
KM	1.925	m
$GM = Mst / (waterverpl. * \sin(1 * \pi / 180))$		
$KG = KM - GM$		
$GZ(\phi) = KN \sin(\phi) - KG \sin(\phi)$		
GM =	1.012	m

GZ-kromme van het brede schip zonder opbouw		
Beide schepen hebben een diepgang van 0.60 m		
Gestreefd Mst =	100	kgm/graad
Gegevens:		
Waterverplaatsing	6.66	ton
KM	2.545	m
$GM = Mst / (waterverpl. * \sin(1 * \pi / 180))$		
$KG = KM - GM$		
$GZ(\phi) = KN \sin(\phi) - KG \sin(\phi)$		
GM =	0.860	m

Grafiek van het zeilschip zonder opbouw



figuur 6.31

Conclusie:

Allereerst wordt er gekeken naar de GZ_{ϕ} - krommen van het zeilschip met opbouw, zie figuur 6.30. Te zien is dat het smalle schip abnormaal stabiel is. Dit komt doordat deze een onrealistisch lage KG waarde heeft, zoals in het begin uitgelegd is. Het originele schip heeft daarentegen wel een zeer realistisch verloop. Het heeft een kenterhoek bij 115° en het heeft in de gekenterde positie een lagere stabiliteitsarm dan in de normale positie. Het brede schip kentert al bij een hoek van 60° en zal in alle waarschijnlijkheid in de gekenterde positie blijven liggen, omdat de stabiliteitsarm in deze positie veel groter is.

Als men nu kijkt naar het verschil tussen de grafiek van het schip met of zonder opbouw ziet men twee verschillen, namelijk:

- 1) de kenterhoek N_K van het schip met opbouw is groter (zie vooral het originele schip)
- 2) het schip ligt in gekenterde positie instabieler met opbouw dan zonder.

Hier volgt een uitleg van de twee verschillen:

- 1) Wanneer men het schip met een slagzij van 90° voorstelt, kan men begrijpen dat de opbouw, welke nu deels onder water ligt, waterverplaatsing genereert. Deze waterverplaatsing zorgt ervoor dat het drukingspunt van het schip met 90° slagzij naar buiten wordt verplaatst. Hierdoor wordt de kenterhoek N_K groter, omdat de stabiliteitsarm groter is geworden.
- 2) Beschouw het schip op zijn kop en beschouw op de opbouw een nieuwe K, namelijk K' . De $K'G$ waarde zal voor het schip met opbouw ongeveer gelijk zijn aan het schip zonder opbouw. De BM waarden zullen ook niet veel van elkaar verschillen, omdat de traagheidsmomenten van beide schepen niet veel zullen verschillen; het traagheidsmoment is vooral afhankelijk van de waterlijn-breedte en deze is niet veel verschillend; zie formule $BM = I_t / L$. Nu volgt nog de $K'B$ waarde; deze is voor het schip met opbouw lager dan voor het schip zonder. Dit komt omdat de opbouw waterverplaatsing genereert. Met de formule:
- 3)

$$GM = K'B + BM - K'G$$

volgt hieruit dat het schip met opbouw in de gekenterde positie een lagere GM waarde heeft dan het schip zonder opbouw; dus het schip met opbouw is in de gekenterde positie instabieler.

Een opbouw levert dus een bijdrage aan het terug kenteren van een zeilschip. In de normale positie levert een opbouw niet veel op, behalve dan dat deze de KG waarde verhoogt, wat hier niet in de berekeningen meegenomen is.

6.12 * Literatuur hoofdstuk 6

- [6.1] "Benaderingsmethode voor het bepalen van de invloed van vrije vloeistofoppervlakken op de stabiliteit bij grote hellingshoeken"
Ir. L.P. Herfst
Publ. No. 5 van het Scheepsbouwkundig laboratorium der Technische Hogeschool te Delft en Schip en Werf 1956 blz. 53 - 58
- [6.2] "Beaufort wind scale and calculated numerical values of wind speed and wind pressure curves above sea level"
PETKOVTC
I.S.P. 1964, no.117, blz. 193 - 202
- [6.3] "Wind resistance of merchant ships"
R.M. Isherwood
Vickers Limited Ship Model Experiment 1972, tank St Albans
- [6.4] "Heeling moment due to the wind pressure on small vessels"
Kinoshita & Okada
Proceedings of the Symposium on the behaviour of Ships in a seaway
Wageningen 1957 blz. 527 - 542

- [6.5] "Windkräfte an Überwasserschiffen"
Wagner
JSTG 1967 blz. 226 - 250
- [6.6] "Estimation of wind forces on offshore drilling platforms"
J.E. Aquirre & T.R. Boyce
TRINA 1974 blz. 93 - 111
- [6.7] "On damaged stability of drilling vessels"
Mc. Taggart en Gunderson
SNAME 1973, blz. 348 - 360
(discussie bijdrage E.K. Haciski blz. 357)
- [6.8] Resolution A.562 (14): "Recommendation on a severe wind and rolling criterion (weather criterion) for the intact stability of passenger and cargo ships of 24 metres in length and over"
SLF 30/18, 20-3-1985
- [6.9] IMCO: International Conference on Safety of life at sea 1974, Chapter VI Carriage of grain
(blz. 198 - 223)
- [6.10] IMCO, Resolutie A184 (VI): "Adoption of grain regulations as equivalent to SOLAS 1960
(zie bibl. no. K82 - 1970 E. blz. 138 - 167)
- [6.11] Bekendmaking aan de scheepvaart No.128/1977
"Stabiliteit van schepen, geen passagiersschepen of vissersvaartuigen zijnde"
- [6.12] "Stabiliteit van bevoorradingsschepen"
Ir.H.Vermeer, Schip en Werf No.18/1979 blz.363 - 370
- [6.13] "Determining heeling moment due to effect of water in deck well"
PFV XIV/4/1 7-9-1973, USSR
- [6.14] "Effect of water on deck"
PFV/243, 28-1-1975, USSR
- [6.15] "Third draft of an international convention for the safety of fishing vessels 1976"
PFV/8, 23-10-1974
- [6.16] "External forces and intact stability"
A review in 1976
N. Hogben, May 1976
- [6.17] "Fishing boats of the world: 2"
Fishing news (books) Ltd, London 1960
- [6.18] Trawler-icing; a compilation of work done at the National Research Council of Canada 1980
J.R. Stallabrass
(bibl.no K52 - MD56)
- [6.19] Resolution A167: "Recommendation on intact stability for passenger and cargo ships under 100 m in length"
K82 - 1970 U.E., blz.53 - 68
- [6.20] "1979 Fastnet-race inquiry"
The Royal Yachting Association and Royal Ocean Racing Club

HOOFDSTUK 7

7 Stabiliteit in zeegang

7.1 Inleiding

Tot nu toe is steeds de dwarsscheepse stabiliteit onderzocht van schepen in vlak water. Meestal is de zee echter niet vlak, maar vertoont een min of meer golvend oppervlak. Het is daarom van belang na te gaan hoe de stabiliteit van een schip verandert ten gevolge van zeegang.

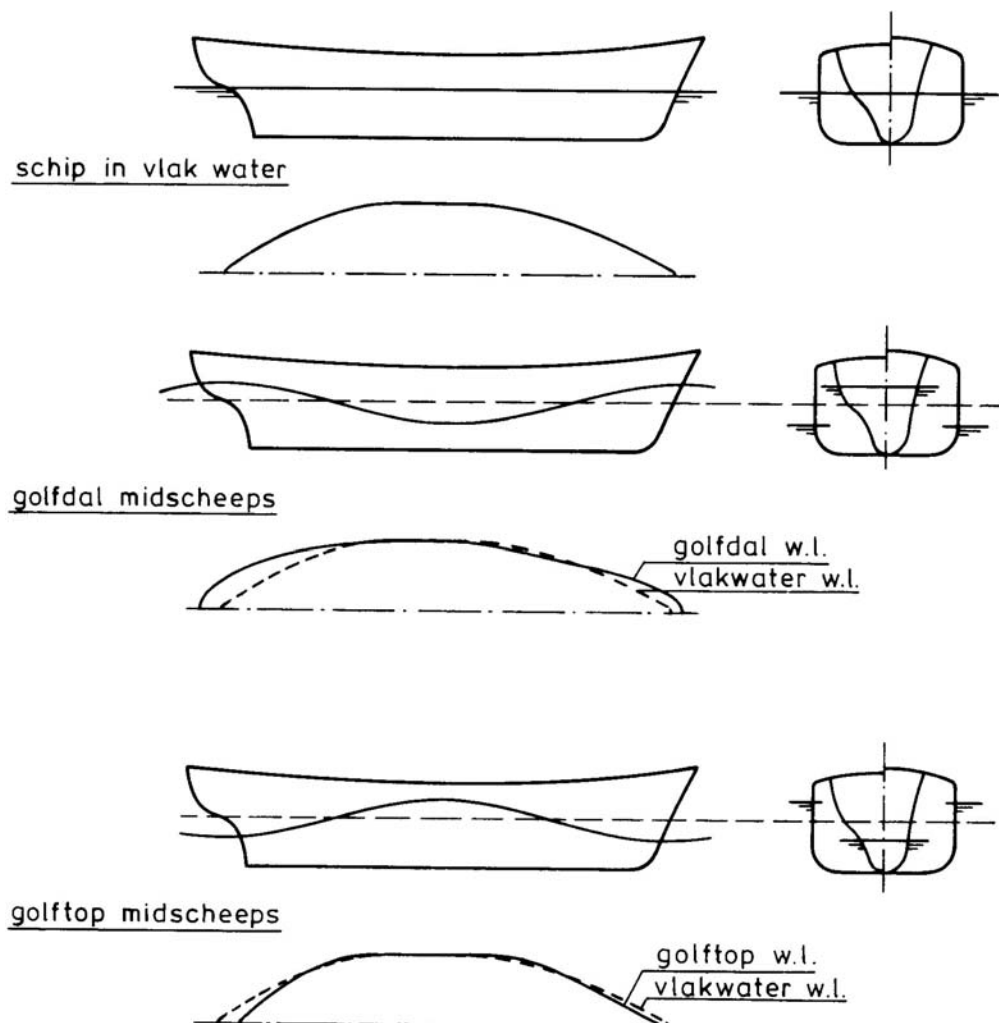
Daarbij zijn vooral van belang de langsscheepse golven, waarbij de golven zich voortplanten in de lengterichting van het schip. De invloed van deze golven kan worden nagegaan met behulp van de kennis van de stabiliteit door middel van een zogenaamde quasi-statische beschouwingswijze.

Hierbij wordt het schip schijnbaar in rust gehouden ten opzichte van de golf, waarbij schip en golf niet van plaats veranderen; er is dus sprake van een momentopname. Bij deze toestand van schijnbare rust wordt het evenwicht en de grootte van het stabiliteitsmoment onderzocht.

7.2 Stabiliteit in langsscheepse golven

Hierbij zijn twee karakteristieke situaties te onderscheiden, namelijk:

- a. golfdal midscheeps
- b. golftop midscheeps, zie figuur 7.1



figuur 7.1

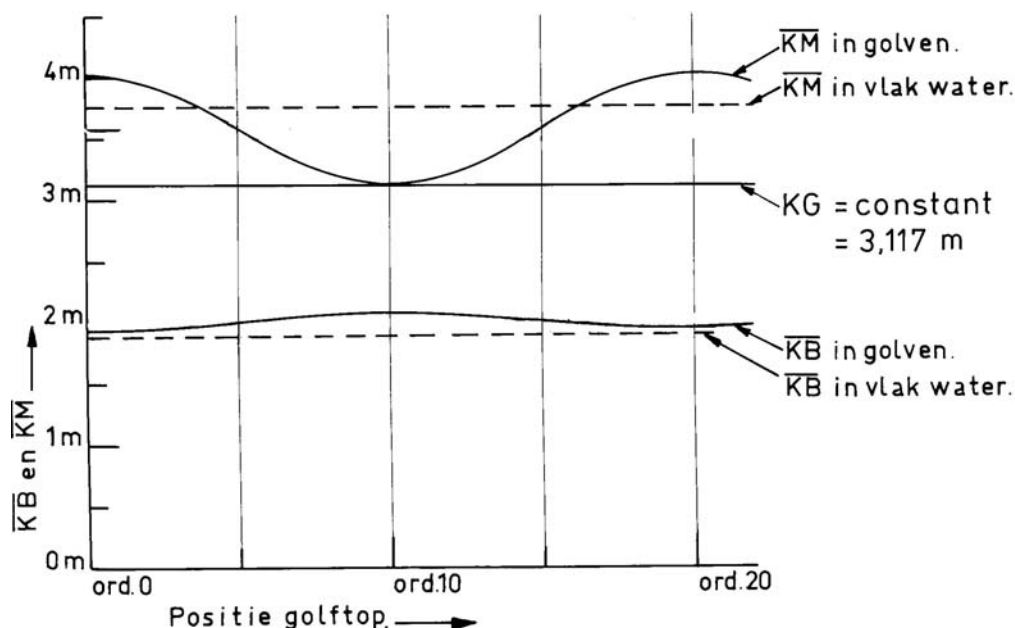
Bij het golfdal midscheeps en de golftoppen bij boeg en hek ontstaat een waterlijn die in het midden gelijk is gebleven, maar aan de uiteinden, ten gevolge van de uitwaaiende spantvorm in vóór- en achterschip, is verbreed ten opzichte van de vlakwaterlijn. Het breedtetraagheidsmoment van de waterlijn neemt nu toe en daarmee BM; ook KB zal iets toenemen. KM is dus groter dan in de vlakwatertoestand en aangezien KG constant is wordt de aanvangsmetacenterhoogte groter.

Bij de golftop midscheeps en de golfdalen bij boeg en hek ontstaat een waterlijn die in het midden gelijk is gebleven, maar nu aan de uiteinden is versmald ten opzichte van de vlakwaterlijn. Het breedtetraagheidsmoment van de waterlijn neemt nu af en daarmee BM; KB neemt ook in dit geval iets toe, maar minder dan BM afneemt, zodat GM afneemt.

In [7.1] heeft ing J. Punt voor een kustvaartuig enige berekeningen uitgevoerd van de verandering van KB en KM, als functie van de positie van de golftop in lengterichting. De belangrijkste resultaten hierbij zijn:

	vlak water	golftop midscheeps	golfdal midscheeps
KB (m)	1.89	2.08	1.95
BM (m)	1.87	1.04	2.10
KM (m)	3.76	3.12	4.05
KG (m)	3.12	3.12	3.12
GM (m)	0.64	0.00	0.93

In deze tabel valt op dat bij golftop midscheeps de aanvangsmetacenterhoogte, van 0.64 m bij vlak water, tot 0 gereduceerd is. Ook figuur 7.2 laat duidelijk zien hoe GM varieert met de positie van de golftop ten opzichte van de scheepslengte en 0 wordt als de golftop met ord.10 samenvalt.



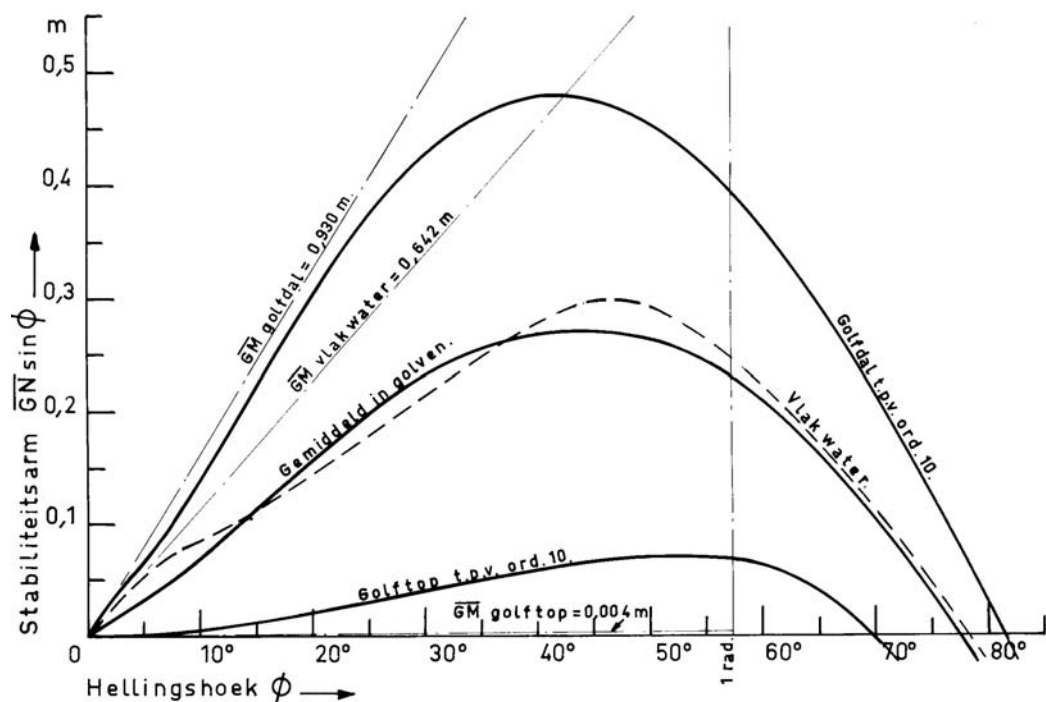
figuur 7.2

Het zal duidelijk zijn dat bij klein snelheidsverschil tussen schip en achter inkomende golven de toestand $GM = 0$ enige tijd zal duren. Daarmee wordt een gevaarlijke toestand geschapen, tijdens welke kentergevaar voor het schip ontstaat.

Bij het varen tegen golven in is de relatieve snelheid tussen schip en golven veel groter, waardoor de tijd dat de stabiliteit minimaal of zelfs negatief kan worden zeer kort is en daardoor ongevaarlijk.

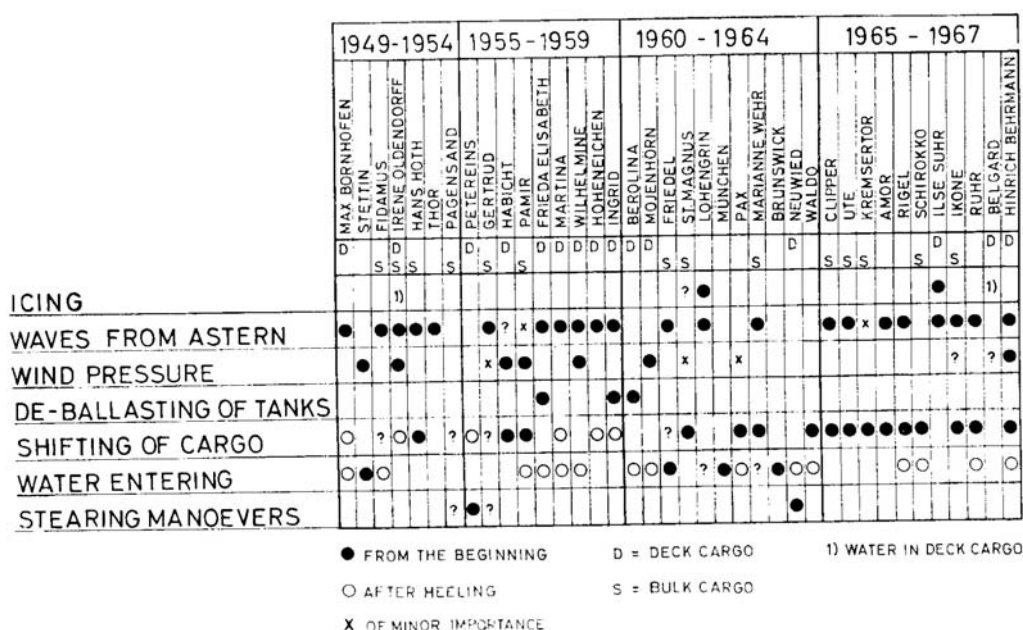
Wanneer de armen van statische stabiliteit worden berekend en getekend ontstaat figuur 7.3.

Ook uit deze krommen blijken duidelijk de grote verschillen in stabiliteit in vlak water, golftop midscheeps en golfdal midscheeps.



figuur 7.3

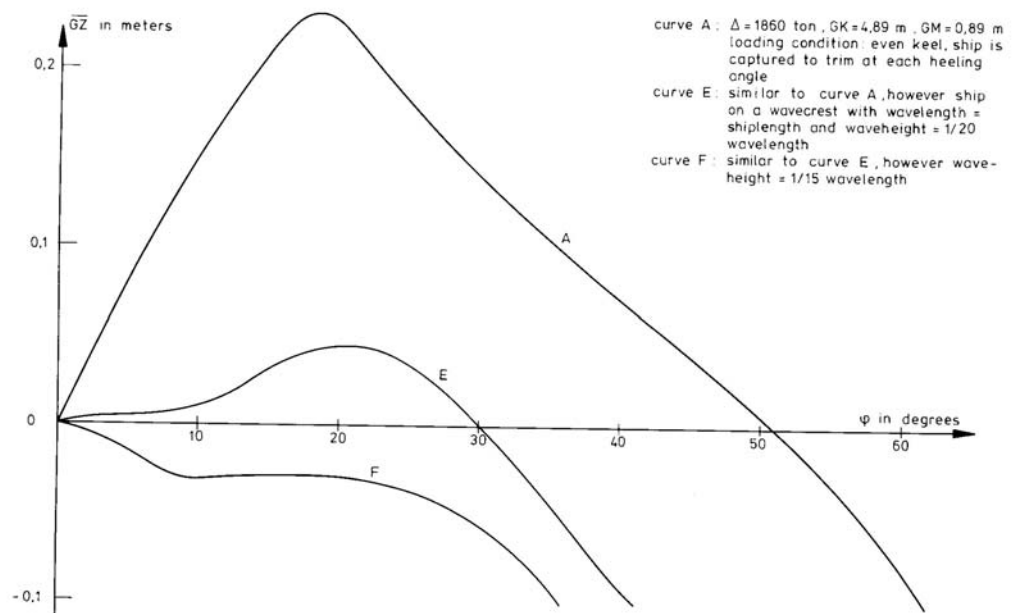
Het gevaar van achter inkomende golven wordt duidelijk gedemonstreerd in figuur 7.4, waarin de oorzaken zijn aangegeven van het kenteren van 38 Duitse schepen tussen 1949 en 1967. In niet minder dan 22 gevallen worden achter-inkomende golven als oorzaak aangegeven. Pas na ongelukken in de beginjaren vijftig is de stabiliteitsvermindering door achter inkomende golven actueel geworden [7.3]. Het verschijnsel was al veel langer bekend, zie [7.4 en 7.5].



figuur 7.4

In figuur 7.5 zijn de krommen van armen gegeven van een bevoorradingschip (Smit Lloyd 102), dat vergaan is nabij de Zuid-Afrikaanse kust in 1970.

De reductie in stabiliteit, wanneer het schip zich op een golftop bevindt met een golfhoogte van 1/20 golflengte is weergegeven door lijn E. Bij een golfhoogte van 1/15 golflengte blijkt in het geheel geen stabiliteit meer aanwezig te zijn. Verder bleek dat overkomend water zich had verzameld in de open pijpen die als deklast op het achterdek werden vervoerd.



figuur 7.5

Bij het kenteren van schepen in achter inkomende golven kunnen drie verschillende vormen worden onderscheiden, namelijk:

a. ten gevolge van parametrische resonantie

Deze vorm van kenteren ontstaat door resonantie van het schip met een variërende aanvangsstabiliteit en daardoor een variërend stabiliteitsmoment ten gevolge van het passeren van de golven. Door dit zogenaamde "parametrisch slingeren" kunnen zeer snel grote slingerhoeken worden opgebouwd totdat het schip kentert of de slingerbeweging dempt snel uit en het schip komt even tot rust; daarna begint het weer van voren af aan.

– ten gevolge van zuiver stabiliteitsverlies

Deze vorm treedt op bij hoge snelheid, wanneer het schip langzaam wordt ingehaald door één of meer hoge en steile golven. Op deze wijze kan enige tijd een zeer kleine of zelfs negatieve stabiliteit optreden in een quasi-statische situatie met de golftop midscheeps, zodat het gevaar bestaat dat het schip zal kenteren.

– "broaching"

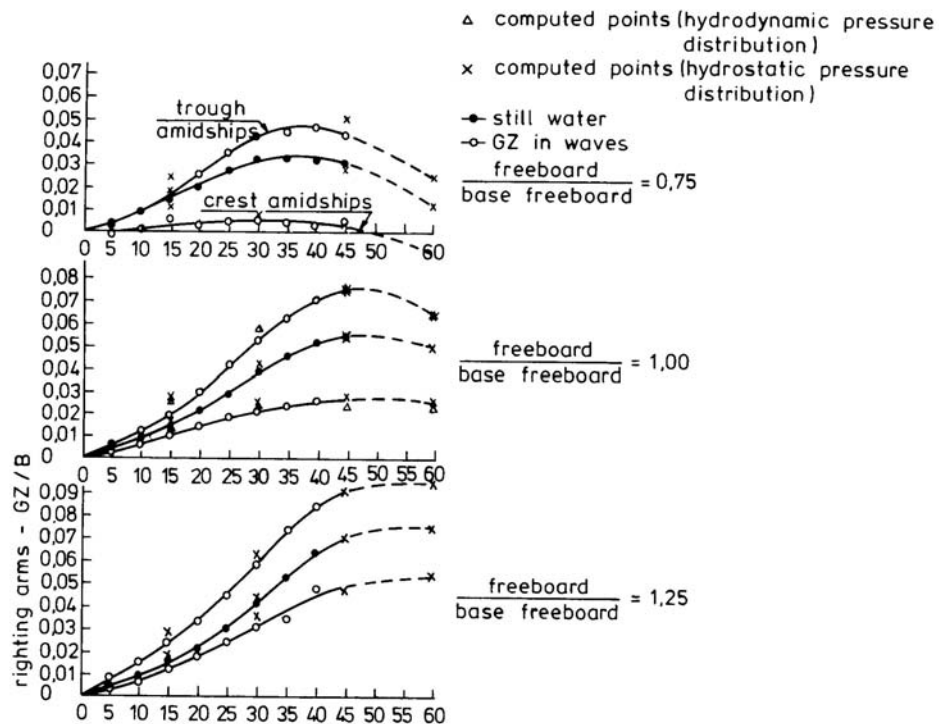
"Broaching" of "snijden" treedt op wanneer het schip wordt ingehaald door steile en brekende golven. Het schip kan hierdoor uit het roer lopen waardoor een hellend moment optreedt en als het schip daarbij ook nog getroffen wordt door een brekende golf zal het gevaar van kenteren zeer groot zijn. Reddingsboten kunnen gevoelig zijn voor dit verschijnsel, namelijk bij het binnenlopen met achter inkomende golven van de haven.

7.3 Berekening van de stabiliteit in zeegang

Voor de berekening wordt het gehele schip in een golf geplaatst, zodanig dat de opwaartse kracht gelijk is aan het gewicht van het schip en bovendien zodanig dat $x_B = x_G$.

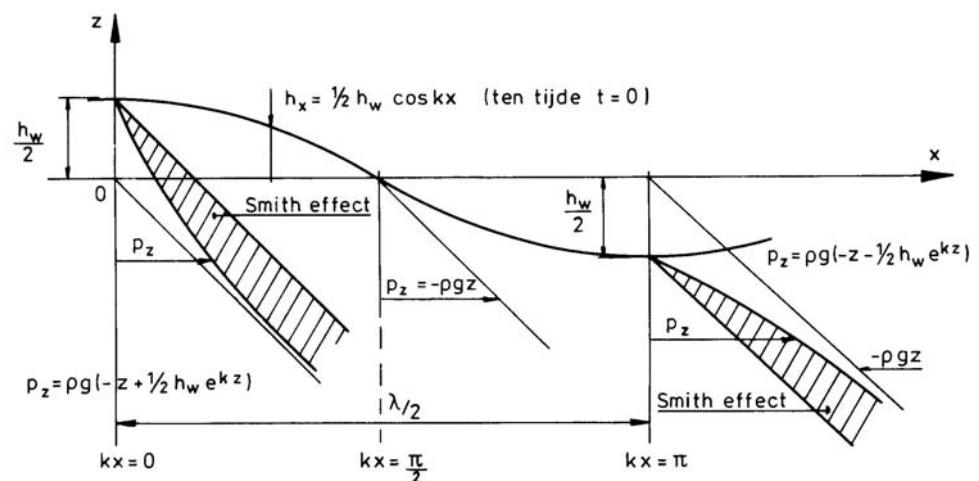
Het oprichtend moment moet bepaald worden door integratie van de opwaartse momenten van de gehele dwarsdoorsnede van het schip over de lengte, waarbij elke dwarsdoorsnede een eigen plaatselijke diepgang heeft, in overeenstemming met de plaatselijke waterlijn volgens het golfprofiel. Daarbij wordt de golflengte in de regel gelijk genomen aan de scheepslengte en de golfhoogte aan $1/20 L$.

Is het vrijboord klein, zodat een golf zich over het dek en de gangboorden kan uitbreiden, dan treedt een sterkere vermindering van de stabiliteit op met een golftop midscheeps dan anders het geval zou zijn. Voor stabiliteit in zeegang is een voldoende hoog vrijboord zeer belangrijk, zie figuur 7.6.



figuur 7.6

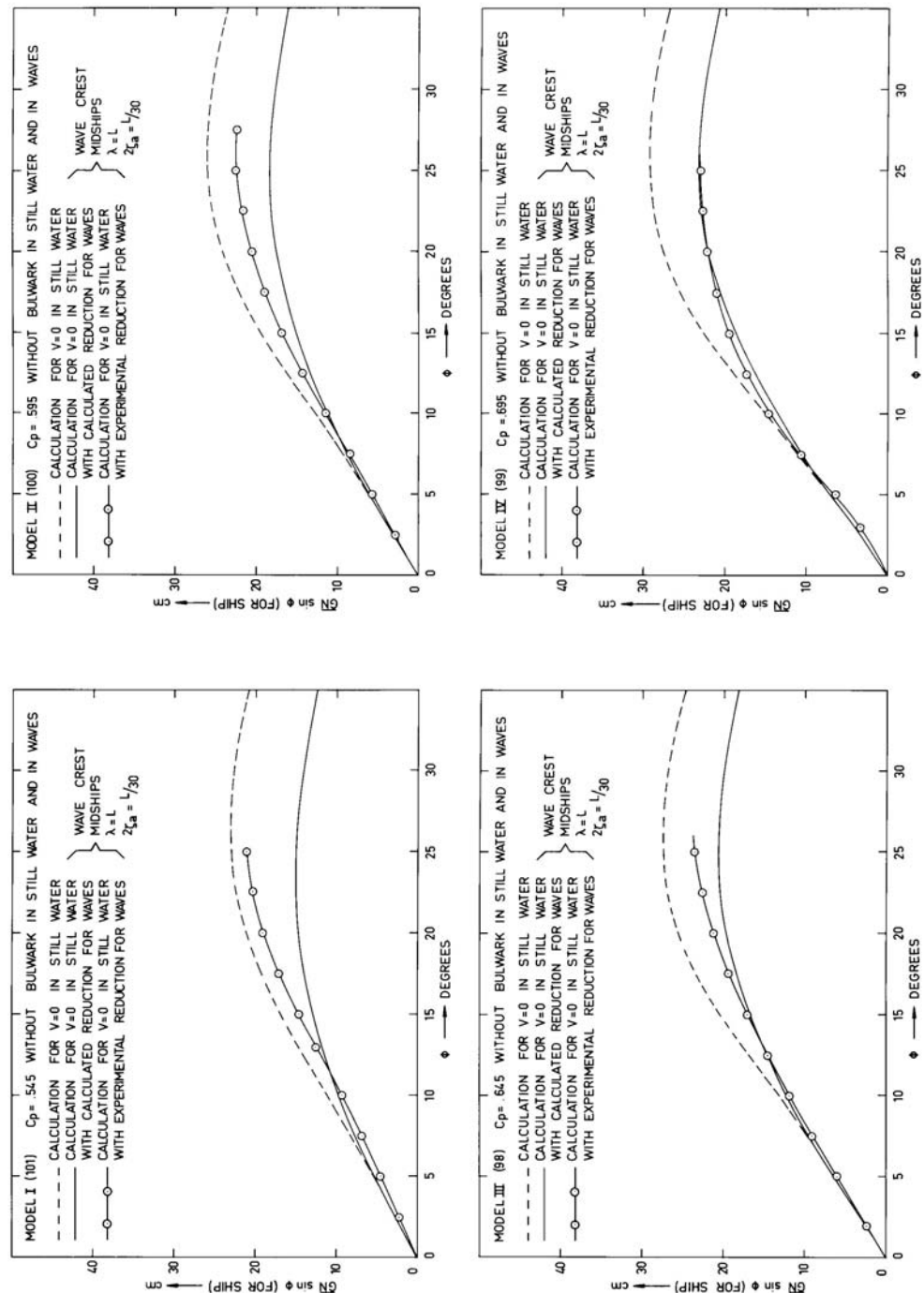
Bij bovengenoemde berekening wordt soms rekening gehouden met het "Smith" effect. Hieronder wordt verstaan het verschijnsel dat bij golven, door de orbitaalbeweging van de waterdeeltjes en de daarbij optredende centrifugaalkrachten, niet meer opgaat dat de druk in het water evenredig is met de afstand tot het wateroppervlak. De waterdruk is in een golftop namelijk lager dan lineair met de afstand tot het wateroppervlak overeenkomt, terwijl de waterdruk in een golfdal juist hoger is dan lineair met de afstand tot het wateroppervlak overeenkomt, zie figuur 7.7.



figuur 7.7

$$\text{algemeen: } p_z = pg \left\{ -z + \frac{1}{2} h_w e^{kz} \cos(kx - \omega t) \right\}$$

Ten behoeve van de berekening van de oprichtende momenten dient dan een variabele dichtheid van het zeewater in rekening te worden gebracht. In figuur 7.8 zijn ter vergelijking de resultaten opgenomen van berekeningen met hydrostatische drukverdeling, resp. met een hydrodynamische (Smith effect). Het blijkt dat in vele gevallen de extra nauwkeurigheid nauwelijks opweegt tegen de extra complicaties in de berekening.



figuur 7.8

7.4 * Modelproeven

Behalve door berekening zijn ook talrijke modelproeven uitgevoerd met varende modellen in natuurlijke golven. Veel bekendheid hebben de proeven gekregen in de Plöner See en in de baai van San Francisco. [7.8] [7.9] [7.10]

In het laboratorium van Scheepshydronechanica zijn modellen van viskotters onderzocht in achter inkomende golven, figuur 7.8 [7.11].

7.5 * Criteria voor de beoordeling van de stabiliteit bij achter inkomende golven

Door diverse landen zijn voorstellen geformuleerd betreffende de stabiliteit van schepen bij achter inkomende golven.

Deze voorstellen geven dan minimum waarden voor bijvoorbeeld de aanvangs-stabiliteit, de maximale stabiliteitsarm, de dynamische weg, de dynamische rest stabiliteit (D_r), de "hullform" factor of de tijd dat het schip instabiel is, uitgedrukt in de slingertijd van het schip. Dit alles bij de situatie van de golftop midscheeps. [7.12] [7.13] [7.14] [7.15] [7.16]

7.6 * Literatuur hoofdstuk 7

- [7.1] "De stabiliteit van een kustvaartuig van het gladdek type in langsscheepse golven"
J. Punt
Schip en Werf 1966 blz. 280 - 189
- [7.2] "Lessons from capsizing casualties"
C. Boie
Schip en Werf 1969 blz. 184 - 189
- [7.3] "Stabilitäts einbuszen in Seegang und durch Koksdecklast"
Prof. dr. ing. K. Wendel
Hansa 1954 bl. 2009 - 2022
- [7.4] Theorie du navire
J. Pollard et A. Dubebout
Paris, 1892
Blz. 279, "Calcul de la stabilité d'un navire debout à une houle donnè"
- [7.5] "Effect of waves on transverse stability"
G.R. Edgar
Trans. Inst. of Eng. and Ships in Scotland
vol. LXIV 1920/21 blz. 149 - 180
- [7.6] IMCO PAPER STAB XVI/5/1, submitted by the Netherlands
"Ships handling cargo at sea"
- [7.7] "Transverse stability of a ship in a seaway"
J.R. Paulling
Journal of Shipresearch march 1961, blz. 37 - 49
- [7.8] "Kenterversuche mit einem Modell in natürlichem Seegang"
S. Kastner
Schiffstechnik 1962, Heft 48 blz. 161 - 164
- [7.9] "Modellversuche zur Kentersicherheit in der Bucht von San Franzisko"
S. Kastner
Hansa 1974, no. 22, blz. 1921 - 1926
- [7.10] "Ship motions and capsizing in astern seas
S.J. Chou e.a.
Department of transportation, United States
Coast Guard report no. CG - D - 103 - 75 - Dec. 1974
- [7.11] Stability of beamtrawlers in following seas
W. Beukelman and A. Versluis
Report no. 295, Laboratorium voor Scheepsbouwkunde, januari 1971

- [7.12] "Intact Stability of Ships in following waves"
Günther Helas
Second International Conference on Stability of ships and Ocean Vehicles, Tokyo, Oct. 1982.
Paper P1 - 6, blz. 71 - 81

- [7.13] "An investigation on intact stability of fast cargo liners"
Peter Blume and Hans-Günther Hattendorff
Second International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, Tokyo, Oct.1982,
Paper S IV - 1a, blz. 101 - 112

- [7.14] "Conclusions from the Results of Tank Tests regarding the Stability of Modern Ship Designs"
P. Blume and H.G. Hattendorff
Hamburgische Schiffbau - Versuchsanstalt, Hamburg 24/25 may 1984

- [7.15] IMCO-document STAB 27/5/1, d.d. 22 Januari 1982
Submitted by the Nethierlands

- [7.16] „Some aspects of ship motions in irregular beam and longitudinal waves"
B. de Jong, proefschrift d.d. oktober 1970

HOOFDSTUK 8

8 Dwarsscheepse stabiliteit (beoordeling)

8.1 Inleiding

Bij de beoordeling van de stabiliteit dient voorop te worden gesteld dat in dit hoofdstuk alleen de zgn. intacte stabiliteit aan de orde is. Daar tegenover staat de lekstabiliteit of "damage stability" die in een later stadium ter sprake komt. De laatste handelt dus over het schip in beschadigde conditie, ten gevolge van een aanvaring of bodembeschadiging en over de mogelijkheid dat te overleven. Het is echter heel goed mogelijk dat in bepaalde gevallen niet de intacte stabiliteit maatgevend is voor de stabiliteit, maar de lekstabiliteit.

Een ander onderscheid dat moet worden gemaakt is het stabiliteitsonderzoek van een schip in het ontwerpstadium enerzijds en de stabiliteit van een schip in bedrijf anderzijds.

De werf of de ontwerper zal in een vroeg stadium van het ontwerp stabiliteitsberekeningen maken voor bepaalde wel omschreven beladingstoestanden. Deze zijn meestal min of meer gefingeerd namelijk met homogene lading, bij vertrek uit en bij aankomst in de haven enz., afhankelijk van het scheepstype en de beoogde dienst. Na de hellingproef zijn de ligging van het systeemzwaartepunt en de massa van het lege schip nauwkeurig bepaald, zodat ook de stabiliteitsberekening betrouwbaar kan worden uitgevoerd. In het bedrijf kunnen echter talloze andere beladingstoestanden optreden dan waarvoor stabiliteitsberekeningen zijn gemaakt. Daarom dient de kapitein over uitvoerige informatie te beschikken om voor elk voorkomend geval een stabiliteitsberekening uit te kunnen voeren en zich een oordeel over de stabiliteit te vormen. De kapitein blijft dus verantwoordelijk voor de stabiliteit van zijn schip, ook volgens de wet.

In de meeste gevallen is de stabiliteit niet het enige criterium dat bij de belading van een schip een rol speelt. Enige andere zijn:

- volgorde van belading;
- bestemming van de lading en de volgorde waarin havens worden aangelopen;
- gekoelde of ongekoelde lading, explosieve of bederfelijke lading;
- optredende trim en bestuurbaarheid van het schip enz.;

Soms zijn deze zaken zo gecompliceerd geworden dat het stuwplan door de walorganisatie met behulp van computers wordt uitgewerkt (containerschepen).

Daarnaast worden door de overheid voorschriften uitgegeven omtrent de waterdichte indeling en stabiliteit van schepen, oorspronkelijk gericht op de veiligheid van bemanning en passagiers, maar tegenwoordig gaan daarbij ook meer en meer overwegingen van bescherming van het milieu en het voorkomen van vervuiling van de zee een rol spelen (tankers, schepen met gevaarlijke lading, enz.).

Deze voorschriften zijn sterk per scheepstype gericht en worden in internationale samenwerking ontwikkeld (IMCO).

8.2 Stabiliteitscriteria

De beoordeling van de stabiliteit van schepen zou geheel gebaseerd moeten zijn op de dynamische eigenschappen van het schip in zeegang onder invloed van golven en wind.

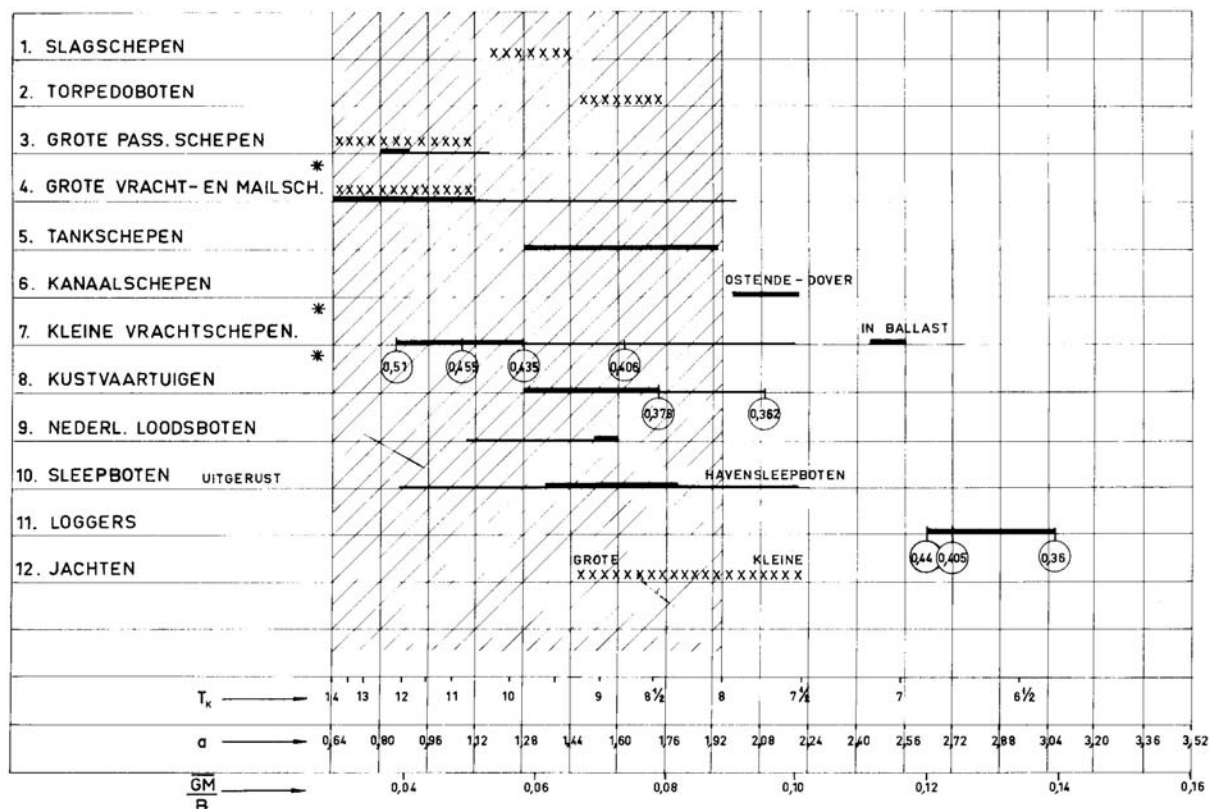
Tot op heden is de kennis van de zeegang op de diverse vaarroutes en de kennis van het dynamische gedrag van het schip onder extreme omstandigheden onvoldoende om dit probleem analytisch te kunnen oplossen. Dit is de reden dat de stabiliteitscriteria langs andere weg werden bepaald, waarbij in principe 3 mogelijkheden openstaan nl. [8. 3]:

- a) Vergelijking met overeenkomstige schepen (type en grootte) die in de praktijk hebben voldaan. Uiteraard is daarbij niet bekend hoe groot de veiligheidsmarge is.
- b) De berekening van de hellende momenten waaraan een schip zal blootstaan en mogelijk optre-

dende combinaties daarvan. Een dergelijke werkwijze is mogelijk ten aanzien van het windmoment, belasting ten gevolge van het varen van een draaicirkel, passagiers aan één kant, enz. enz. maar de hellende momenten als gevolg van extreme zeegang zijn moeilijk of in het geheel niet vast te stellen.

- c) De analyse van scheepsrampen, waarbij de stabiliteit in het geding was. Statistische verwerking van de daarbij behorende stabiliteitsgegevens kunnen een inzicht verschaffen omtrent de aan te houden minima voor GM , GZ , N_K , GZ_{max} , enz.

SLINGERTIJDEN EN $\frac{GM}{B}$ WAARDEN VAN VERSCHILLENDE SCHEEPSTYPEN



VERKLARING

T_K = DIMENSIELOZE SLINGERTIJD (KEMPF)

$$T_K = T_\phi \sqrt{\frac{g}{B}} = 2,38 \sqrt{\frac{B}{GM}}$$

a = LINEAIRE VERSNELLING

$$a = 4 \frac{\pi^2}{T_\phi^2} \cdot h \cdot \sin \phi = 22 \frac{GM}{B} \quad \text{WANNEER}$$

h TER HOOGTE PROM.- OF BRUGDEK = 0,65 B.

$k_\phi = 0,38 B$ EN $\phi = 30^\circ$.

HET GEARCEERDE IS HET GEBIED WAARBINNEN VOLGENS KEMPF GOEDE SCHEPEN MOETEN LIGGEN.

RANK NORMAAL STUF



IN DE CIRKEL $\frac{T}{B}$ WAARDE VAN BESTAANDE SCHEPEN.

-XXXXXX- GEGEVENS VOLGENS JAMES BATES „BASIC DESIGN“ THE SHIPB. CYCLOPEDIA PAG.152.

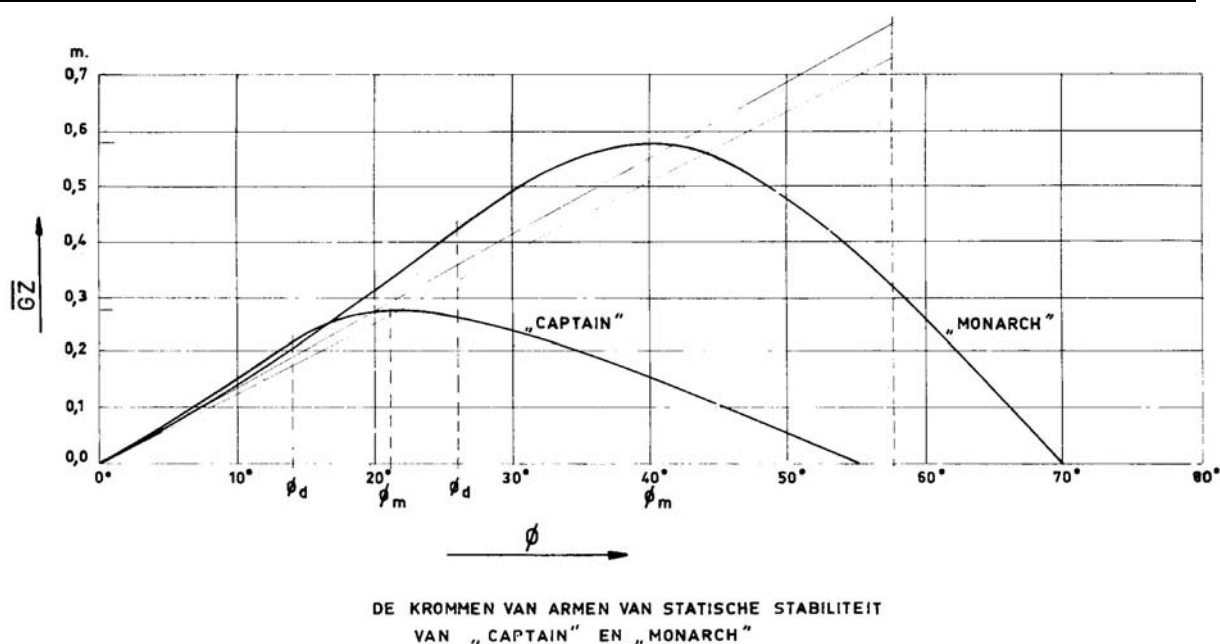
* HOMOGEEN GELADEN

figuur 8.1

De grootte van de aanvangsmetacenterhoogte houdt nauw verband met de slingerperiode en de daarmee samenhangende versnellingen. Over de stabiliteit bij grotere hellingshoeken zegt GM echter niets. De ondergrens van GM is 0, aangezien bij $GM < 0$ een initiële slagzij optreedt. $GM = 0$ of een kleine waarde levert in de praktijk ook veelal bezwaren op. Door het invoeren van lekstabiliteitsvoorschriften moeten de passagiersschepen tegenwoordig meestal aanmerkelijk hogere GM-waarden hebben. Echter dient opgemerkt te worden dat een hoge GM-waarde voor een schip in zegang grote dwarsscheepse versnellingen tot gevolg heeft. Voor de bemanning en passagiers kan dit nadelige gevolgen hebben voor de prestaties en het comfort. Ook het gevaar van verschuivende lading kan hierdoor vergroot worden. Absolute grenzen zijn dan ook niet te geven. Kempf geeft dat de dimensieloze slingertijd voor goede zeeschepen moet liggen tussen $8 < T_K < 14$. Een statistische aanbeveling geeft Roorda in fig. 8.1, ontleend aan [8.1] met behulp waarvan de GM waarde of de slingertijd kan worden nagegaan.

Voor het beoordelen van de stabiliteit van een schip bij grotere hellingshoeken is de aanvangsmetacenterhoogte niet voldoende. Daarvoor is de kromme van armen van statische stabiliteit beter geschikt, zoals reeds gepropageerd in 1868 door E. J. Reed [8.2] (chef constructeur van de Engelse marine) en zoals bleek uit het verloren gaan van het Engelse marinevaartuig "Captain" in 1870. Een ander marinevaartuig de "Monarch" met kleinere aanvangsmetacenterhoogte, maar met een geheel andere kromme van armen ten gevolge van een veel groter vrijboord, overleefde de storm wel. De voornaamste gegevens van beide schepen zijn in onderstaande tabel aangegeven, de krommen van armen in figuur 8.2.

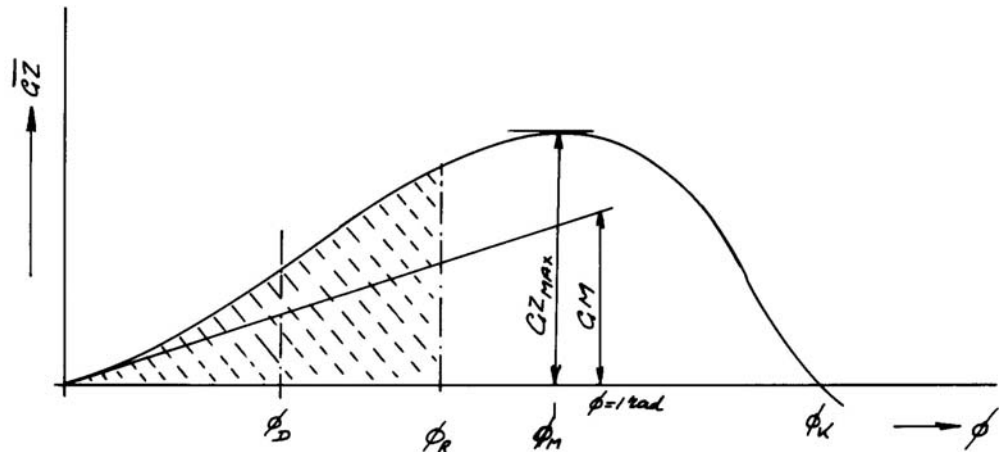
	Monarch	Captain		Monarch	Captain
bouwjaar	1869	1869	GZ_m m	0.58	0.28
L m	102.4	97.5	n_m gr.	40	21
B m	17.5	16.2	stab.omvang gr.	70	55
T m	7.9	7.6	n_d gr.	26	14
vrijboord m	4.3	2	cDL tons	8439	7915
GM m	0.73	0.79			



figuur 8.2

Bij de kromme van armen van statische stabiliteit kunnen als belangrijkste karakteristieke grootheden worden onderscheiden, zie figuur 8.3:

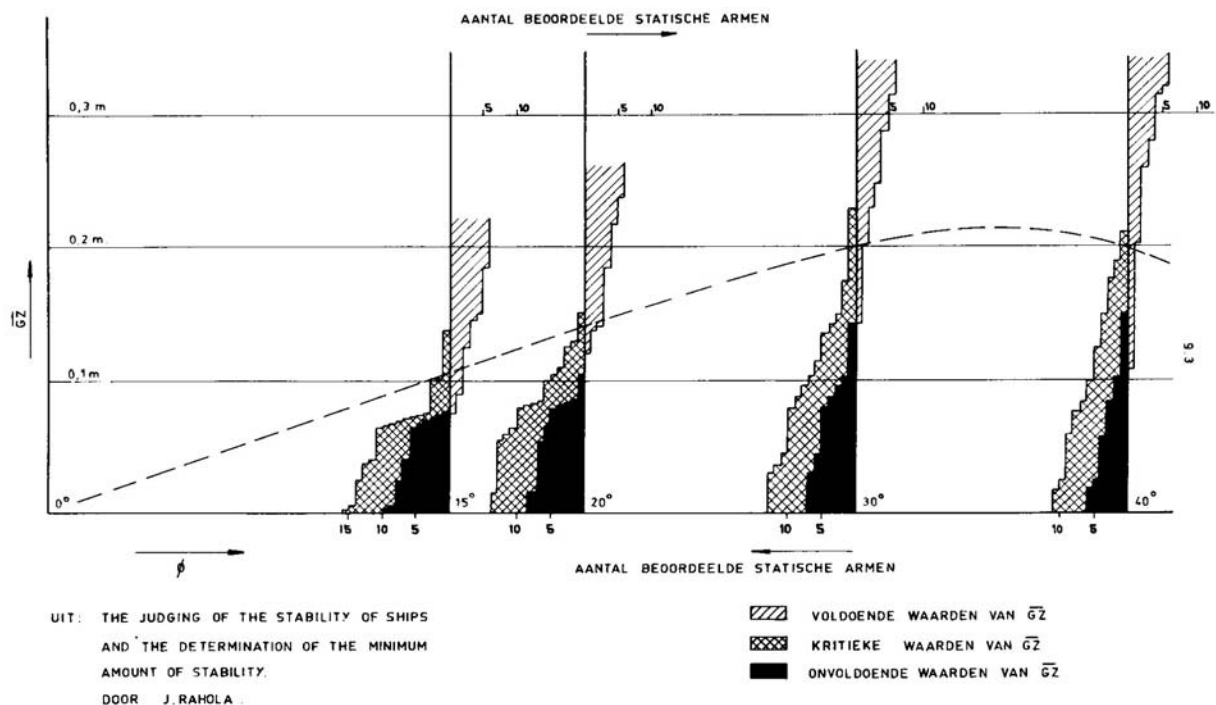
- n_D = de nominale hoek waarbij het dek te water komt $n_D = 2F/B$; deze hoek is een buigpunt van de kromme;
- n_M = de hoek waarbij de arm maximaal is;
- n_K = de hoek waarbij de arm weer gelijk is aan 0 ("stabiliteitsomvang" of "range of stability");
- GM = de aanvangsmetacenterhoogte;
- GZ_{MAX} = de maximale arm van stabiliteit;
- e_n = de dynamische weg; de integraal van de kromme van armen tot een bepaalde hoek n_R (gearceerde oppervlak);



figuur 8.3

8.3 Het werk van J. Rahola

Bij de ontwikkeling van criteria voor de stabiliteitsbeoordeling van schepen moet het werk genoemd worden van J. Rahola [8.3]. Door middel van een analyse van de stabiliteitsgegevens van schepen die bij een ramp waren betrokken en anderen die slecht weer hadden overleefd, kon worden vastgesteld bij welke grenzen de stabiliteit onvoldoende gaat worden, zie figuur 8.4.



figuur 8.4

Op deze wijze komt hij tot de volgende resultaten:

n	20°	30°	40°
GZ [m]	0.14	0.20	0.20

$$n_M \leq 35^\circ \quad n_K \leq 60^\circ \quad \text{en} \quad e = \int_0^{\varphi_r} GZ d\varphi \geq 0.08 \quad \text{m.rad}$$

waarbij n_r # 40°

n_M

n_d (hoek waarbij het dek te water komt)

n_{wd} (hoek waarbij niet waterdichte openingen te water komen)

Aangezien Rahola zijn onderzoek speciaal heeft gericht op schepen die de Finse wateren bevaren, dat wil zeggen de kleine en middelgrote vrachtschepen is de vraag gewettigd of deze criteria algemeen kunnen worden toegepast.

In 1965 heeft Seefisch [8.4] het werk van Rahola herhaald op basis van stabiliteitsongevallen met 68 vrachtschepen en 38 vissersvaartuigen. Het resultaat was:

- de schepen die waren vergaan voldeden meestal niet aan de criteria van Rahola;
- geen wezenlijk verschil met Rahola voor kleine en middelgrote homogeen beladen schepen;
- geen wezenlijk verschil tussen visserij schepen en vrachtschepen;
- toenemend aantal ongevallen met grote en ongewone schepen, o.a. bij half geladen schip of in ballast;

Criteria volgens Seefisch:

$$\begin{aligned} GZ_{MAX} & 0.20 \text{ m} \quad n_M \leq 30^\circ \\ \text{als} \quad n_M & \leq 30^\circ \text{ dan dynamische weg bij } n = 40^\circ \leq 0.09 \text{ m rad} \\ n_M & < 30^\circ \text{ dan } GZ_{MAX} > 0.20 \text{ m} \end{aligned}$$

(dynamische weg dus 0.01 m rad hoger dan Rahola in 1939).

8.4 De stabiliteitsbalans (Prof. Wendel)

Een andere methode voor het beoordelen van de stabiliteit van een vaartuig maakt gebruik van de stabiliteitsbalans [9.5]

Hierbij worden de hellende en de oprichtende momenten vergeleken bij verschillende hellingshoeken. Voor een veilig vaartuig dient uiteraard een nuttig saldo over te blijven aan de kant van het oprichtende moment.

De berekening van de hellende momenten geschiedt volgens "quasistatische" methoden, houdt rekening met het vaargebied en type vaartuig. Daarbij wordt gebruik gemaakt van het zgn. "superpositiebeginsel" dat wil zeggen dat de kenterende momenten veroorzaakt door verschillende oorzaken kunnen worden gesuperponeerd. Uiteraard dienen dit dan wel zinvolle combinaties te zijn die in het bedrijf van het beschouwde vaartuig ook werkelijk kunnen voorkomen. De combinaties kunnen worden samengesteld uit:

- hangende lasten
- windbelasting
- vrije vloeistofoppervlakken
- centrifugaalkrachten bij draaicirkelvaren
- water aan dek
- stabiliteitsafname in golven
- passagiers aan één kant
- overgaande lading, enz.

Enkele voorbeelden van een stabiliteitsbalans zijn in figuur 8.5. gegeven.

In figuur A een stabiliteitsbalans van een shelterdekker, die onvoldoende stabiliteit vertoont aangezien het hellende (kippenden) moment ten gevolge van winddruk (Winddruck), water aan dek (Zusätzliches Wasser an Deck) en zeegangsinvloed (Seegangseinfluß) groter is dan het oprichtend (aufrichtenden)

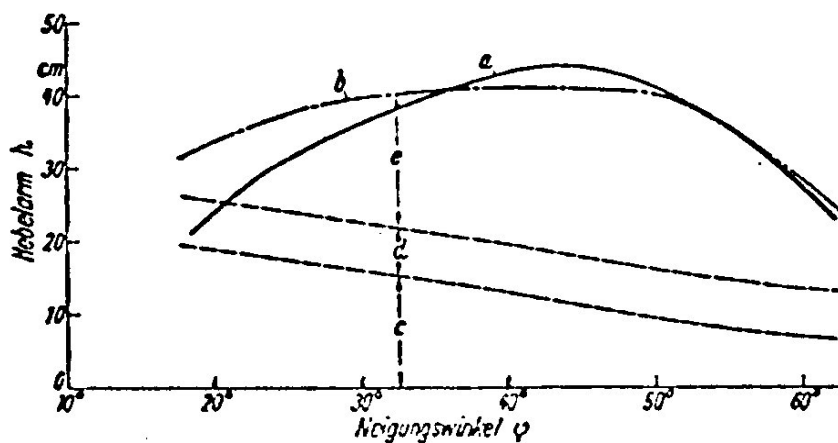
moment gecorrigeerd voor extra displacement wegens water aan dek (Hebelarm des Stabilitätsmoments korrigiert für zusätzliche Verdrängung wegens Wassers an Deck).

Neigungs- winkel	30°	45°	60°	Neigungs- winkel	30°	45°	60°
Hebelarm							
der kippenden Momente				der aufrichtenden Momente			
in cm							
Winddruck	2,6	1,8	0,0	Hebelarm des			
Zusätzliches				Stabilitäts-			
Wasser				Moments korr.			
an Deck	8,0	6,5	4,6	für zusätzliche			
Seegangs-				Verdrängung			
einfluß	7,5	13,5	8,5	weg. Wassers			
				an Deck	16,3	6,5	—2,0
				Saldo	1,8	15,3	16,0
	18,1	21,8	14,0		18,1	21,8	14,0

figuur 8.5A

Neigungswinkel	30°	45°	60°	30°	45°	60°
Hebelarm						
der kippenden Momente			der aufrichtenden Momente			
in cm						
Winddruck	2	1,5	1	31	31	20
Drehkreis	21	17,0	11			
Saldo	8	12,5	8			
	31	31,0	20	31	31	20

figuur 8.5B



figuur 8.5C

Opmerking: De stabiliteitsvermindering ten gevolge van zeegang is hier als hellend moment in rekening gebracht.
Verwaarloost men de invloed van zeegang en water aan dek dan zou het schip ten onrechte als volkomen veilig worden beschouwd.

In figuur B is de stabiliteitsbalans van een klein, snel passagiersvaartuig weergegeven. Het schip kan als voldoende veilig worden beschouwd met een overschot aan stabiliteitsarm van 8, 12,5 en 8 cm bij resp. 30°, 45° en 60°.

In figuur C is de stabiliteitsbalans van het zeilend schoolschip "Pamir" grafisch weergegeven. Het blijkt dat het hellende moment veroorzaakt door winddruk, overgaande lading en zeegang voldoende was om

het schip te doen kenteren (1958).

Tevens blijkt eruit dat de methode van de stabiliteitsbalans ook kan worden toegepast bij het analyseren van stabiliteitsongevallen van schepen. Zie ook [8.19] en [8.20]

8.5 De waarschijnlijkheid van niet-kenteren

De stabiliteitscriteria welke tegenwoordig worden toegepast bijv. de IMCO criteria ondervinden veel kritiek. Men acht hen weinig beter dan de criteria van Rahola uit 1939 [8.6].

Daarbij vindt de gedachte terrein dat veiligheid tegen kenteren eigenlijk een waarschijnlijkheidsprobleem is, waarbij geen 100% zekerheid is te bereiken. De waarschijnlijkheid van niet-kenteren van een vaartuig gedurende zijn gehele levensduur is dan afhankelijk van:

- a) de waarschijnlijkheid dat bepaalde belastingstoestanden optreden met de bijbehorende stabiliteitseigenschappen;
- b) de waarschijnlijkheid dat bepaalde combinaties van uitwendige belastingen optreden afhankelijk van het type en de grootte van het vaartuig en het vaargebied;
- c) de waarschijnlijkheid dat een vaartuig met bepaalde stabiliteitseigenschappen bij een bestaande combinatie van uitwendige belastingen niet zal kenteren.

Het stabiliteitscriterium zou dan uitgedrukt kunnen worden in de vorm van een minimale waarschijnlijkheid van niet-kenteren die moet worden overschreden, eventueel afhankelijk van het scheepstype. Deze zou uit een oogpunt van veiligheid zeer hoog moeten zijn en niet veel van 1 kunnen verschillen.

Zou deze waarschijnlijkheid van niet-kenteren b.v. slechts 0,99 bedragen, dan zou dit betekenen dat 1 van de honderd schepen zou kunnen kenteren. Dit is uiteraard te hoog. Daarbij rijst natuurlijk de vraag of de waarschijnlijkheid van niet-kenteren zo nauwkeurig kan worden bepaald.

In ieder geval zijn de waarschijnlijkheden onder a, b en c hierboven thans niet bekend en zal zeer veel onderzoek moeten worden gedaan, statistisch en experimenteel, om langs de weg van "waarschijnlijkheid van niet-kenteren" tot stabiliteitscriteria te komen [8.7] en [8.8].

8.6 * Stabiliteitsvoorschriften (intacte stabiliteit)

De belangrijkste stabiliteitsvoorschriften op het gebied van de intacte stabiliteit zijn de volgende:

1. SOLAS 1974 [8.13]

- a) Chapter II-1 handelt over: Construction-subdivision and stability, machinery and electrical installations;
Part B: Subdivision and stability (alleen passagiersschepen);
in Regulation 7 wordt gezegd: "Het schip dient in alle bedrijfstoestanden voldoende intacte stabiliteit te bezitten om de eindtoestand bij het vollopen van een willekeurig hoofdcompartiment korter dan de vulbare lengte, te doorstaan"

Daarmede is dus de lekstabiliteit ("damage-stability") bepalend voor de stabiliteit (zie hoofdstuk 10).

- b) Eventueel kan in plaats van Chapter II-1 part B de Resolutie A 265 [8.14] van 1973 toegepast worden.
Daarin staat vermeld: "Het schip dient in alle bedrijfstoestanden voldoende intacte stabiliteit te bezitten om te voldoen aan de bepalingen van deze Regula-tion ("Subdivision and damage-stability").

Ook in dit geval wordt dus de intacte stabiliteit afhankelijk gesteld van de lekstabiliteit.

- c) In SOLAS 1974 Chapter VI wordt behandeld "Carriage of grain" (198 - 223).

2. Bekendmaking aan de scheepvaart no. 128/1977

(Stabiliteit van schepen, geen passagiersschepen of vissersvaartuigen zijnde) [8.10]

In deze bekendmaking is verwerkt:

- Resolutie A167: Recommendation on intact stability for passenger- and cargo ships under 100 m in length [8.11]
- Resolutie A206 "Amendments to the recommendation on intact stability for passenger and cargo ships under 100 m in length (Resolution A167) with respect to ships carrying deck cargoes" [8.15]

en door de Scheepvaartinspectie bovendien uitgebreid tot schepen met een lengte groter dan 100 m.

De belangrijkste bepalingen zijn:

in alle voorkomende beladingsgevallen:

- dynamische weg bij $n = 30^\circ$ \$ 0,055 m rad
- $n = 40^\circ$ of n_{wd} \$ 0,09 m rad
- toename dyn. weg van $30^\circ - 40^\circ$ \$ 0.03 m rad
- GZ bij $n = 30^\circ$ of meer \$ 0,20 m
- n_{MAX} bij voorkeur \$ 30° in geen geval $< 25^\circ$
- GM \$ 0.15 m
- invloed van de wind:
 - o winddruk tot 5 m boven de lastlijn 75 kg/m^2
 - o winddruk boven 5 m boven de lastlijn 125 kg/m^2
 - o windarm van windmoment constant en gelijk aan de windarm bij $n = 0^\circ$
 - o slagzij naar de verkeerde kant van 10°
 - o helling n_c , waarbij $\text{opp A} = \text{opp B} < 40^\circ$ of de hoek waarbij niet waterdichte openingen onder water komen, als deze laatste kleiner is.

Schepen die een deklust hout vervoeren, dienen te voldoen aan de volgende stabiliteitseisen:

- dynamische weg tot $n = 40^\circ$ of n_{wd} \$ 0,08 m rad
- GZ_{MAX} \$ 0,25 m
- GM na correctie wegens vrije vloeistofoppervlakken toenemend gewicht van de deklust door wateropname en/of ijsafzetting \$ 0.10 m

Daarbij dient de houtdeklust wel aan bepaalde voorwaarden te voldoen.

3. Torremolinos International Convention for the Safety of fishing vessels 1977 [8.16]

Deze internationale conventie geeft voor de intacte stabiliteit van vissersvaartuigen met een lengte $> 24 \text{ m}$ de volgende voorschriften:

- dynamische weg tot $n = 30^\circ$ \$ 0,055 m rad
- $n = 40^\circ$ of n_{wd} \$ 0,09 m rad
- toename dyn. weg van $30^\circ - 40^\circ$ \$ 0.03 m rad
- GZ bij $n = 30^\circ$ \$ 0,20 m
- n_{MAX} bij voorkeur \$ 30° in geen geval $< 25^\circ$
- GM \$ 0.35 m bij "flush" dek schepen
- \$ 0.15 m bij schepen met bovenbouw en schepen waarvan $L > 70 \text{ m}$
- "severe wind and rolling"

Elk vaartuig dient in staat te zijn het effect van wind en slingeren in de daarbij optredende zeegang te doorstaan, in aanmerking nemende het scheepstype, het soort bedrijf dat wordt uitgeoefend en het vaargebied.

4. Guidelines for the design and construction of offshore supply-vessels [8.17]

De belangrijkste bepalingen uit deze IMCO aanbeveling zijn:

- dynamische weg tot $n = 30^\circ$ \$ 0,055 m rad
- $n = 40^\circ$ of n_{wd} \$ 0,09 m rad
- toename dyn. weg van $30^\circ - 40^\circ$ \$ 0.03 m rad
- GZ bij $n = 30^\circ$ \$ 0,20 m
- n_{MAX} bij voorkeur \$ 30° in geen geval $< 25^\circ$
- GM \$ 0.15 m

of equivalent:

- dynamische weg tot $n = 15^\circ$ \$ 0,07 m rad als $n_{MAX} = 15^\circ$
- $n = 30^\circ$ of n_{wd} \$ 0,055 m rad als $n_{MAX} = 30^\circ$

- dynamische weg als $15^\circ < n_{MAX} < 30^\circ$ $\$ 0.055 + 0.001 (30^\circ - n_{MAX})$
- toename dyn. weg van $30^\circ - 40^\circ$ (of $30^\circ - n_{MAX}$) $\$ 0.03$ m rad
- GZ $\$ 0,20$ m bij $n \ \$ 30^\circ$
- $n_{MAX} \ \$ 15^\circ$
- $GM_0 \ \$ 0.15$ m

Een aantal omstandigheden zoals dwarswind, ijsafzetting, slingeren en achterinkomende golven indien nodig te beoordelen, zie verder [8.17]

5. Eisen te stellen aan de stabiliteit en het reserve drijfvermogen van bovenwaterschepen der Koninklijke Marine en het loodswezen [8.18]

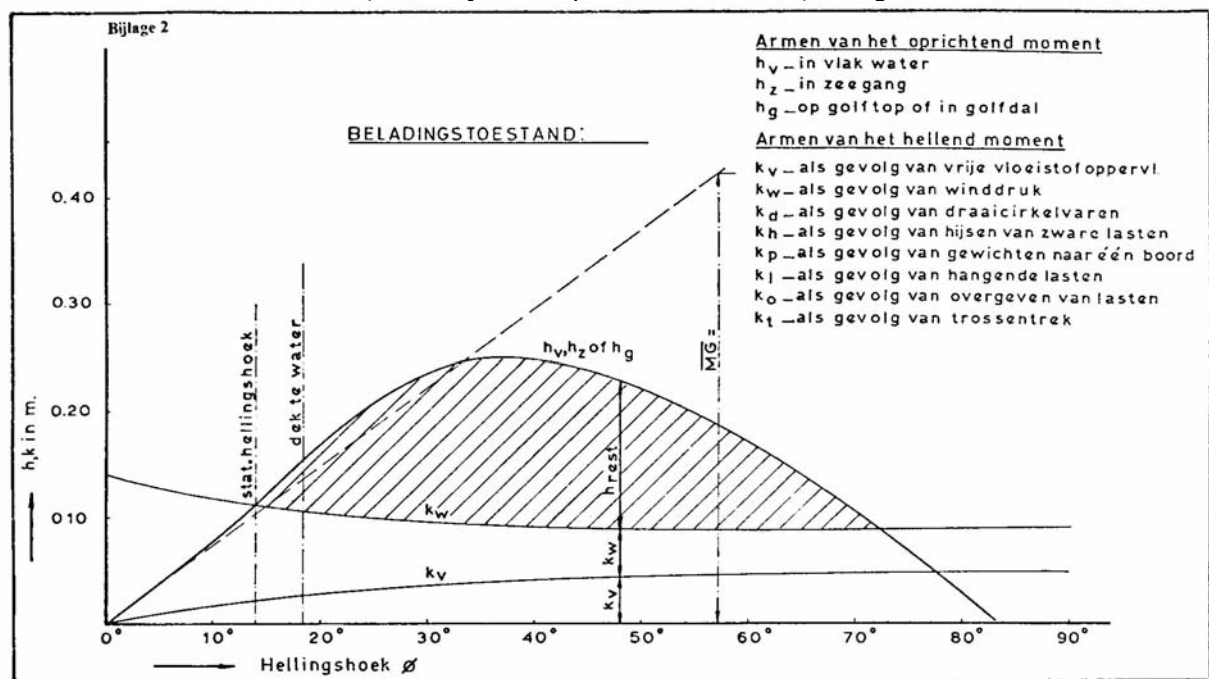
Hierin worden ook genoemd: betonningsvaartuigen, passagiersvaartuigen en sleepboten.

De oprichtende momenten worden berekend inclusief de invloed van golven.

De hellende momenten kunnen ontstaan ten gevolge van:

- vrije vloeistofoppervlakken
- dwarsscheepse winddruk
- ijsafzetting
- draaicirkel varen
- hijsen van zware lasten
- verplaatsing van gewichten naar één zijde
- hangende lasten
- overgeven van lasten
- dwarsscheepse trossentrek

De stabiliteit van het vaartuig wordt beoordeeld op basis van de stabiliteitsbalans van enerzijds de armen van de hellende momenten, anderzijds het oprichtende moment, zie figuur 8.6.



figuur 8.6

Voor een aantal groepen schepen, namelijk:

- groep A: schepen die overal ter wereld moeten kunnen worden ingezet;
- groep B: schepen waarvan het operatieterrein beperkt is tot Noord Atlantische Oceaan, Noord- en Oostzee, zodat geen rekening behoeft te worden gehouden met tropische cyclonen of excessieve ijsafzetting;
- groep C: schepen die in beschutte gebieden worden teruggeroepen, wanneer meer dan windkracht BF 8 wordt verwacht;
- groep D: haven- en binnenvaartuigen.

wordt de te beoordelen combinatie van hellende momenten aangegeven. Tenslotte worden eisen gesteld aan de statische hellingshoek en de restarmen van stabiliteit namelijk:

$n \# 15^\circ$ als bij $n = 35^\circ$ restarm \$ 0.10 m

$n \# 20^\circ$ als bij $n = 45^\circ$ restarm \$ 0.15 m

$n \# 25^\circ$ als bij $n = 55^\circ$ restarm \$ 0.20 m

tot windkracht BF10 statische hellingshoek # 15°

bij draaicirkel varen statische hellingshoek # 15°

bij toestand golftop:

restarm \$ 0,05 m in het maximum en positief over minstens 10° tussen 0° en 45° .

Zie verder voor complete tekst [8.18]

De voorschriften vertonen grote overeenkomst met Duitse stabiliteitsvoorschriften voor marinevaartuigen. [8.19] [8.20]

8.7 * Literatuur hoofdstuk 8

- [8.1] Beoordeling van de metacenterhoogte MG en keuze van een passende MG bij het ontwerpen van zeeschepen"
Ir. A. Roorda
Schip en Werf 1944 blz. 39 - 41
- [8.2] On the stability of monitors under canvas
E.J. Reed
TINA 1868 blz. 198
- [8.3] The judging of the stability of ships and the determination of the minimum amount of stability
J. Rahola
Helsinki 1939, (Bibl. No. B2 - 11)
- [8.4] "Stabilitätsbeurteilung in der Praxis"
Seefisch
JSTG 1965 blz. 578 - 593
- [8.5] "Sicherheit gegen Kentern"
Prof. dr. ing. Kurt Wendel
VDI-Z, 1958 No. 32 blz. 1523 - 1533
- [8.6] "Doubts about stability criteria"
R. Burnett
Lloyds list Supplement 26 sept, 1980
- [8.7] "Rational Stability criteria and probability of Capsizing"
L. Kobylinski
International Conference on Stability of ships and ocean vehicles
Glasgow 1975, (bibl. No. K39 - 9)
- [8.8] "Probability of ship capsizing under the action of beamwind and sea as a background of stability criteria"
Poland, IMCO stab./80 12 nov. 1979
- [8.9] "Trim, stability and loading manuals: a survey of needs, uses and improvements"
W.H. Garzke jr., R.E. Johnson and A.C. Landsburg
SNAME 1974, blz. 19 - 59
- [8.10] Bekendmaking aan de Scheepvaart No. 128/1977 (Stabiliteit van schepen, geen passagiers-schepen of vissersvaartuigen zijnde)
Nederlandse Staatscourant 11 maart 1977, no. 50

- [8.11] Resolutie A167: Recommendation on intact stability for passenger and cargo ships under 100 meters in length
IMCO, London, 1975
(Bibl. No. K82 - 1970 4.E. blz. 53 - 68)
- [8.12] "Trim en Stabiliteitsaanwijzer voor schepen"
G. Canson
Schip en Werf, 1950, blz. 514 - 519
- [8.13] International convention for the Safety of life at sea, 1974
IMCO, London 1974
(Bibl. No. K82, - 74.01E)
- [8.14] Resolutie A265: Regulations on subdivision and stability of passenger ships as an equivalent to part B of chapter II of SOLAS 1960
IMCO, London, 1973
(Bibl. No. K82 - 74.04E blz. 35 - 53)
- [8.15] Resolutie A206: "Amendments to the recommendation on intact stability for passengers and cargo ships under 100 m in length (Resolution A167) with respect to ships carrying deckcargo"
IMCO, London 1971
(Bibl. blo. K82 - 1972.5E. blz. 10 - 12)
- [8.16] Torremolinos International Convention for the Safety of fishing vessels, 1977
(Bibl. No. K82 - 25) (Bibl. No. K38 - 154)
- [8.17] Resolutie A 469: Guidelines for the design and construction of offshore supply-vessels
IMO, London 1981
(Bibl. No. K82 - RD12, blz. 103 - 116)
- [8.18] Eisen te stellen aan de stabiliteit en het reservedrijfvermogen van bovenwaterschepen der Koninklijke Marine en het loodswezen
Ir. N.T. van Harpen
Schip en Werf 1971, blz. 73 - 82
- [8.19] "Ausarbeitung einer Stabilitätsvorschrift für die Bundes Marine"
Dipl.Ing. B. Arndt
JSTG 1965, blz. 594-608
- [8.20] "20 years of experience-stability regulations of the West-German navy"
B. Arndt, H. Brandl and K. Vogt
Second International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles Tokyo Oct. 1982
Paper P II-5, blz. 111-121
- [8.21] Veiligheidsnormen en voorschriften voor Rijksvaartuigen
Staatsuitgeverij, s'Gravenhage 1976
(Bibl. No. B6 - 85)
- [8.22] "1979 Fastnet - race inquiry"
uitgave The Royal Yachting Association and Royal Ocean Racing club
- [8.23] "Capsizing experiments on a totally inclosed life boat"
S. Matora, S. Shimamoto and M. Fujino
International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles
Tokyo 1982, Paper No. S IIII - 36, blz. 169 - 176

- [8.24] "Het kapseizen van kleine vaartuigen"
M. Dijkstra
Rapport no. 632-M; oktober 1984 (niet gepubliceerd)
- [8.25] "The dynamic Stability of Sailing Yachts in large breaking waves"
A.R. Cloughton, Paper no. 6 of RINA
International Conference on design considerations for small craft
London 13 -15 Febr. 1984

HOOFDSTUK 9

9 Verplaatsen van gewichten; laden en lossen

9.1 Het verplaatsen van gewichten

Bij de volgende beschouwingen wordt verondersteld dat het vaartuig een positieve aanvangsstabiliteit GM heeft en dat het gewichtszwaartepunt G is gelegen in het symmetrievlak.

Wordt een gewicht p over een willekeurige afstand verschoven, dan zijn de bijbehorende verplaatsingen van het massazwaartepunt van het totale systeem in lengte-, breedte- en hoogterichting respectievelijk:

$$\frac{p x_p}{\rho g \nabla}, \quad \frac{p y_p}{\rho g \nabla} \quad \text{en} \quad \frac{p z_p}{\rho g \nabla}$$

De dwars- en langsmetacenterhoogte worden als gevolg van de verplaatsing van G in hoogterichting:

$$G_1 M = G_0 M \pm \frac{p z_p}{\rho g \nabla} \quad \text{en} \quad G_1 M_L = G_0 M_L \pm \frac{p z_p}{\rho g \nabla}$$

+ als p daalt
- als p stijgt

De optredende hellingshoek bedraagt, bij kleine hellingshoeken:

$$\tan \varphi = \varphi \text{ [rad]} = \frac{\frac{p y_p}{\rho g \nabla}}{G_0 M \pm \frac{p z_p}{\rho g \nabla}} = \frac{p y_p}{\rho g \nabla G_0 M \pm p z_p} = \frac{p y_p}{\rho g \nabla G_1 M}$$

bij grotere hoeken moet GM in de formule vervangen worden door GN_N.

In figuur 9.1 wordt de langsscheepse verplaatsing van het gewichtszwaartepunt van G naar G₁ aangegeven t.g.v. de verplaatsing van het gewicht p over de afstand x_p.

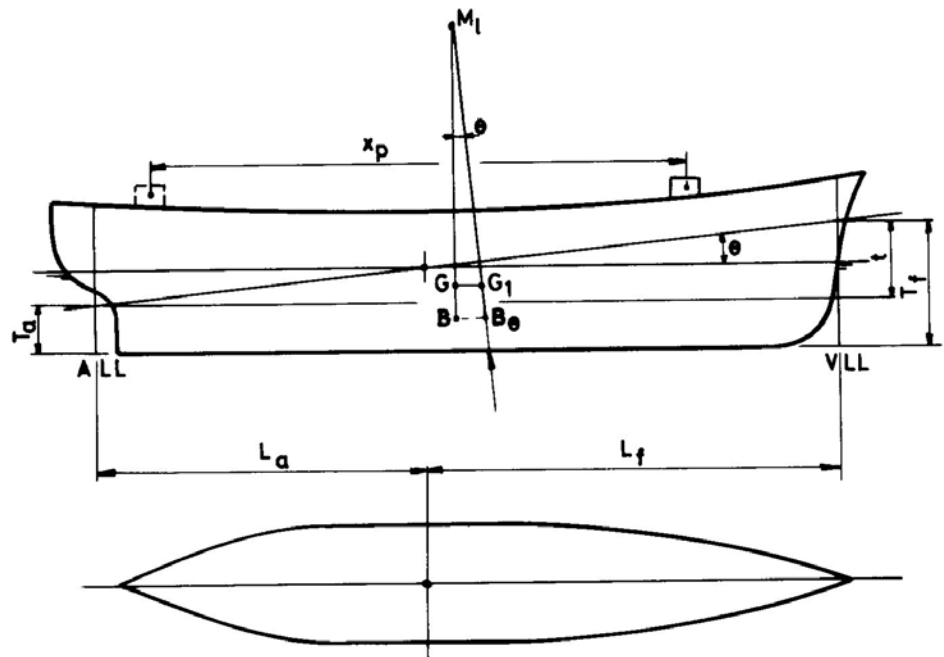
Om een nieuwe evenwichtssituatie te bereiken zal het drukingspunt B₂ in langsscheepse richting verschuiven totdat het onder G₁ ligt. Dit wordt bereikt bij de trimhoek **2**, deze wordt:

$$\tan \theta = \theta \text{ [rad]} = \frac{\frac{p x_p}{\rho g \nabla}}{G_0 M_L \pm \frac{p z_p}{\rho g \nabla}} = \frac{p x_p}{\rho g \nabla G_0 M_L \pm p z_p} = \frac{p x_p}{\rho g \nabla G_1 M_L}$$

9.2 Het laden en lossen van kleine gewichten

Door het laden van een relatief klein gewicht zal het schip dieper inzinken en treedt in het algemeen slagzij en trim op. Om de gevolgen van de veranderingen goed te kunnen bepalen valt de berekening in twee delen uiteen:

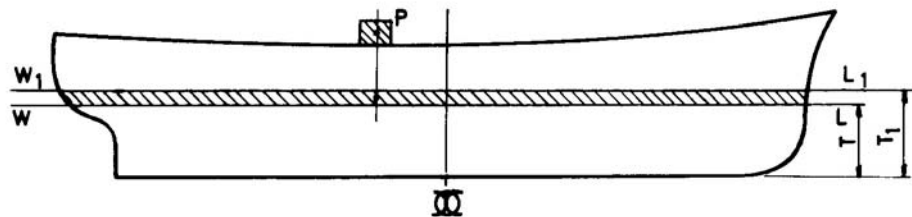
- Er wordt verondersteld dat het gewicht p op een zodanige plaats aan boord wordt neergezet dat het schip alleen evenwijdig inzinkt (zonder slagzij of trim).
- Daarna wordt het gewicht verschoven naar zijn uiteindelijke plaats, waarna de eventuele slagzij en trim bepaald kunnen worden.



figuur 9.1

ad 1. Diepgangstoename

Door een gewicht p aan boord te plaatsen zinkt het vaartuig dieper in totdat het gewicht van de extra verplaatste vloeistof gelijk is aan p , zie figuur 9.2:

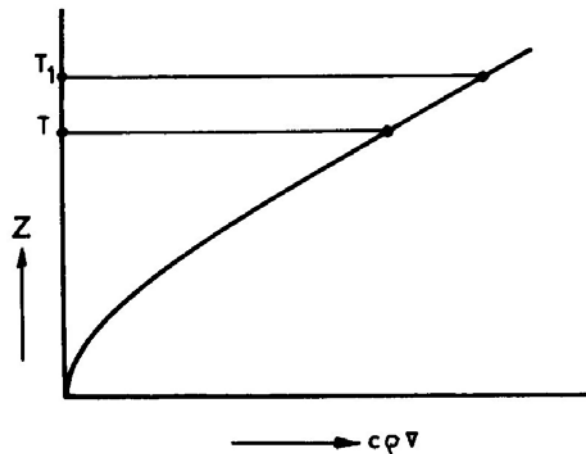


figuur 9.2

$$p = \rho g A_w (T_1 - T) \quad \Delta T = \frac{p}{\rho g A_w} \quad (T_1 - T = \Delta T)$$

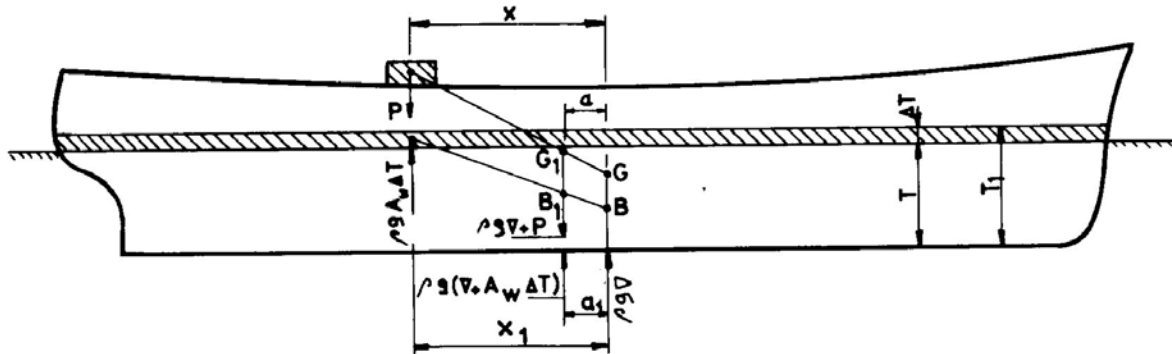
waarin A_w het waterlijnopervlak is bij diepgang T .

Als A_w over het diepgangverschil niet als constant mag worden beschouwd dient ΔT m.b.v. de kromme van waterverplaatsing te worden bepaald, zie figuur 9.3.



figuur 9.3

Om de trimligging van het schip te kunnen bepalen, moet eerst worden vastgesteld waar de lading geplaatst moet zijn om evenwijdig inzinken te bereiken.

$$a = \frac{x p}{\rho g \nabla + p}$$
$$a = \frac{x_1 \rho g A_w \Delta T}{\rho g \nabla + p}$$

$$a = a_1$$
$$\rho g A_w \Delta T = p$$

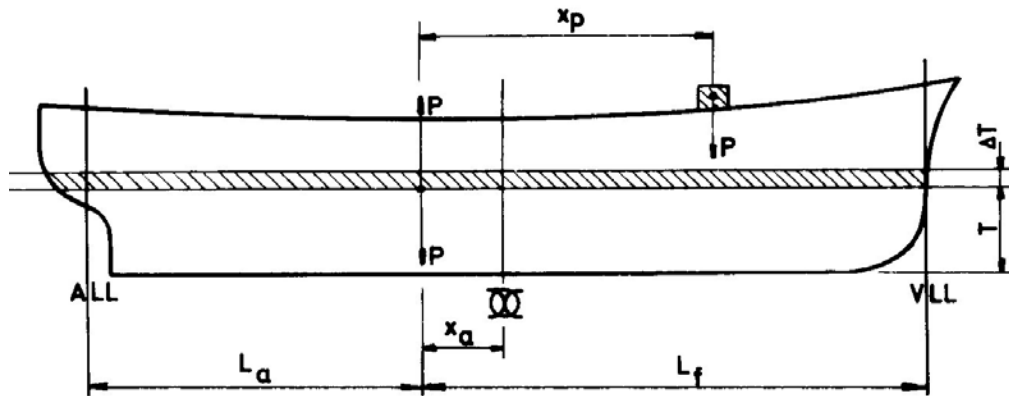
Om evenwijdig inzinken (uittreden) te bereiken moet het te laden (lossen) gewicht op dezelfde verticaal liggen als het zwaartepunt van de lastlijn.

$$M_{TR} = p \times p \cos 2$$
$$M_{ST} = (Dg L + p) G_1 M_l \sin 2$$
$$M_{TR} = M_{ST} \rightarrow \tan \theta = \frac{p \times p}{(\rho g \nabla + p) G_1 M_1}$$

$$\tan \theta = \frac{t}{L} \quad t = \frac{p x_p}{(\rho g \nabla + p) G_1 M_L} L$$

diepgang vóór is: $T_f = T + \Delta T + t_f = T + \frac{p}{\rho g A_w} + \frac{p x_p}{(\rho g \nabla + p) G_1 M_L} L_f$

diepgang achter is: $T_a = T + \Delta T - t_a = T + \frac{p}{\rho g A_w} - \frac{p x_p}{(\rho g \nabla + p) G_1 M_L} L_a$



figuur 9.5

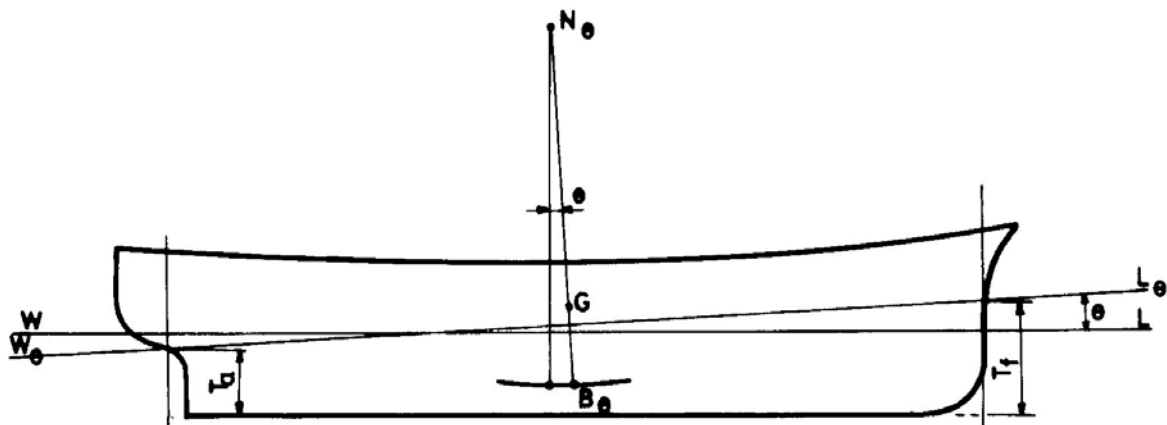
9.3 Het laden en lossen van grote gewichten

De aannamen gedaan bij het laden en lossen van kleine gewichten, bijvoorbeeld dat de werklijn van opwaartse kracht door M_L gaat en dat de snijlijn van de gelijklastige en de getrimde waterlijn door het zwaartepunt van de gelijklastige lastlijn gaat, gaan bij het laden van relatief grote gewichten niet meer op. In deze gevallen is voor het bepalen van de juiste diepgangen vóór en achter nodig gebruik te maken van een **trimdiagram**.

– Universeel trimdiagram

Is de meetkundige plaats van B_2 bekend als functie van de waterverplaatsing of het displacement en de trim, dan is het mogelijk om voor elke ligging van het gewichtszwaartepunt G de stand van het schip te bepalen. De plaats van G in hoogte en lengte moet dan bekend zijn.

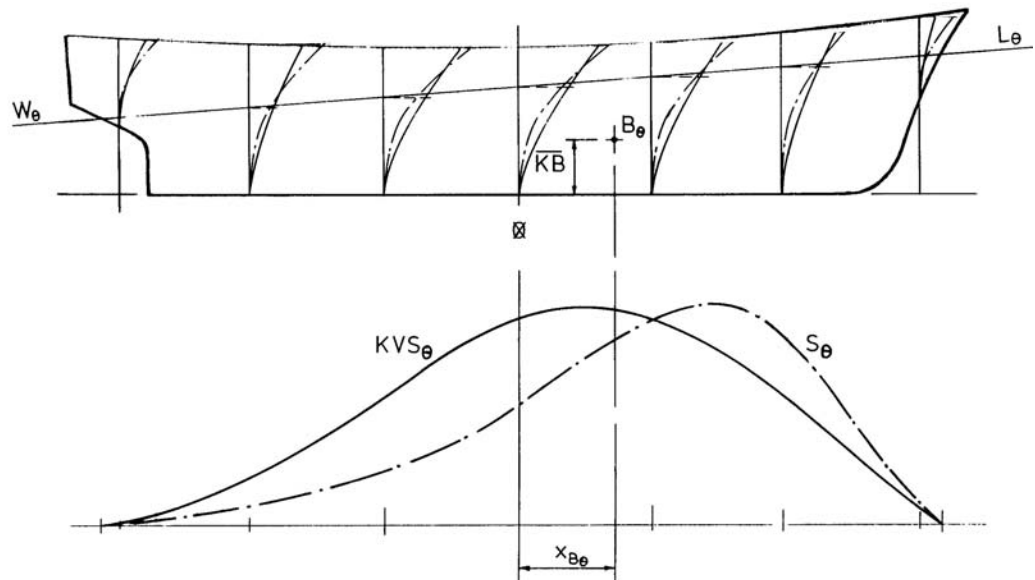
Voor het vinden van de nieuwe evenwichtsstand geldt dat B_2 verticaal onder G moet liggen, d.w.z. B_2G staat loodrecht op de B_2 -kromme, zie figuur 9.6.



figuur 9.6

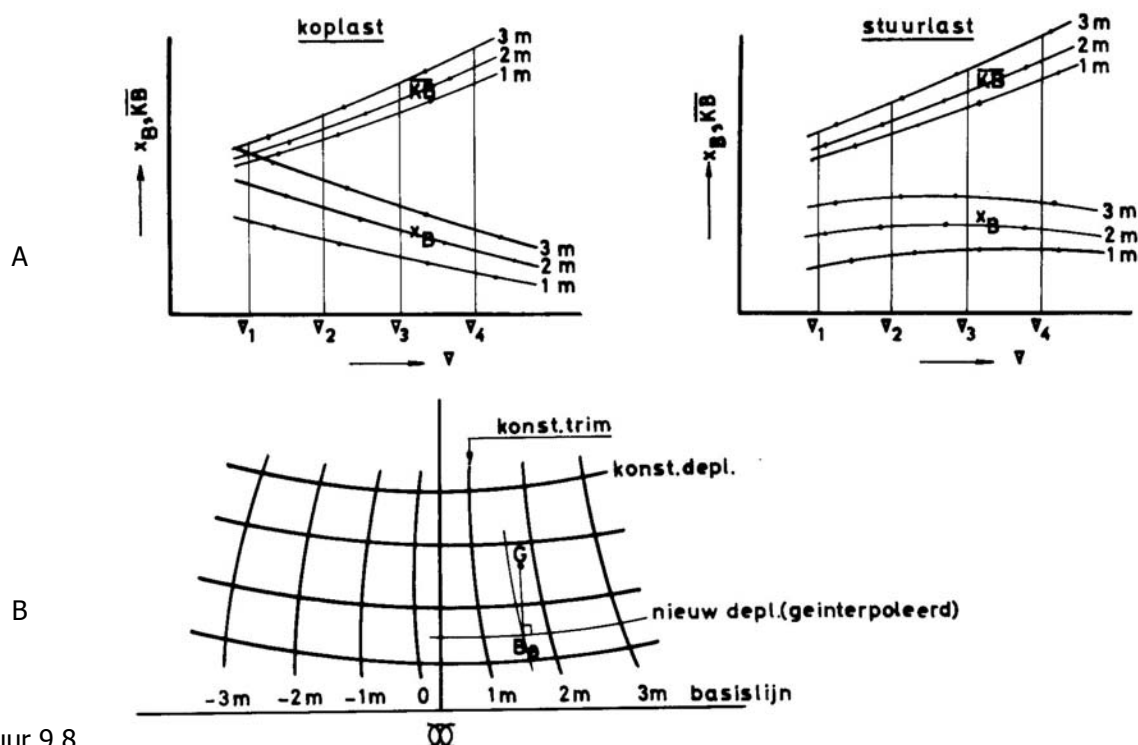
De trimmende lastlijn is evenwijdig aan de raaklijn aan de B_2 -kromme en staat dus ook loodrecht op B_2G . De trimhoek (θ) en de totale trim (t) kunnen nu bepaald worden. De diepgangen vóór en achter kunnen bepaald worden met gebruikmaking van hulpdigrammen, waarin het verband is aangegeven tussen θ , T_a , T_f en t , zie figuur 9.9.

Uitgaande van 7 trimtoestanden (3 koplust, 3 stuurlast en 1 gelijklastig) en 4 diepgangen, wordt van elke toestand (28 stuks) de plaats van B_2 in hoogte en lengte en het displacement DL bepaald. Hierbij worden de Bonjeankrommen en de spantmomenten gebruikt, zie figuur 9.7.



figuur 9.7

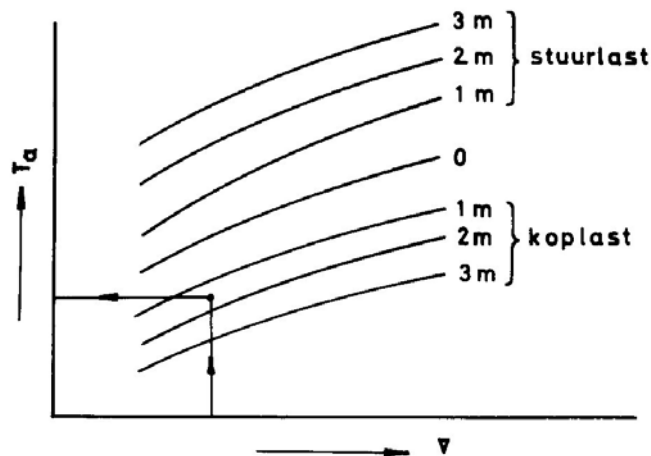
Door middel van hulpgrafieken worden ronde getallen voor de lijnen van constant displacement gevonden, zie figuur 9.8 A en hierna kan het diagram van figuur 9.8 B worden geconstrueerd.



figuur 9.8

Is de plaats van het nieuwe massazwaartepunt en het bijbehorende displacement bekend, dan kan B_2 worden bepaald door een loodlijn vanuit G op de (eventueel geïnterpoleerde) B_2 -kromme naar te laten. De totale trim is nu bekend en m.b.v. een diagram als in figuur 9.9, dat het verband weergeeft tussen θ , T_a en t , kunnen T_a en T_f bepaald worden.

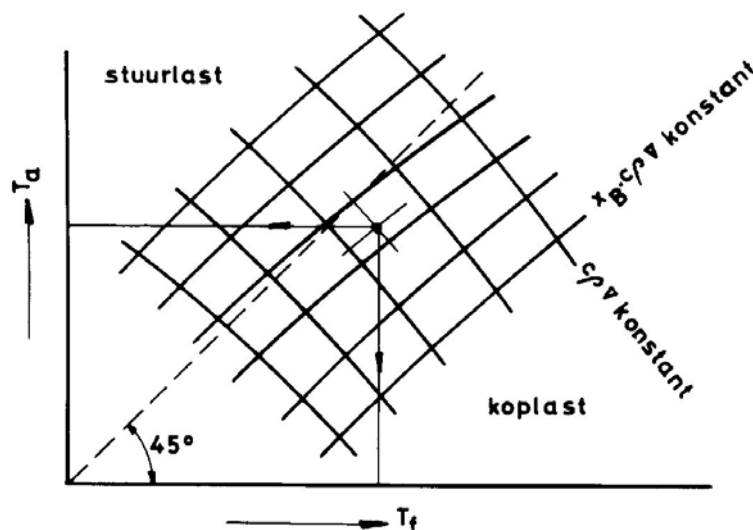
De methode is nauwkeurig, doch vraagt veel tijd omdat van G uitgaande, B_2 geconstrueerd moet worden en daarna m.b.v. een hulpdiagram de diepgangen vóór en achter. Het diagram is daarom voor gebruik aan boord niet aan te bevelen. De nauwkeurige resultaten zijn in de praktijk zelden nodig.



figuur 9.9

– Trimdiagram van der Ham [9.1]

Dit trimdiagram ziet eruit als in figuur 9.10 aangegeven. Op de verticale as T_a en op de horizontale T_f . De lijnen in het diagram geven constante waarden aan voor het displacement Δ , respectievelijk constante waarden voor het moment van dat displacement t.o.v. ord. 10: $\Delta \cdot x_B$; dit moment wordt het karakteristiek moment genoemd (het is niet gelijk aan het trimmend moment).

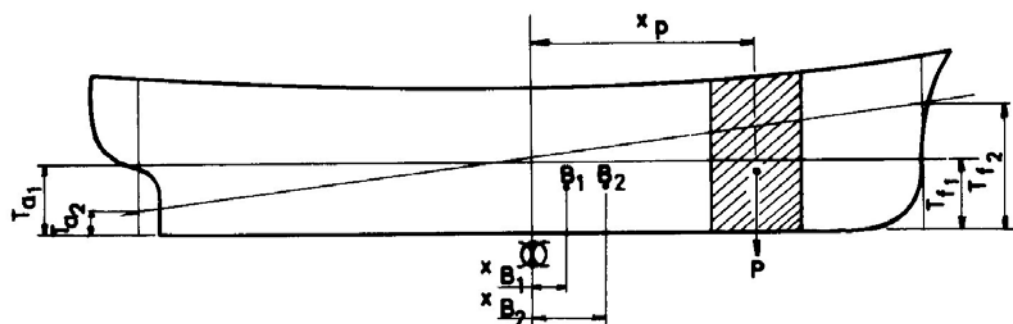


figuur 9.10

Indien T_a en T_f opgenomen worden (in de haven) kunnen het displacement en het karakteristiek moment worden afgelezen; als Δ en $\Delta \cdot x_G$ worden berekend voor een bepaalde beladingstoestand kunnen T_a en T_f afgelezen worden.

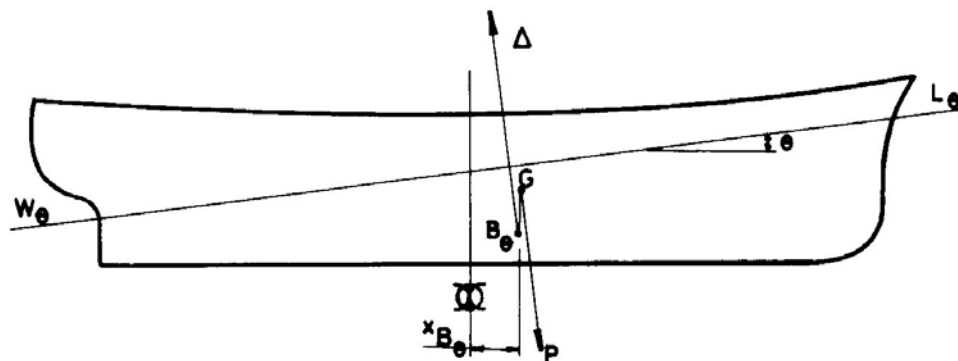
Wordt een schip geladen of gelost dan kan uitgaande van de diepgangen T_{a1} en T_{f1} vóór het laden of lossen de nieuwe trimligging als volgt worden gevonden:

bij T_{a1} en T_{f1} behoren Δ_1 en $\Delta_1 \cdot x_{B1}$; een lading p (zie figuur 9.11) vergroot het displacement tot $\Delta_1 + p$ en het karakteristiek moment tot $\Delta_1 \cdot x_B + p \cdot x_p$; hiermee kunnen T_{a2} en T_{f2} worden afgelezen.



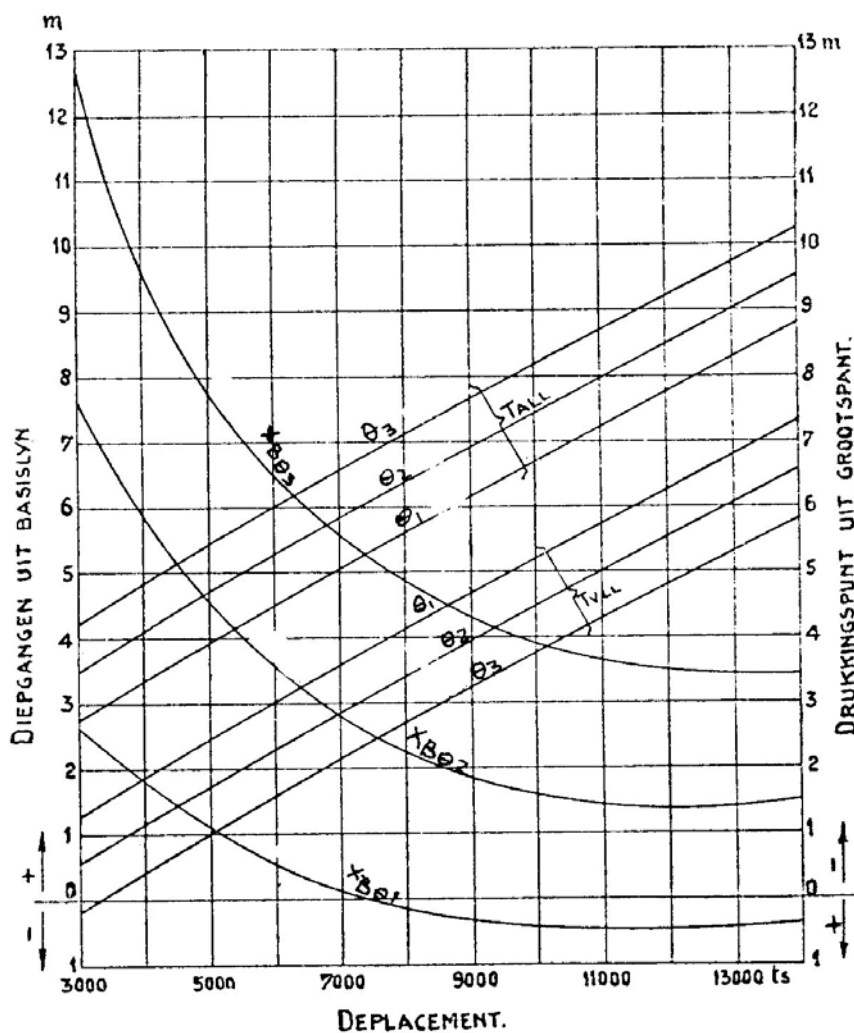
figuur 9.11

Er schuilt in dit diagram een kleine fout omdat verondersteld wordt dat B_2G in de nieuwe toestand loodrecht op de basis staat, i.p.v. op de getrimde lastlijn. Het moment moet dus in geval van koplust met $\cos \theta$ $B_2G \tan \theta$ vergroot worden en in geval van stuurlast met deze waarde verkleind, zie figuur 9.12. Deze correctie is echter voor vrijwel alle praktijktoepassingen verwaarloosbaar.

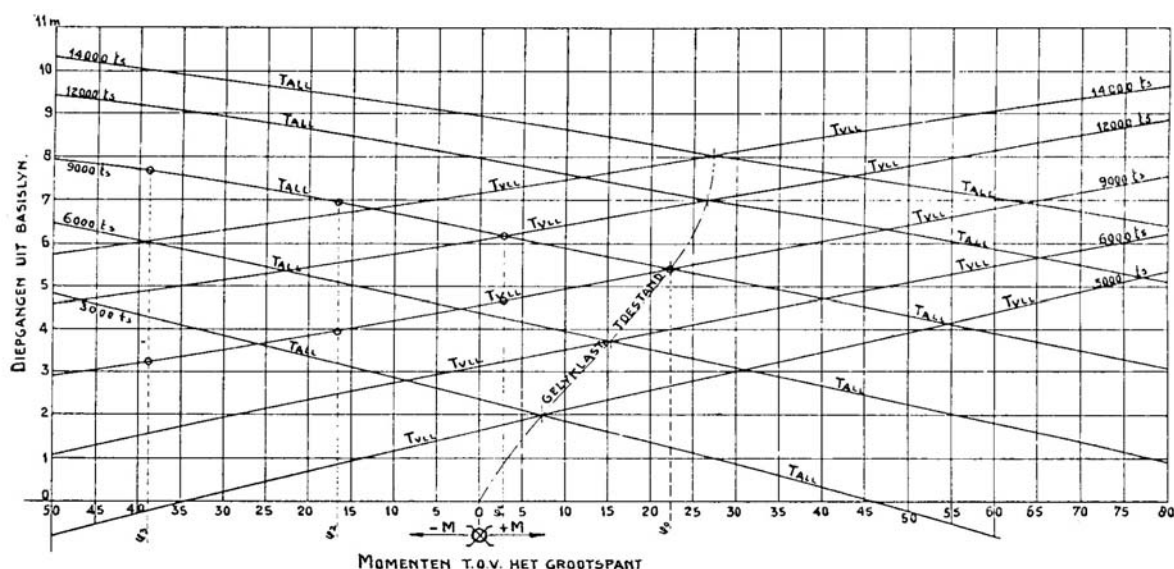


figuur 9.12

Het trimdiagram wordt gemaakt door voor 28 toestanden: 3 stuurlast, 3 koplust en 1 gelijklastig voor 4 diepgangen, T_a , T_f , T_r en T_s te berekenen (m.b.v. de Bonjean-krommen). Uit deze resultaten worden twee hulpdigrammen vervaardigd, één voor koplust en één voor stuurlast, zie figuur 9.13 A, waarin alleen het stuurlastdiagram is afgebeeld.



figuur 9.13 A
Hulpdigram stuurlast



figuur 9.13 B Hulpdiagram karakteristieke momenten

Uit diagram 9.13 A kan voor afgeronde waarden van Δ de bijbehorende waarden van T_a en T_f bij de 3 trimhoeken worden afgelezen. De waarden voor de gelijklastige toestand worden in het carènediagram afgelezen. Op deze wijze worden de gegevens voor de displacements op basis van de diepgangen verkregen, namelijk voor elk displacement 7 punten.

Voor de lijnen van karakteristiek moment wordt m.b.v. de diagrammen voor kop- en stuurlast een willekeurig aantal momenten berekend. Voor elke afgeronde waarde van displacement kunnen x_{B2} en de diepgangen worden afgelezen. De aldus gevonden momenten geven geen afgeronde waarden, daarom worden op basis van deze momenten de bijbehorende diepgangen uitgezet en gestrookt (figuur 9.13 B). Hieruit zijn voor afgeronde waarden van de momenten de lijnen van karakteristiek moment in het trimdiagram te bepalen.

Het trimdiagram van der Ham ziet er tenslotte uit zoals in bijlage 4 is aangegeven.

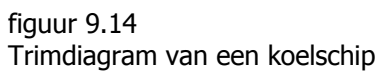
De diepgangen worden in de regel alleen in de haven opgenomen. Het water ter plaatse zal meestal meer zoet dan zout zijn en daarom wordt in het trimdiagram voor de soortelijke dichtheid 1.000 t/m^3 aangehouden. Om het precieze gewicht van het schip te kennen moet de soortelijke dichtheid van het havenwater worden gemeten.

– Experimentele bepaling van het trimdiagram

Het is eveneens mogelijk het trimdiagram te bepalen met behulp van modelproeven. Een voordeel daarbij zou zijn dat ingewikkelde scheepsvormen, ashozen, enz. zonder extra moeite in rekening kunnen worden gebracht. Wel is een nauwkeurig model vereist, zie [9.3] en [9.4].

9.4 * Enkele voorbeelden van trimdiagrammen berekend met behulp van computerprogrammatuur

De onderstaande figuren geven de trimdiagrammen van een koelschip en van het versmalde en verbrede zeilschip, waarvan op blz.6.28 e.v. de GZ_N - krommen berekend zijn met een computerprogramma. Voor het verkrijgen van een trimdiagram moet men de scheepsvorm in het programma gedefinieerd hebben en moet men een bereik van de waterverplaatsing met een stapgrootte en een maximale trim in meters invoeren.



- [9.1] "Universeel trimdiagram"
I. van der Ham
Schip & Werf 1958, blz. 697 - 705.
- [9.2] "Bestimmung von Stabilität und Trimm"
H. Söding,
Hansa 1973 blz. 1425 - 1427.
- [9.3] "Het samenstellen van een trimdiagram met behulp van een modelproef"
J.J. van den Bosch,
Schip & Werf 1959 blz. 223 - 228.
- [9.4] "Schiffsmodelwaage zur Messung der Längs-, Quer- und Leckstabilität,
Prof. Völker,
Schiffstechnik 1960, Bd 7, Heft 36, blz. 62 - 66.

HOOFDSTUK 10

10 Lekberekening

10.1 Historisch overzicht

Voor 1948 kwam het maken van lekberekeningen voor koopvaardijsschepen niet voor. Wel was het gebruikelijk voor marineschepen uitvoerige lekberekeningen te maken en na te gaan welke maatregelen genomen zouden moeten worden om het schip na beschadiging zo goed mogelijk drijvende en operationeel te houden ("damage-control")
Uitvoerige instructies met uitgewerkte voorbeelden en te nemen maatregelen werden aan boord meegegeven.

Met SOLAS 1948 werden voor het eerst aan passagiersschepen eisen gesteld aan de toestand van het schip indien dat door aanvaring lek was geworden. Dit is nog steeds het geval in SOLAS 1974. Afhankelijk van de indelingsfactor van het schip (zie hoofdstuk 11.2) dient met het lek worden van 1, 2 of 3 aangrenzende compartimenten te worden gerekend. De omvang van de beschadiging langsscheeps, dwarsscheeps en in hoogte is voorgeschreven.

In de uiteindelijke toestand, nadat in het geval van asymmetrisch vollopen tegenvloei maatregelen zijn genomen, dient aan de volgende eisen te worden voldaan:

- GM: in het geval van symmetrisch vollopen moet de metacenterhoogte ten minste 0,05 m bedragen, berekend bij de methode van constante waterverplaatsing;
- $\phi_{\max}$: bij asymmetrisch vollopen mag de slagzij niet groter zijn dan 7° , doch het Hoofd van de Scheepvaartinspectie kan een grotere slagzij toestaan, in geen geval mag deze in de eindtoestand groter zijn dan 15° ;
- $T < T_{\text{IDG}}$: onder geen voorwaarde mag de indompelingsgrenslijn (zie 11.2) in de eindtoestand na het vollopen onder water komen.

Het is dus van belang nader op de lekberekening in te gaan. Daarbij valt het op dat thans voor vele scheepstypen "damage stability" eisen gesteld worden, ook wat betreft de kromme van armen en de dynamische stabiliteit in lekke conditie.

10.2 Inleiding

Het lekstoten van één of meer waterdichte compartimenten heeft tot gevolg:

- dieper inzinken van het schip
- een trimverandering
- een mogelijke slagzij
- verandering van de stabiliteit door wijziging van G en M en door de invloed van vloeistoflading.

Deze verschijnselen treden tegelijkertijd op vanaf het moment dat het water begint binnen te stromen. Ter berekening van de eindtoestand worden zij vaak afzonderlijk in de genoemde volgorde onder ogen gezien. Daarna moet worden beoordeeld aan de hand van criteria of de toestand aanvaardbaar geacht kan worden.

In het algemeen zal een ruim lading bevatten, zodat het volume van het binnen-gestroomde water niet gelijk is aan het volume van het ruim. Ook constructiedelen nemen nog een zeker volume in beslag. Meestal wordt aangenomen dat de lading gelijkmatig is verdeeld in het ruim.

De permeabiliteit : van het ruim wordt nu als volgt gedefinieerd

$$\mu = \frac{\text{ruiminhoud} - \text{volume aanwezige lading}}{\text{ruiminhoud}} \times 100 \%$$

Is er geen lading dan is : = 100% (theoretisch); in verband met constructiedelen wordt meestal voorgeschreven: : = 95%.

Min of meer gestandaardiseerde waarden zijn:

laadruim leeg	: = 95%
vol	: = 65%
machinekamer	: = 85%
tanks	: = 0 of 95%

Ten behoeve van de nieuwere scheepstypen zijn onlangs onderzoeken gedaan waaruit volgt [10.1] [10.2] [10.3.]

- containerschepen	$\frac{1}{4}$ L vóór	: = 80%
(niet W.D. containers)	$\frac{1}{2}$ L midscheeps	: = 70%
	$\frac{1}{4}$ L achter	: = 75%
- Ro/Ro schepen, containers:	direct op het dek	: = 80%
(niet W.D. containers)	op chassis	: = 90%
- machinekamer turbine vrachtschip		: = 0.88 - 0.93
- ruim van een barge carrier (barges waterdicht)		: = 0.30

In principe kan men bij de lekberekening twee methoden volgen die uiteraard tot hetzelfde resultaat leiden; namelijk de methode van het verloren drijfvermogen en de methode van de toegevoegde lading:

3) De methode van het verloren drijfvermogen
("lost buoyancy" of "constant displacement" methode)

Het beschadigde compartiment wordt dan beschouwd als niet meer tot het schip behorend, het ingestroomde water staat even hoog als het buitenwater. Het displacement in de nieuwe toestand is gelijk aan het displacement voor de beschadiging. Verder blijft G op dezelfde plaats en B zal zich verplaatsen in hoogte-, lengte- en breedterichting door de veranderde vorm van de carène. De trim en de slagzij volgen uit de voorwaarde dat in de eindtoestand B en G op één verticaal moeten liggen.

Deze methode kan alleen de eindtoestand beoordelen. Wat er gebeurt tijdens het vollopen kan met deze methode niet worden nagegaan.

Het is mogelijk dat het schip in een tussentoestand kentert: om dit na te gaan moet de volgende methode toegepast worden:

4) De methode van de toegevoegde lading ("added weight")

Het displacement wordt in dit geval steeds groter omdat het ingestroomde water wordt opgevat als lading. Het gevolg is dat zowel G als B van plaats veranderen. Het lekwater moet in het algemeen opgevat worden als een vloeistof met een vrij oppervlak, waardoor de arm van statische stabiliteit afneemt. Indien tussentoestanden moeten worden onderzocht, dat wil zeggen momentopnamen tijdens het vollopen, dan dient de methode van de toegevoegde lading te worden toegepast, zie b.v. [10.4]. Deze methode moet ook toegepast worden in het geval dat de stijghoogte van het binnenstromende water beperkt wordt door een dek of de top van een tank.

Ter verduidelijking zullen een tweetal voorbeelden worden uitgewerkt.

10.3 Uitgewerkte voorbeelden

1. Een rechthoekige bak, L = 100 m, B = 20 m, drijft in lekke toestand met T = 5 m, zoals in figuur 10.1 is aangegeven. KG = 8 m. Gevraagd wordt de aanvangsmetacenterhoogte en het dwarsscheeps stabiliteitsmoment te berekenen (: = 100%).

a. met de methode: "verloren drijfvermogen"

$$\nabla = (100 - 40) 20 * 5 = 6000 \text{ m}^3$$

$$KB = \frac{1}{2} T = 2.50 \text{ m} \quad BM = \frac{I_T}{\nabla} = \frac{(100 - 40) 20^3}{12 * 6000} = 6.67 \text{ m}$$

$$KM = KB + BM = 2.50 + 6.67 = 9.17 \text{ m}$$

$$GM = KM - KG = 1.17 \text{ m}$$

$$M_{ST} = \rho g \nabla GM \varphi = \rho g 6000 * 1.17 \varphi = 7000 \rho g \varphi \text{ kNm}$$

(dit geldt voor kleine hoeken)

b. met de methode "toegevoegde lading"

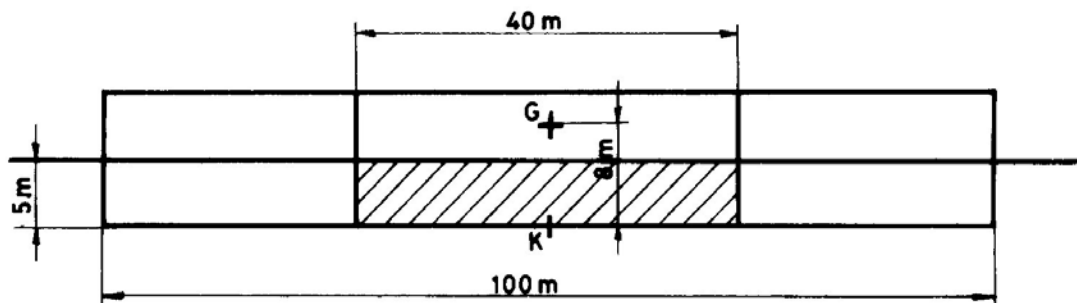
$$\nabla = (100 * 20 * 5 = 10000 \text{ m}^3)$$

$$KB = \frac{1}{2} T = 2.50 \text{ m} \quad BM = \frac{I_T}{\nabla} = \frac{100 * 20^3}{12 * 10000} = 6.67 \text{ m}$$

$$KM = KB + BM = 2.50 + 6.67 = 9.17 \text{ m}$$

KG wordt bepaald voor bak + lading door middel van een momentenberekening

	massa (t)	afstand tot basis (m)	mom. t.o.v. basis (t.m)
bak leeg	6000	8.00	48000
lekwater	4000	2.50	10000
totaal	10000	5.80	58000



figuur 10.1

$$GM = 9.17 - 5.80 = 3.37 \text{ m}$$

reductie wegens vrij vloeistofoppervlak:

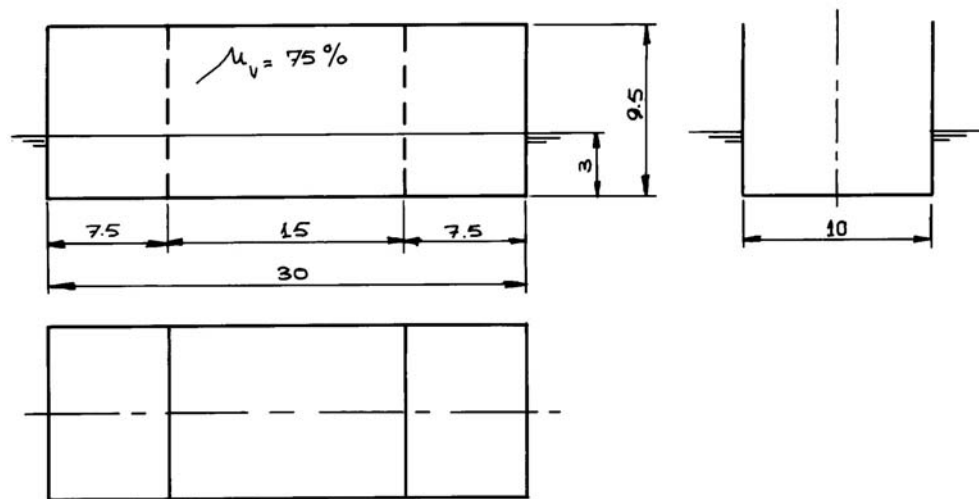
$$GG' = \frac{\rho' i}{\rho \nabla} \quad \rho' = \rho$$

$$GG' = \frac{40 \cdot 20^3}{12 \cdot 10000} = 2.67 \text{ m} \quad G'M = 3.37 - 2.67 = 0.70 \text{ m}$$

$$M_{ST} = \rho g \nabla GM \varphi = \rho g \nabla 10000 * 0.70 \varphi = 7000 \rho g \varphi \text{ kNm}$$

Het maakt dus verschil t.a.v. GM of deze volgens de ene of de andere methode uitgerekend wordt!
Het stabiliteitsmoment is uiteraard gelijk!

- Een bak heeft de afmetingen en de waterdichte indeling volgens fig. 10.2.
 Een dek is niet aanwezig. $KG = 4.35 \text{ m}$.
 De bak drijft in zoet water ($\rho = 1.0 \text{ t/m}^3$). Het middencompartiment wordt lek gestoten.
 Hoe is de ligging van de bak in de eindtoestand?
 De volumepermeabiliteit van het middencompartiment $\therefore_v = 75\%$
 de oppervlaktepermeabiliteit $\therefore_o = 100\%$
 A_w = oppervlak van de intacte waterlijn
 A = oppervlak van het beschadigde deel van de oorspronkelijke waterlijn
 De waterverplaatsing van de huid kan worden verwaarloosd.



figuur 10.2

a. met de methode "verloren drijfvermogen"

De massa van de bak is:

$$m = 30 \cdot 10 \cdot 3 \cdot \rho = 900 \text{ t} \quad \text{KG blijft } 4.35 \text{ m}$$

$$\text{verloren drijfvermogen} = \mu_v v = 0.75 \cdot 15 \cdot 10 \cdot 3 = 337.5 \text{ m}^3$$

$$T = T_0 + \Delta T = T_0 + \frac{\mu_v v}{A_w - \mu_v A} = 3 + \frac{337.5}{30 \cdot 10 - 0.75 \cdot 15 \cdot 10} = 4.80 \text{ m}$$

$$I_{T \text{ lek}} = I_T - \mu_o I_{\text{lek deel}} = \frac{1}{12} 10^3 (30 - 15) = 1250 \text{ m}^4 \quad \text{BM} = \frac{1250}{900} = 1.39 \text{ m}$$

$$\text{KM} = 2.40 + 1.39 = 3.79 \text{ m} \quad \text{GM} = -0.56 \text{ m}$$

Rechttop drijven is dus niet mogelijk.

Met Scribanti de hellingshoek bepalen:

$$\tan \varphi = \sqrt{\frac{-2 \text{ GM}}{\text{BM}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.56}{1.39}} = 0.898 \quad \varphi = 42^\circ$$

b. met de methode "toegevoegde lading"

Evenwicht bij diepgang T; massa bak + massa lekwater = displacement of:

$$900 + 15 \cdot 10 \cdot 0.75 \cdot T = 30 \cdot 10 \cdot T \quad T = 4.80 \text{ m}$$

KG wordt bepaald voor bak + lading d.m.v. een momentenberekening:

	massa (t)	afstand tot basis (m)	mom. t.o.v. basis (t.m)
bak leeg	900	4.35	3915
lekwater	540	2.40	1296
totaal	1440	3.62	5211

$$\text{BM} = \frac{I_T}{\nabla} = \frac{30 \cdot 10^3}{12 \cdot 1440} = 1.74 \text{ m} \quad \text{GM} = 2.40 + 1.74 - 3.62 = 0.52 \text{ m}$$

$$\text{GG}' = \frac{\rho' i}{\rho \nabla} = \frac{15 \cdot 10^3}{12 \cdot 1440} = 0.87 \text{ m} \quad \text{G'M} = 0.52 - 0.87 = -0.35 \text{ m}$$

Er is evenwicht als de arm van statische stabiliteit is 0:

$$[GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \varphi - \frac{i}{\nabla} (1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varphi)] \sin \varphi = 0$$

a. $\sin \varphi = 0 \quad \varphi = 0 \rightarrow$ labiel evenwicht

b. $GM + \frac{1}{2} BM \tan^2 \varphi - \frac{i}{\nabla} (1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varphi) = 0$

$$0.44 \tan^2 \varphi - 0.35 = 0$$

$$\tan \varphi = 0.89 \quad \varphi = 42^\circ$$

contrôle voor toepassing Scribanti:

waterstanden in en buiten de bak:

$$h_{\min} = 4.80 - 5 \times 0.89 = 4.80 - 4.45 = 0.35 \text{ m} > 0$$

$$h_{\max} = 4.80 + 5 \times 0.89 = 4.80 + 4.45 = 9.25 \text{ m} < \text{holte}$$

Kim komt niet uit het water; holte is 9.50 m, dus juiste formule toegepast.

10.4 Lekkerekening bij kleine diepgangs-, slagzij- en trimveranderingen

Er dient onderscheid gemaakt te worden tussen de volgende gevallen:

- het water kan ongehinderd stijgen in een lek compartiment;
- de stijging van het water wordt begrensd door een tanktop of een waterdicht dek.

In geval a. kan, als de interesse alleen uitgaat naar de uiteindelijke ligging van het schip, het doelmatigst de methode "verloren drijfvermogen" worden toegepast.

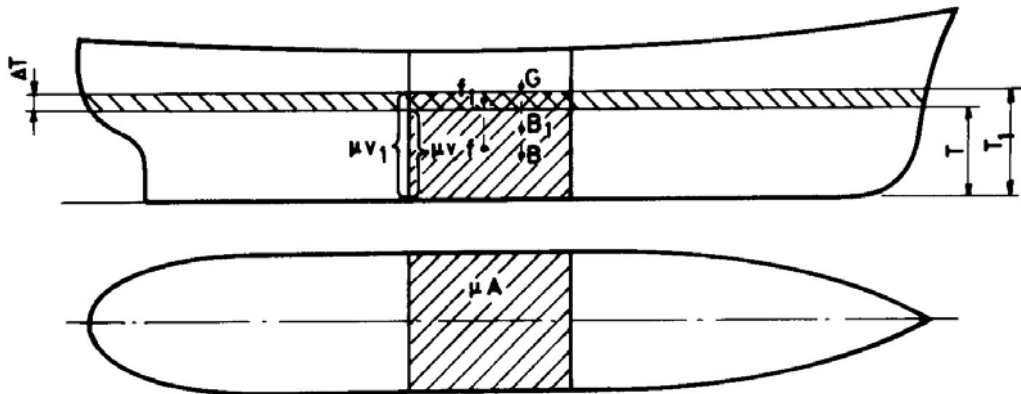
Voor geval b. dient de methode "toegevoegde lading" te worden toegepast. Daarbij wordt snel resultaat bereikt als over een trimdiagram beschikt wordt.

Evenwijdig inzinken.

Deze bijzondere situatie ontstaat wanneer een ruim ongeveer in het midden van de scheepslengte lek wordt.

Onderstaand wordt aangenomen dat volume- en oppervlaktepermeabiliteit gelijk zijn, maar noodzakelijk is dit uiteraard niet.

De nieuwe diepgang kan nu met behulp van de methode "verloren drijfvermogen" worden bepaald, zie figuur 10.3.



figuur 10.3

In de figuur is:

- :v - het volume van het ingestroomde lekwater onder de oorspronkelijke lastlijn T;
- :v₁ - het volume van het ingestroomde lekwater onder de nieuwe lastlijn T₁;
- A_w - het oppervlak van de onbeschadigde oorspronkelijke lastlijn;
- :A - het oppervlak van het beschadigde deel van deze lastlijn;
- f - het volumezwaartepunt van :v;
- f₁ - het volumezwaartepunt van de tweedelige schijf (A_w - :A)^aT.

Nu geldt: $A_W \Delta T = \mu v_1 = \mu v + \mu A \Delta T$

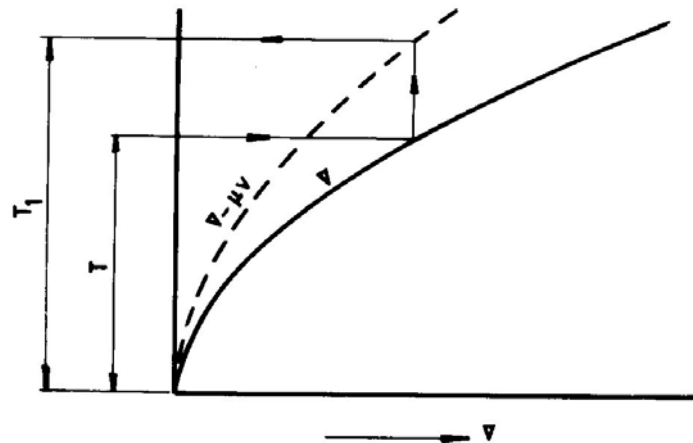
$$A_W \Delta T = \mu v + \mu A \Delta T \quad \Delta T = \frac{\mu v}{A_W - \mu A} \quad T_1 = T + \Delta T$$

Geredeneerd is dat het volume μv verloren is gegaan en gecompenseerd wordt door $\Delta T (A_W - \mu A)$. Door deze compensatie verplaatst het drukingspunt B zich naar B_1 ; daar de plaats van G niet is gewijzigd en er sprake is van evenwijdig inzinken moet ook B_1 op de verticaal BG liggen. Voor BB_1 kan geschreven worden:

$$BB_1 = \frac{ff_1 \mu v}{\nabla}$$

Uit het voorgaande volgt dat voor evenwijdig inzinken f_1 verticaal boven f moet liggen.

Is ΔT groot, dan kan met behulp van een gecorrigeerde L-kromme de nieuwe diepgang gevonden worden. De gecorrigeerde L-kromme stelt dan $(L - \mu v)$ voor. Voor het evenwicht is nodig dat $(L - \mu v)$ bij de nieuwe diepgang T_1 overeenkomt met L bij de oorspronkelijke diepgang T, zie figuur 10.4.

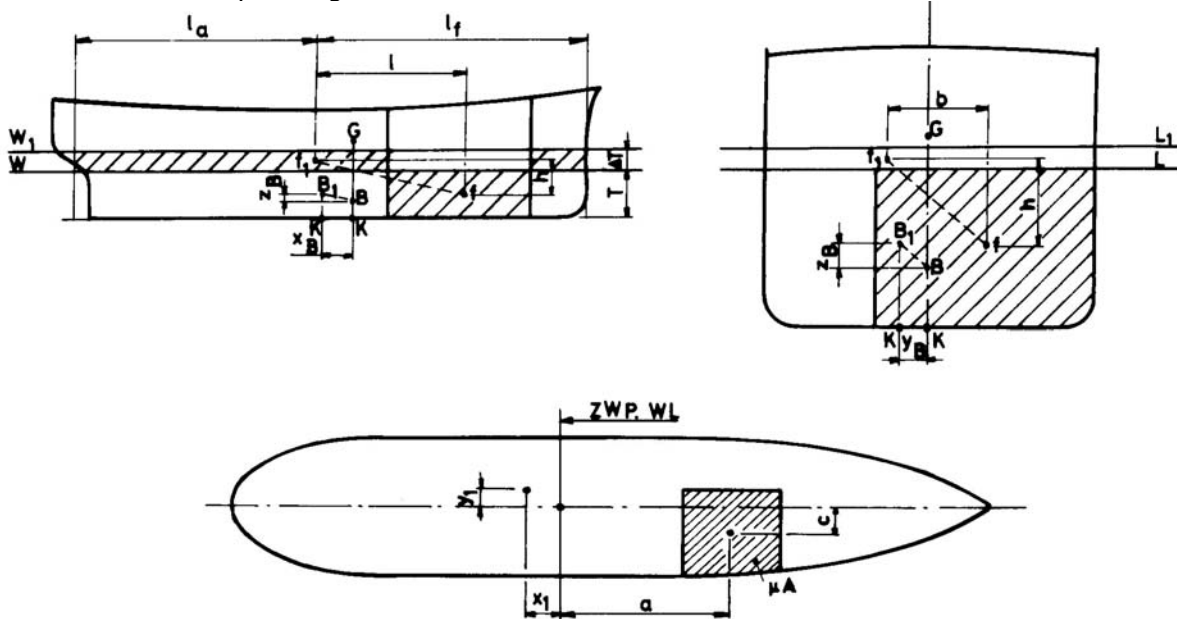


figuur 10.4

Het algemene geval

In het algemeen zal de lijn ff_1 niet verticaal zijn. Dan kan ff_1 ontbonden worden in, zie figuur 10.5:

- horizontale langsscheepse verplaatsing l
- horizontale dwarsscheepse verplaatsing b
- verticale verplaatsing h



figuur 10.5

Het drukkingspunt B verplaatst zich evenwijdig aan ff_1 en deze verplaatsing kan eveneens in drie richtingen worden ontbonden, namelijk x_B , y_B en z_B :

$$x_B = \frac{\mu v l}{\nabla} \quad y_B = \frac{\mu v b}{\nabla} \quad z_B = \frac{\mu v h}{\nabla}$$

In deze situatie treedt nu een trimmend, resp. kenterend moment op ter grootte van:

$$M_{TR} = \rho g \nabla x_B \cos \theta = \rho g \mu v l \cos \theta$$

$$M_K = \rho g \nabla y_B \cos \varphi = \rho g \mu v b \cos \varphi$$

$$KB_1 = KB + z_B = KB + \frac{\mu v h}{\nabla}$$

Aangenomen mag worden dat het zwaartepunt f_1 van de tweedelige schijf op $\frac{1}{2}aT$ boven de oorspronkelijke lastlijn ligt, zodat h kan worden bepaald. Ter bepaling van l en b is het nodig het zwaartepunt van de beschadigde lastlijn te bepalen. De coördinaten x_1 en y_1 van het zwaartepunt van de beschadigde lastlijn volgen dan uit:

$$x_1 = \frac{a \mu_o A}{A_w - \mu_o A}; \quad y_1 = \frac{c \mu_o A}{A_w - \mu_o A} \quad (\text{hierin is } \mu_o \text{ de oppervlakte permeabiliteit})$$

Nu het trimmend en het kenterend moment bekend zijn, kan de langsscheepse ligging en de slagzij berekend worden. De trimhoek wordt bepaald uit:

$$\tan \theta = \frac{\rho g \mu v l}{\rho g \nabla GM_{L1}} = \frac{\mu v l}{\nabla GM_{L1}}$$

Hierbij wordt een gecorrigeerde langsmetacenterhoogte gebruikt, aangezien B en M_L van plaats zijn veranderd. (G blijft bij de methode van "verloren drijfvermogen" op zijn plaats)

$$GM_{L1} = KB_1 + B_1 M_{L1} - KG$$

$$B_1 M_{L1} = \frac{I_L + A_w x_1^2 - \mu_o i_L - (a + x_1)^2 \mu_o A}{\nabla}$$

De totale trim bedraagt: $t = L \tan \theta$

de diepgangen worden:

$$T_a = T_0 + \frac{\mu v}{A_w - \mu A} - l_a \frac{\mu v l}{\nabla GM_{L1}} \quad l_a = \frac{L}{2} + x_a - x_1$$

$$T_f = T_0 + \frac{\mu v}{A_w - \mu A} - l_f \frac{\mu v l}{\nabla GM_{L1}} \quad l_f = \frac{L}{2} - x_a + x_1$$

de slagzij wordt dan bepaald uit :

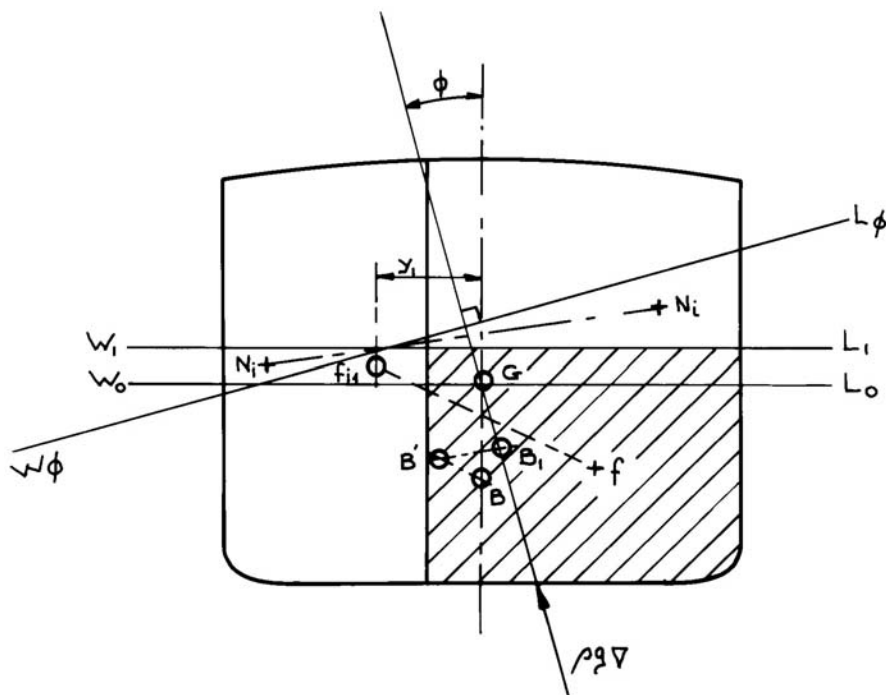
$$\tan \varphi = \frac{\rho g \mu v b}{\rho g \nabla GM_1} = \frac{\mu v b}{\nabla GM_1}$$

Hierbij kan voor GM_1 geschreven worden:

$$GM_1 = KB_1 + B_1 M_1 - KG$$

$$B_1 M_1 = \frac{I_T + A_w y_1^2 - \mu_o i_T - (c + y_1)^2 \mu_o A}{\nabla}$$

De uiteindelijke evenwichtsstand is in figuur 10.6 aangegeven, het verschoven drukkingspunt B_1 ligt nu onder G .



figuur 10.6

Voor de volledigheid zou in bovenstaande berekening nog rekening kunnen worden gehouden met het verschil tussen oppervlakte- en volumepermeabiliteit. Eenvoudigheidshalve is dat niet gedaan. Door de verschillende aannamen geeft de hierboven besproken lekberekening alleen dan nauwkeurige resultaten als de veranderingen ten opzichte van de oorspronkelijke evenwichtstoestand van het schip gering zijn. Is dat niet het geval dan kan bijvoorbeeld de methode van Kriloff toegepast worden.

10.5 * Methode Kriloff

Bij deze iteratiemethode [10.5] kan worden uitgegaan van het eindresultaat van de vorige berekening, maar nodig is dat niet.

Wordt het evenwicht gecontroleerd, dan zal bij grotere veranderingen ten opzichte van de oorspronkelijke toestand meestal blijken:

$$\nabla_\theta - \nabla \neq 0 \quad \text{en} \quad x_{B\theta} - x_G \neq 0$$

Ten opzichte van de waterlijn $w_1 l_1$ moet de diepgang gewijzigd worden met:

$$\Delta T = \frac{\nabla_\theta - \nabla}{A_{w\theta} - \mu A_\theta}$$

Voor het verschil in lengteligging van B en G zal de trim gewijzigd worden met:

$$\Delta t = \Delta \theta L = \frac{\rho g \nabla (x_{B\theta} - x_G)}{\rho g \nabla GM_{L\theta}} L = \frac{x_{B\theta} - x_G}{GM_{L\theta}} L \quad (\tan \theta = \theta \quad (\text{rad}))$$

De berekening wordt herhaald totdat aan beide voorwaarden is voldaan.

10.6 * Benaderingsmethoden

Methode Knüpfner [10.6]

Om in een vroeg stadium van het ontwerp van een passagiersschip, dat wil zeggen nog voordat een lijnenplan beschikbaar is, een controle op de eigenschappen van de lekstabiliteit te kunnen uitvoeren is door Knüpfner een benaderingsmethode ontwikkeld. Uitgaande van de scheepsvorm van het passagiersschip "Bergensfjord" werden enige andere vormen van passagiersschepen verkregen door middel van affine transformatie. Daarna werden een groot aantal lekberekeningen met behulp van de computer uitgevoerd. De resultaten werden in diagrammen verzameld. Op deze wijze zijn de diepgangen achter en voor en de aanvangsmetacenterhoogte te bepalen. Het gebruik van de diagrammen vereist een grondige bestudering van de publicatie.

Methode Söding [10. 7]

Deze methode werd ontwikkeld in verband met de eisen welke ook aan de lekstabiliteit van vrachtschepen worden gesteld.

De scheepsvormen werden aan de Todd-60 serie ontleend.

De diagrammen zijn op dezelfde wijze ingericht als die van Knüpfper.

10.7 * Rekenmethoden

Om de lekstabiliteit van schepen te controleren zijn programma's ontwikkeld die de mogelijkheid bieden om vele situaties en mogelijkheden van combinaties van compartimenten die lek kunnen worden te berekenen. [10.8]

De volumina van de waterdichte compartimenten worden door schotten, nissen, langswanden, enz. zeer onregelmatig van vorm, die bovendien door de optredende slagzij, trim, luchtinsluitingen en openingen nog worden beïnvloed. Op deze basis dienen dan de massa en het zwaartepunt van het lekwater te worden bepaald.

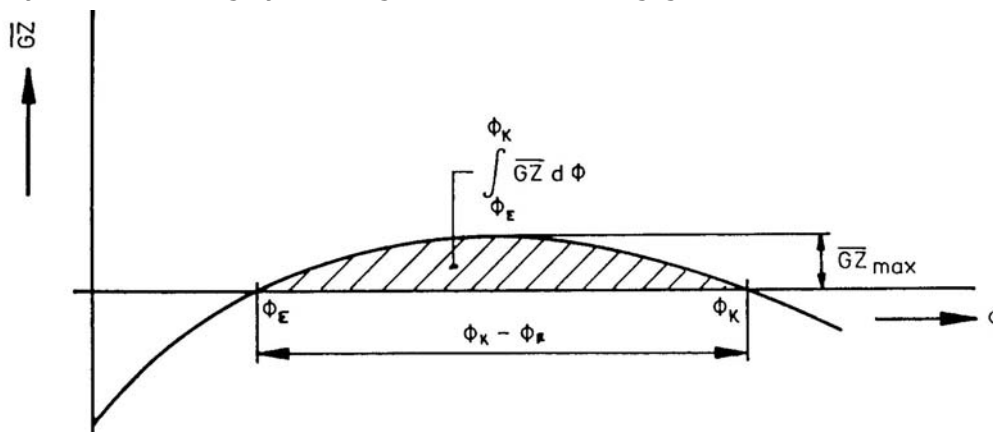
10.8 * Voorschriften op het gebied van de lekstabiliteit van diverse scheepstypen

Tegenwoordig zijn een groot aantal voorschriften op het gebied van de lekstabiliteit of "damage stability" van kracht. De belangrijkste worden onderstaand genoemd, met korte vermelding van de belangrijkste eisen waaraan moet worden voldaan. In voorkomende gevallen dient uiteraard de complete tekst te worden geraadpleegd.

Opgemerkt wordt dat de eisen, zoals door verschillende conventies en codes omschreven vaak uiteen lopen, maar dat aan de "harmonisatie" wordt gewerkt. [10.18]

De lekberekening dient als regel te worden uitgevoerd volgens de methode "verloren drijfvermogen", terwijl de meeste eisen betrekking hebben op de eindtoestand.

De kromme van armen bij asymmetrisch lek worden van het schip ziet er dan uit als aangegeven in figuur 10.7. De grootheden die bij de beoordeling van de stabiliteit in de lekke toestand een belangrijke rol spelen zijn voor zover mogelijk in de figuur schematisch aangegeven.



figuur 10.7 Kromme van armen in lekke toestand (bij asymmetrisch vollopen)

- | | | |
|---|---|-------------------------|
| - | GM in eindtoestand: | GM_E |
| - | slagzij in eindtoestand: | φ_E |
| - | stabiliteitsomvang positieve stabiliteit: | $\varphi_K - \varphi_E$ |
| - | maximale positieve GZ-waarde: | GZ_{max} |

- | | | |
|---|---|---|
| - | dynamische weg van positieve GZ-kromme: | $e_{pos.} = \int_{\varphi_E}^{\varphi_K} GZ d\varphi$ |
|---|---|---|

- waterlijn in de eindtoestand onder de indompelingsgrenslijn, resp. onder niet waterdichte openingen, zodat geen voortgaand vollopen van het schip kan plaatsvinden; hierbij rekening houden met inzinking, trim en slagzij ter plaatse.

a. International Load Lines Convention 1966 [10.9]

Voor schepen van het type A (tankers) > 150 m en schepen van het type B met gereduceerd vrijboord dient te worden aangetoond dat zij bij het lek worden blijven drijven in een aanvaardbare eindtoestand, dat wil zeggen:

GM_E positief
 φ_E asymmetrisch # 15°
 waterlijn in eindtoestand controleren.

b. IMCO - Resolution A320, 1975 [10.10]

GM_E positief
 φ_E asymmetrisch # 15°
 φ_E dek boven water # 15°
 $\varphi_K - \varphi_E$ # 20°
 GZ_{max} \$ 0.1 m
 $e_{pos.}$ \$ 0.0175 mrad
 waterlijn in eindtoestand controleren.

c. SOLAS 1974 [10.11]

Alleen voor passagiersschepen worden eisen gesteld aan de stabiliteit in lekke conditie:

GM_E \$ 0.05 m
 φ_E asymmetrisch # 7°
 φ_E in bijzondere gevallen # 15°
 waterlijn in eindtoestand controleren.

d. IMCO - Resolution A265 [10.12]

Deze zogenaamde equivalente voorschriften zijn gelijkwaardig aan die van SOLAS 1974, hoofdstuk 2, deel B "Subdivision and stability". Volgens deze voorschriften dient een passagiersschip een zodanige waterdichte indeling te bezitten, dat zij voldoet aan eisen ten aanzien van de "attained subdivision index A" (zie hoofdstuk 12) en aan eisen ten aanzien van de stabiliteit in beschadigde toestand. De laatste zijn:

GM_E \$ 0.05 m
 GM_E \$ $0.003 * B^2_2(N_1 + N_2)/F_1$
 GM_E \$ $0.015 * B_2/F_1$
 φ_E 1 compartiment # 7°
 φ_E 2 compartimenten # 12°
 φ_E asymmetrisch # 20°
 tijd voor counter-flooding # 10 minuten
 eventueel tussenstanden tijdens vollopen controleren φ # 20°
 (B_2 = scheepsbreedte, F_1 = "damage freeboard", $N_1 + N_2$ = aantal personen)

e. Chemical code (IMCO - resolution A212) [10.13]

Voor chemicaliëntankers:

φ_E # 15°
 φ_E dek boven water # 17°
 φ_E schepen < 150 m # 25°
 GZ_{max} \$ 0.1 m
 $\varphi_K - \varphi_E$ # 20°
 waterlijn in eindtoestand controleren.

f. MARPOL 1973 [10.14]

Conventie op het gebied van de "marine pollution" voor olietankers.

φ_E asymmetrisch # 25°
 φ_E dek boven water # 30°
 GZ_{max} \$ 0.1 m
 $\varphi_K - \varphi_E$ # 20°
 waterlijn in eindtoestand controleren; voldoende stabiliteit tijdens vollopen.

g. Gascarrier code 1975 (IMCO - resolution A328) [10.15]

Speciale code voor LNG, LPG, NH₃ en andere gastankers.

φ_E	# 30°
$GZ_{\max}$	\$ 0.1 m
$\varphi_K - \varphi_E$	\$ 20°

waterlijn in eindtoestand controleren; tussenstadia controleren.

h. Guidelines for the design and construction of offshore supply vessels
(IMCO - resolution A469) [10.16]

φ_E	asymmetrisch	# 15°
φ_E	dek boven water	# 17°
$GZ_{\max}$		\$ 0.1

waterlijn in eindtoestand controleren; voldoende stabiliteit tijdens vollopen

i. Conventie Torromolinos 1977 [10.17]

Eisen ten aanzien van lekstabiliteit van visserijvaartuigen langer dan 100 m met meer dan 100 personen aan boord (inclusief visfabricage).

φ_E	# 15°
φ_E dek boven water	# 20°
$\varphi_K - \varphi_E$	\$ 20°
$GZ_{\max}$	\$ 0.1 m
$e_{\text{pos.}}$	\$ 0.0175 mrad

voldoende stabiliteit tijdens vollopen

j. **Diversen**

Tot slot van dit onderwerp kan worden vermeld dat in IMCO verband wordt gesproken over eisen ten aanzien van de waterdichte indeling en lekstabiliteit van vrachtschepen.

In de voormalige USSR zijn reeds eisen van kracht voor:

- vrachtschepen met zware ijsklasse;
- vrachtschepen en Ro/Ro schepen, L \$ 170 m;
- visfabriekschepen, visserijvaartuigen en gekoeide viscarriers, L \$ 100 m;
- sleepboten, bergingsvaartuigen, ijsbrekers.

10.9 'Overvloei' inrichtingen

(ook wel tegenvloei- of vereveningsinrichtingen genoemd; Eng.: Cross-flooding, counter-flooding or equalizing-arrangements)

Bij de lekstabiliteitsvoorschriften worden meestal de maximaal toelaatbare hellingshoeken opgegeven. Soms wordt daarbij de mogelijkheid aangegeven dat deze kunnen worden beperkt door middel van "overvloei" maatregelen. In resolutie A265 wordt daarbij nog als voorwaarde gesteld dat de tijd waarin de vereffening plaatsvindt niet langer mag zijn dan 10 minuten. Wat onder overvloei-inrichtingen moet worden verstaan wordt uiteengezet aan de hand van figuur 10.8.

Bij het lek worden van b.v. compartiment III zal grote slagzij kunnen ontstaan. Om deze binnen de perken te kunnen houden kan de afsluiter worden geopend van een overvloeileiding. Dan stroomt ook compartiment I vol en er zal (bij positieve stabiliteit) geen of zeer weinig slagzij optreden.

De afsluiter dient bij voorkeur automatisch te werken, maar dient in ieder geval van boven het schot-tendek bedienbaar te zijn.

Voor het berekenen van de vultijd, resp. van de doorsnede van de overvloeileiding wordt in [10.22] een standaardmethode aangegeven. Daarbij is de tijd voor een complete vereffening te bepalen uit:

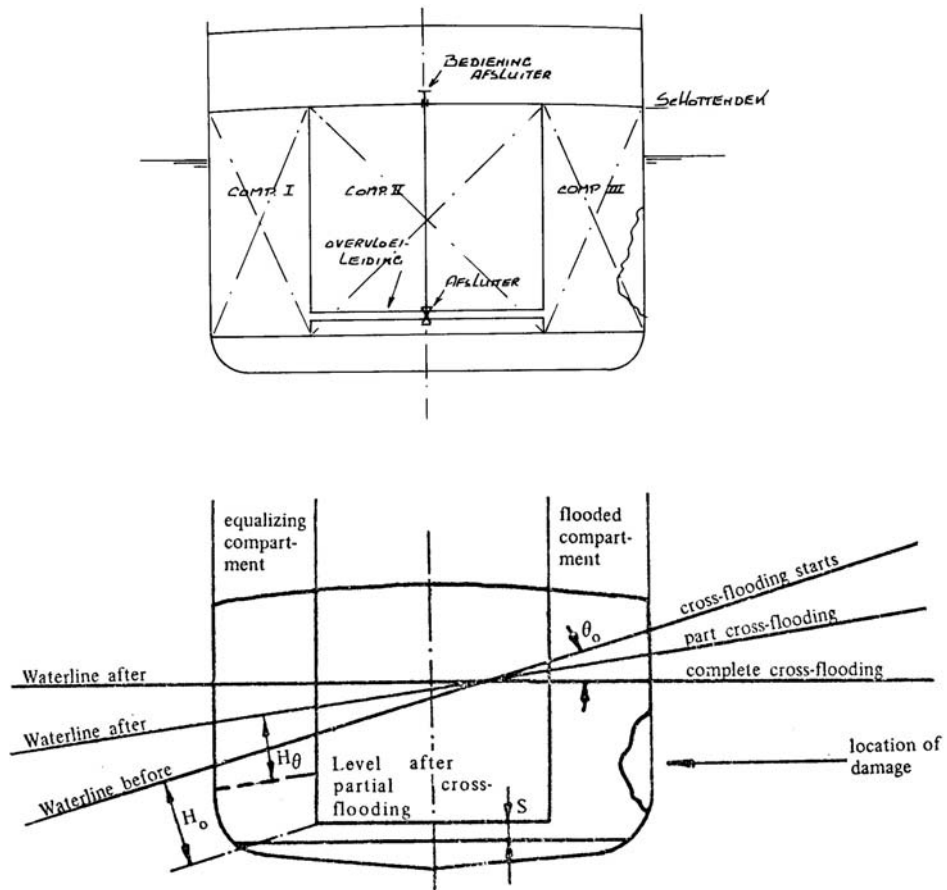
$$T_0 = \frac{2W}{SF} * \frac{1 - \sqrt{\frac{h_f}{H_0}}}{\sqrt{2gH_0}} * \frac{1}{1 - \frac{h_f}{H_0}} \quad (\text{s})$$

waarin:

W = volume lekwater binnentredende in het compartiment gedurende de beschouwde periode;

- S = dwarsdoorsnede van de overvloeileiding;
- H_0 = hoogte waterkolom voor het begin van het overvloeien;
- h_f = hoogte waterkolom na overvloeien ($h_f = 0$ wanneer het wateroppervlak in de overvloeitank gelijk staat met het buitenwater);
- F = $1 / (1 + Ek)$ dimensieloze factor voor snelheidsvermindering in de leiding ten gevolge van bochten, afsluiters, enz.

Zie ook [10.19], [10.20] en [10.21]



figuur 10.8

10.10 'Damage-control'

Ook op het gebied van de "damage-control", dat wil zeggen het nemen van de juiste maatregelen in geval van beschadiging door aanvaring of aan de grond lopen dienen de nodige instructies aan boord te worden meegegeven.

In IMCO verband is dit onderwerp besproken voor wat betreft te verschaffen informatie, duidelijkheid en snelle hanteerbaarheid in noodsituaties. [10.23]

Ook kan bij dit soort problemen met voordeel van een computer aan boord of aan de wal gebruik gemaakt worden.

Op deze wijze kunnen kapitein en stuurlieden snel inzicht krijgen in de opgetreden situatie en mogelijke maatregelen uittesten om het schip te behouden.

10.11 * Literatuur hoofdstuk 10

- [10.1] IMCO paper STAB/47 submitted by USA 25 febr 1976
"An investigation into the permeability of container ships and Ro/Ro ships"
- [10.2] IMCO paper STAB/50 submitted by USA 15 dec 1976
"Study of the permeability of cargo ships"
- [10.3] IMCO paper STAB/58 submitted by Poland 4 okt 1977
"Distributions of hold permeability and container ships service draughts"
- [10.4] IMCO paper STAB XXII/3 submitted by France 20 July 1978
"Method of investigation of intermediate stages of flooding"
- [10.5] "Bepaling van de eindtoestand in de lekberekening"
J.v.d. Lindt en B.T. Perdijk
Schip en Werf 1961 blz. 525 - 529
- [10.6] "Die durchführung von leckrechnungen im Schiffsentwurf"
Dipl. ing. K. Knüpfner
Schiffstechnik 1961, biz.51 - 74 en 97 - 123
- [10.7] "Das Leckverhalten von Frachtschiffen"
H. Söding
Hansa 1968 biz. 571 - 575
- [10.8] Computerprogramma voor het bepalen van de "probability of survival" van een passagiers-
schip in overeenstemming met IMO resolutie A265
D.J. Engelbracht
Rapportnr. 738-S Scheepshydraulica, TU Delft 1987
- [10.9] International Load Lines Convention 1966. (ILLC'66)
- [10.10] "Regulation equivalent to regulation 27 of the international Convention on Load Lines 1966"
IMCO-resolution A320, London, nov 1975
- [10.11] International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974
(SOLAS 1974) London 1974
(bibl.nr. K82 - 74.01E)
- [10.12] "Regulations on subdivision and stability of passenger ships as an equivalent to part B of
Chapter II of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1960
IMCO-resolution A265, London, nov 1973
(bibl.nr. K82 - 74.09E)
- [10.13] "Code for the construction and equipment of ships carrying dangerous chemicals in bulk" (Bulk
Chemical Code)
IMCO-resolution A212, London, okt 1971
(bibl.nr. K82 - 1972.5E)
- [10.14] International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
(ICPPS'73 of MARPOL'73)
(bibl.nr. K82 - 77)
- [10.15] "Code for the construction and equipment of ships carrying liquefied gases in bulk" (Gas Car-
rier Code)
IMCO-resolution A328, London nov 1975

- [10.16] Guidelines for the design and construction of offshore supply-vessels,
IMO Resolution A 469, London 1981
(bibl.nr. K82 - RD12, blz. 103-116)
- [10.17] Torremolinos International Convention for the Safety of fishing vessels,
1977. (Bibl.nr. K82 - 25)
- [10.18] IMCO paper STAB XXIV/5/1, note by the Secretariat. 1 August 1979;
"Harmonisation of Subdivision and damage stability requirements in Marpol 1973, Bulk chemical code and Gascarrier code
- [10.19] "Equalisation of unsymmetrical flooding"
dr. ing. G. Soida
TRINA 1961, biz. 219 -225
- [10.20] "Enige opmerkingen over de vultijd van counter flooding tanks"
J. v.d. Lindt en B.T. Perdijk
Schip en Werf 1961, blz. 813 - 818
- [10.21] "Ueber die Auslegung von Querflutkanäle"
G. Woisin
Schiff und Hafen, 1969 blz. 645 - 649
- [10.22] "Recommendation on a standard method for establishing compliance with the requirements
for cross-flooding arrangements in passenger ships"
IMCO-resolution A266, London nov 1973
(bibl.nr. K82 - 74.04 E)
- [10.23] "Draft recommendation on format and content of information to the master on damaged conditions"
IMCO paper STAB XXV/11 Annex 5 sept 1980
- [10.24] "Trim, stability and loading manuals: a survey of needs, uses and improvements"
W.H. Garzke, R.E. Johnson, A.C. Landsburg
SNAME 1974 blz. 19 - 59

HOOFDSTUK 11

11 Waterdichte indeling (schottenkromme)

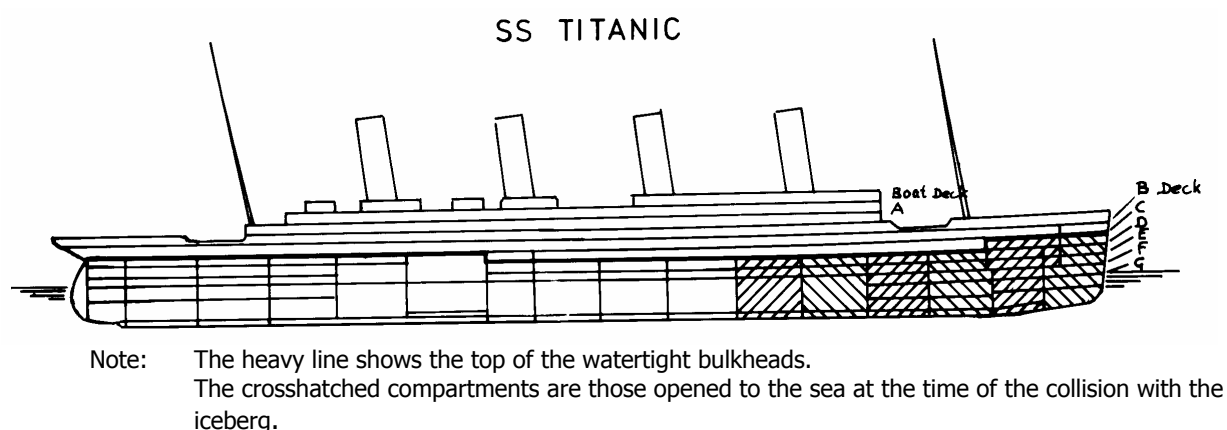
11.1 Inleiding

Bij passagiersschepen dient de waterdichte indeling, dat wil zeggen het aantal en de plaats van de waterdichte schotten, aan wettelijke voorschriften te voldoen. Deze eisen en voorschriften zijn internationaal vastgelegd in de International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) en in de nationale wetgeving overgenomen (Schepenwet en schepenbesluit)

De eerste SOLAS conferentie vond plaats in 1913, naar aanleiding van het zinken van de "Titanic" in 1912, waarbij 2207 opvarenden het leven verloren. Zie figuur 11.1 voor een indeling van SS "Titanic". Aangezien kort daarop de eerste wereldoorlog uitbrak, zijn de eerste voorschriften pas in 1929 van kracht geworden. Sinds die tijd zijn de voorschriften regelmatig aangepast en verbeterd, maar de principes zijn praktisch niet veranderd. In 1948 zijn als belangrijkste aanvulling op de toen geldende voorschriften eisen opgenomen voor de stabiliteit van het schip in lekke conditie.

In de loop der jaren zijn steeds meer bezwaren gerezen tegen de methode der schottenkromme of zogenaamde factoren-methode. In april 1960 werd een speciaal "Subcommittee on Subdivision and Stability problems" ingesteld, dat het vraagstuk van de waterdichte indeling van passagiersschepen van de grond af in studie moest nemen.

Zie verder hoofdstuk 12.



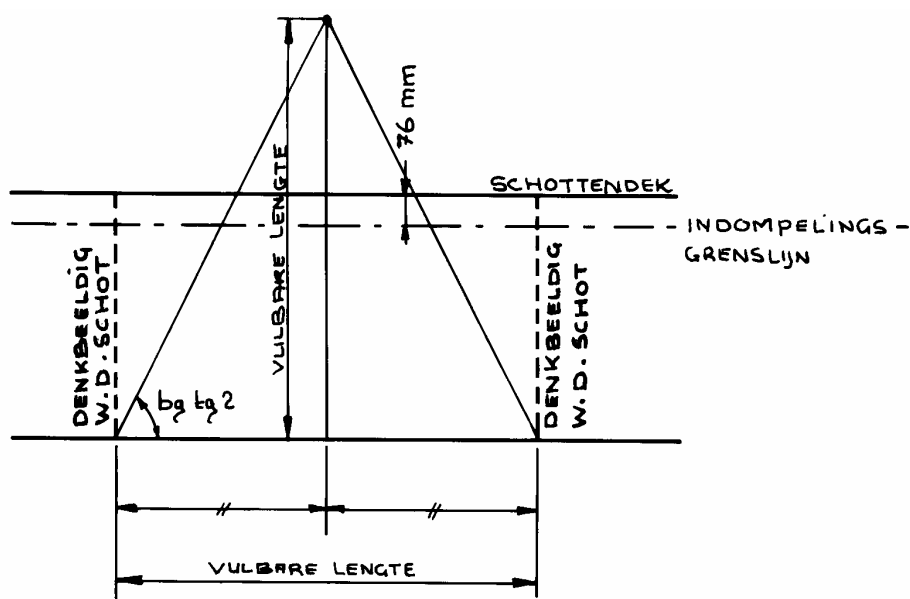
figuur 11.1

11.2 Uitgangspunten, begrippen en definities

passagiersschip	- een schip ingericht voor het vervoer van meer dan 12 betalende passagiers;
schottendek	- het bovenste dek tot waar de schotten waterdicht zijn opgetrokken;
schottendiepgang	- diepgang waarvoor de indeling der waterdichte schotten wordt vastgesteld;
indompelingsgrenslijn	- een denkbeeldige lijn op het scheepsboord 76 mm onder het schottendek;
permeabiliteit	- het percentage van het volume dat door water kan worden ingenomen;
vulbare lengte	- de lengte, op een punt van de scheepslengte, van een denkbeeldig compartiment, dat lek wordend het schip juist doet inzinken tot aan de indompelingsgrenslijn;
toelaatbare lengte	- de maximaal toegestane lengte, op een punt van de scheepslengte, van een waterdicht compartiment; de toelaatbare lengte wordt verkregen door de vulbare lengte ter plaatse te vermenigvuldigen met de indelingsfactor;
indelingsfactor	- een coëfficiënt afhankelijk van de scheepslengte en het criterium van dienst;
criterium van dienst	- hiermee wordt de mate van het passagiersschipkarakter van een schip aangegeven; veel passagiers en weinig lading of omgekeerd;

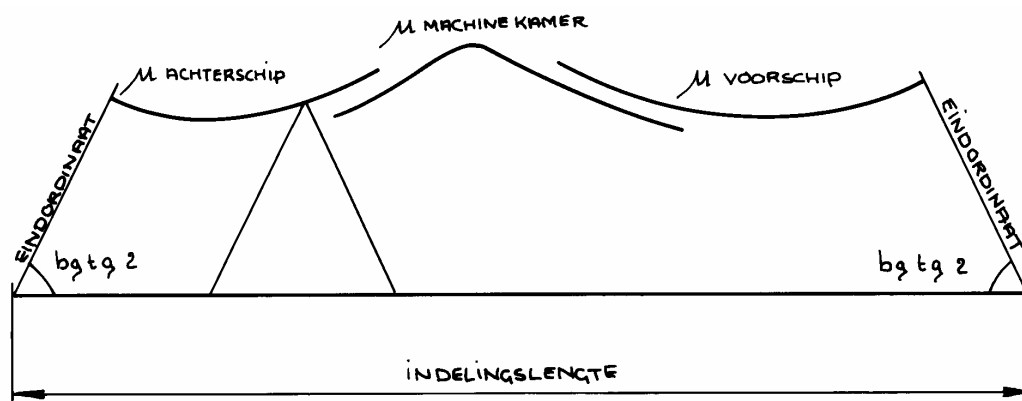
Bij de waterdichte indeling van passagiersschepen volgens de schottenkromme-methode (zie bijlage II van de schepenwet betreffende "Constructie van passagiersschepen", hoofdstuk: I "Voorschriften in verband met de waterdichte indeling en stabiliteit" of de SOLAS voorschriften 1974) geldt het uitgangspunt dat een door aanvaring lek geworden schip niet verder mag inzinken dan tot aan de zogenaamde **indompelingsgrenslijn**. Het **schottendek** blijft dan over de gehele lengte boven water en op deze wijze wordt voorkomen dat lekwater van het ene lekke compartiment naar andere compartimenten overloopt, waardoor het schip zou zinken. Uitgangspunt is dat het schip zinkt zonder slagzij. De stabiliteit in lekke conditie komt bij de schottenkromme niet aan de orde. De lekstabiliteitseisen zoals in 1948 voor passagiersschepen ingevoerd zijn additionele eisen en houden geen verband met de schottenkromme. De genoemde 76 mm tussen schottendek en indompelingsgrenslijn is te beschouwen als een veiligheidsmarge tegen het overlopen van lekwater.

Om te bereiken dat een schip niet verder inzinkt dan tot aan de indompelingsgrenslijn mogen de waterdichte compartimenten de **vulbare lengte** ter plaatse niet overschrijden. De vulbare lengten worden in een kromme als functie van de scheepslengte voorgesteld, waarbij de vulbare lengte op het midden van de lengte van het (denkbeeldige) compartiment wordt uitgezet, zie figuur 11.2.



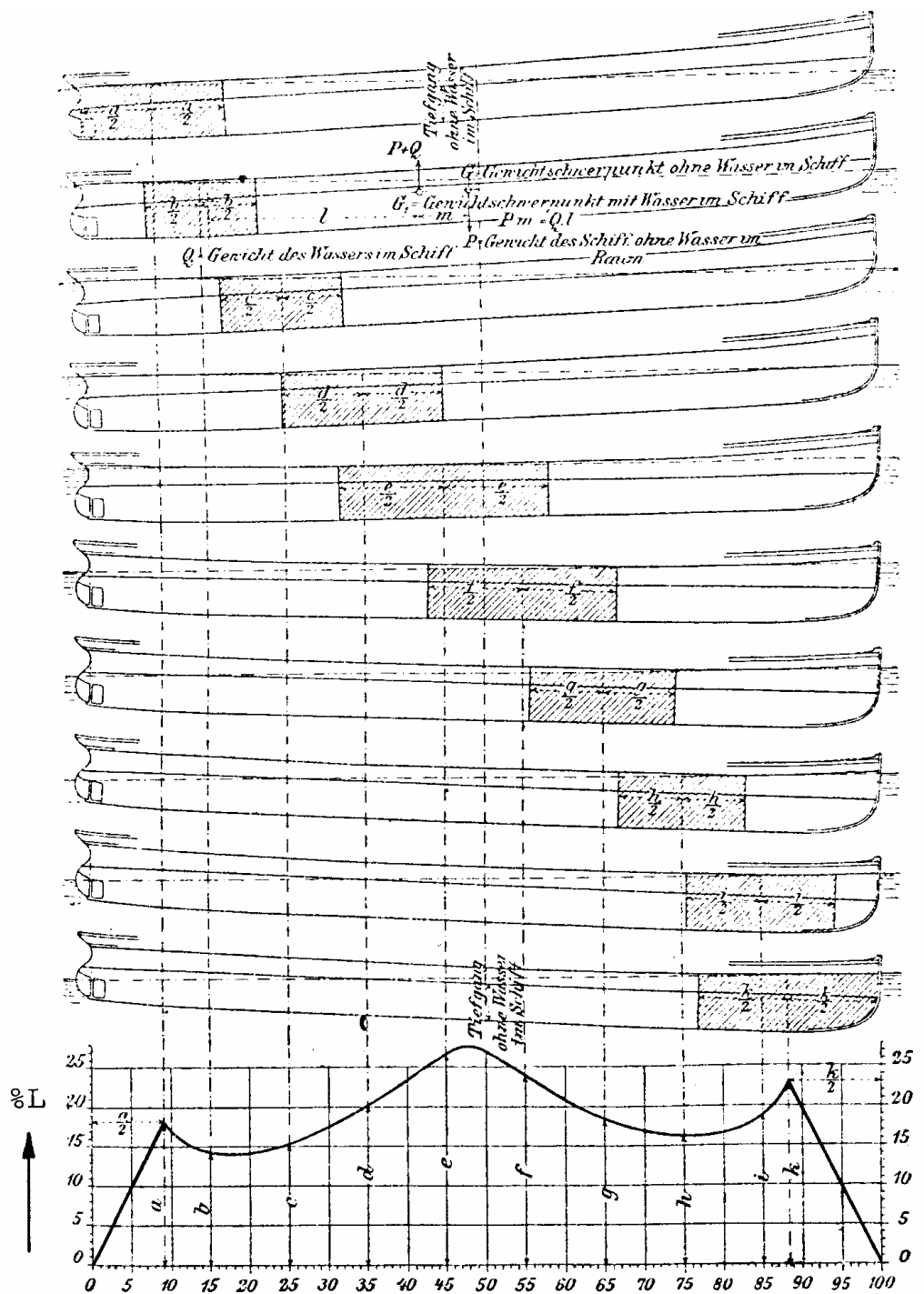
figuur 11.2

Door het verschil in permeabiliteit van diverse onderdelen van het schip bestaat de **kromme van vulbare lengten** uit verschillende takken zoals in figuur 11.3 is aangegeven en wordt aan de uiteinden begrensd door rechte lijnen die een hoek van $\arctan 2$ met de horizontale as maken.



figuur 11.3

In figuur 11.4 is de kromme van vulbare lengten van een schip met een constante permeabiliteit gegeven inclusief de mogelijke ruimten voor een aantal plaatsen van de scheepslengte. De bijbehorende inzinking tot aan de indompelingsgrenslijn en de ligging van het schip zijn ook aangegeven.



figuur 11.4

Wanneer op basis van de genoemde uitgangspunten de waterdichte indeling van een schip zou worden ontworpen, zou het schip bij aanvaring en lek worden inzinken tot aan de indompelingsgrenslijn. Dit werd niet veilig genoeg geacht en daarom moesten de waterdichte compartimenten worden verkort, dus de schotafstanden worden verkleind, afhankelijk van de grootte en het karakter van het passagiersschip.

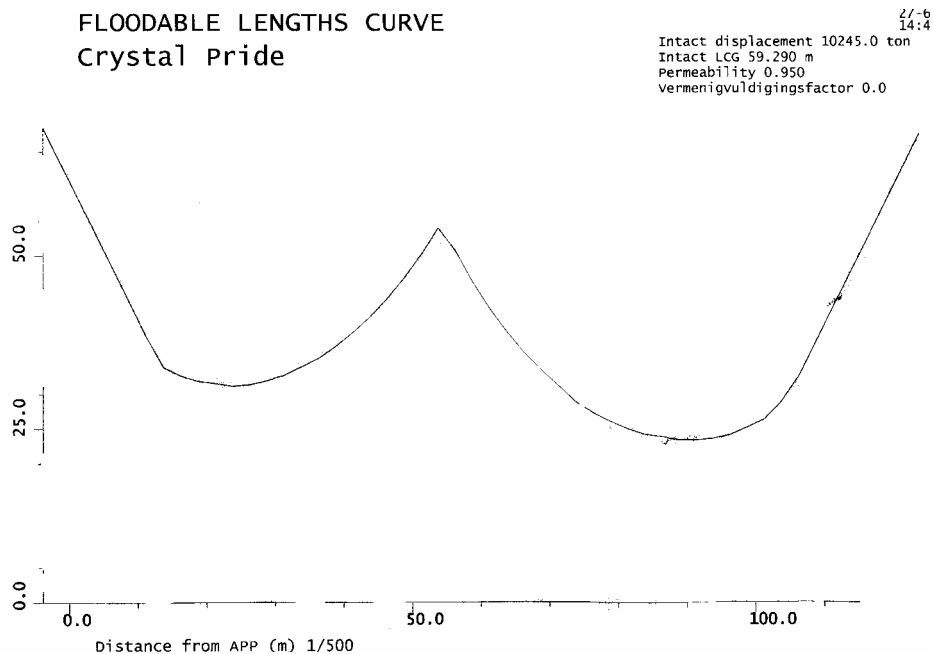
Deze verkleining van de schotafstanden werd verkregen door de vulbare lengten te vermenigvuldigen met een veiligheidsfactor kleiner dan 1: de **indelingsfactor**, waardoor de zogenaamde **toelaatbare lengten** werden verkregen.

Als de indelingsfactor 1 bedraagt ($F = 1$, klein schip, weinig passagiers), dan is de toelaatbare lengte gelijk aan de vulbare lengte en kan het schip slechts het vollopen van één compartiment verdragen; dit heet een **1-compartimentsschip**. Als $F \neq 0.5$ dan kan het schip het lek worden van twee compartimenten verdragen en heet een **2-compartimentsschip**. De indelingsfactor kan variëren afhankelijk van de grootte en het karakter van het passagiersschip tussen 0.3 en 1.

11.3 * Computerprogrammatuur

Een schottenkromme is ook te maken met een computerprogramma. Hiertoe moet men de scheepsvorm ingevoerd hebben en het lege scheepsgewicht, de absolute coördinaten van de ordinaten, een stapgrootte en de permeabiliteit.

Hieronder staat de schottenkromme van een koelschip (waarvan op blz. 9.9 het trimdiagram gegeven is).



figuur 11.5 Kromme van vulbare lengte van een koelschip

11.4 Gebruik schottenkromme

De kromme van vulbare lengten bestaat meestal uit drie verschillende takken omdat de permeabiliteiten voor voorschip, achterschip en machinekamer gedeelte verschillend zijn. Ook de kromme van toelaatbare lengten heeft hierdoor drie verschillende takken zoals o.a. uit figuur 11.3 blijkt.

Het gebruik van de schottenkromme (kromme van toelaatbare lengten) is als volgt:

gecontroleerd moet worden of de lengte van de waterdichte compartimenten gelijk is of kleiner aan de toelaatbare lengte ter plaatse. Dit kan gedaan worden door de waterdichte indeling en de kromme van toelaatbare lengten in één figuur te tekenen, inclusief alle "compartimentsdriehoeken". De toppen van de compartimentsdriehoeken dienen dan gelijk of lager dan de kromme van toelaatbare lengten te liggen.

Daarbij dient nog met een aantal aanvullende bepalingen rekening te worden gehouden, zie SOLAS 1974, regulation 6.

Als één of meer compartimenten niet aan de gestelde eisen voldoet, zullen enige schotten verplaatst moeten worden.

In figuur 11.6 zijn de schottenkrommen gegeven van het passagiersschip "Regina Maris" met slechts 276 passagiers en van het passagiers- en trailerschip "Freeport" met 812 passagiers.

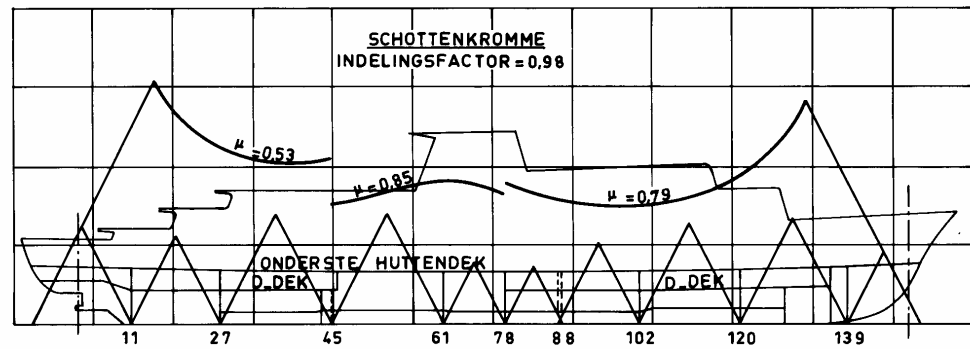


Fig. A Schottenkromme "Regina Maris"

F = 0.5

2-comparti-
mentsschip

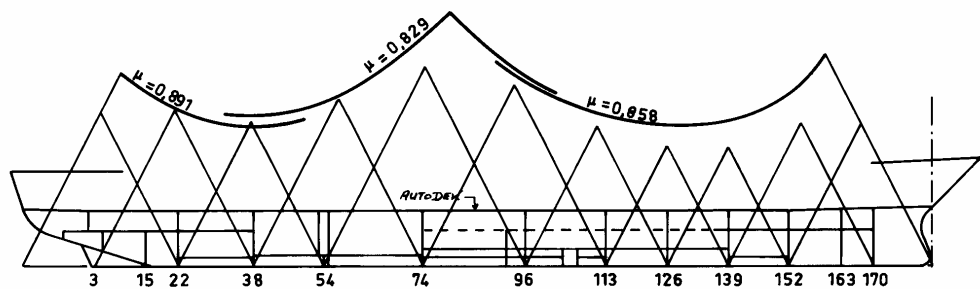


Fig. B Schottenkromme "Freeport"

figuur 11.6

De lengte van de "Regina Maris" is 104 m, het criterium van dienst $C_s = 69.6$ en de indelingsfactor $F = 0.98$ (klein aantal passagiers); het schottendeck is "onderste huttendek"; uit figuur 11.3 A blijkt dat alle alle compartimenten ruim onder de toelaatbare lengte blijven.

De lengte van de "Freeport" is 117 m, de indelingsfactor $F = 0.5$ (2-comparti-mentsschip); het schottendeck is "autodek"; met behulp van figuur 11.3 B kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- de permeabiliteiten in voor- en achterschip zijn abnormaal hoog;
- doordat het schottendeck (autodek) geen zeeg heeft vertoont de kromme van vulbare lengten in het midden een scherpe knik;
- 5) de aangegeven kromme is de kromme van vulbare lengten; de top van de "compartimentsdriehoek" van twee aangrenzende compartimenten dient dus onder de kromme te blijven; de combinatie 22-54 is blijkbaar kritiek, evenals 3-38, maar voor de combinatie 22-54 geldt echter een permeabiliteit welke het gemiddelde is van het achterschip en machinekamer gedeelte;
- 4) het schot op spant 163 is blijkbaar niet meegerekend: als namelijk twee schotten erg dicht op elkaar staan, mag slechts één van beide meegerekend worden.

11.5 Kromme van vulbare lengten

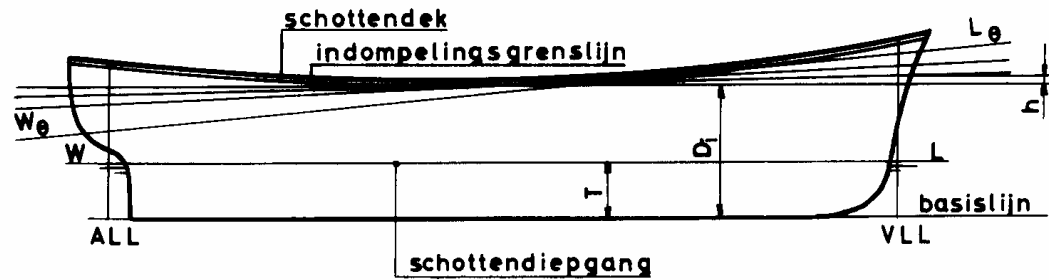
Kromme van ingestroomd lekwater

Uitgaande van de eindtoestand van het lek geworden schip, waarbij het schip is ingezonken tot aan een waterlijn welke juist raakt aan de indompelingsgrenslijn, kunnen minstens 7 trimtoestanden worden aangenomen, namelijk 3 koplust, 3 stuurlast en gelijklastige ligging, figuur 11.7

Als hulpmiddel voor het vaststellen van welke trimligging moet worden uitgegaan, kan het volgende dienen:

bij gelijklastige ligging is de afstand basislijn - waterlijn: D_i ; op de voor- en achterloodlijn wordt nu driemaal de maat h naar boven uitgezet, waarbij h/D_i als functie van T/D_i met behulp van de onderstaande tabel kan worden bepaald:

T/D_i	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
h/D_i	0.29	0.24	0.19	0.14	0.09

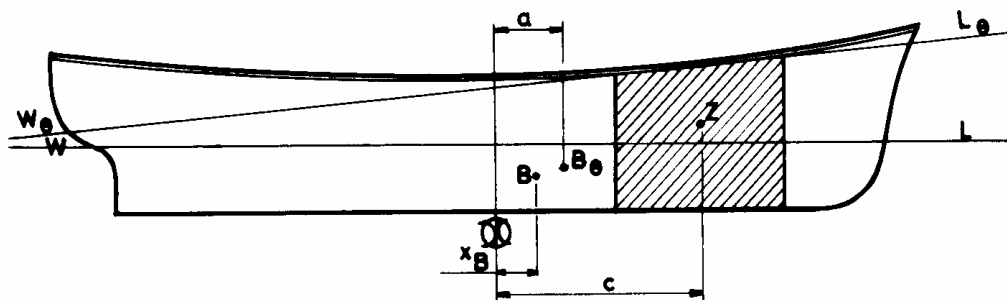


figuur 11.7

Met behulp van de Bonjeankrommen kan voor elk van deze 7 trimliggingen de waterverplaatsing L_2 en het bijbehorende drukingspunt B_2 worden berekend. Het verschil tussen de waterverplaatsing bij T en bij w_2l_2 kan nu als ingestroomd lekwater worden beschouwd. De toestand w_2l_2 kan worden gedacht te zijn ontstaan doordat de ruimte tussen twee alsnog te bepalen waterdichte schotten is volgelopen. De inhoud van dit ruim v_r is dan, rekening houdend met de ter plaatse geldende permeabiliteit:

$$v_r = \frac{v_w}{\mu_x}, \quad \text{waarin } v_w = \nabla_\theta - \nabla$$

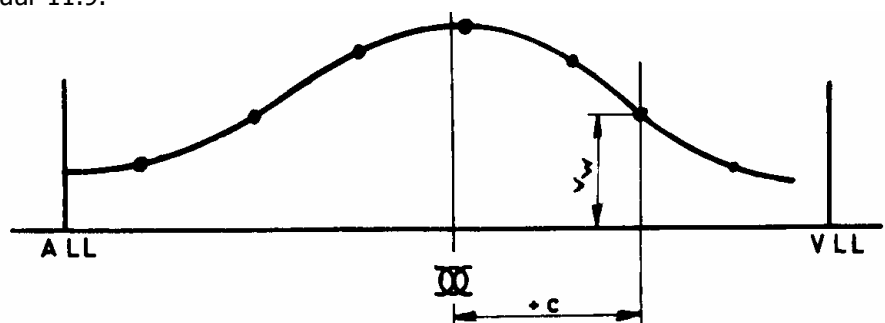
De plaats in lengte van het zwaartepunt van het ingestroomde water, dat overeenkomt met het zwaartepunt van het lekkende ruim, kan door middel van een momentenrekening worden vastgesteld. Hierbij wordt verondersteld dat de permeabiliteit homogeen is verdeeld over het gehele volume van het lekkende ruim. Met behulp van figuur 11.8 volgt:



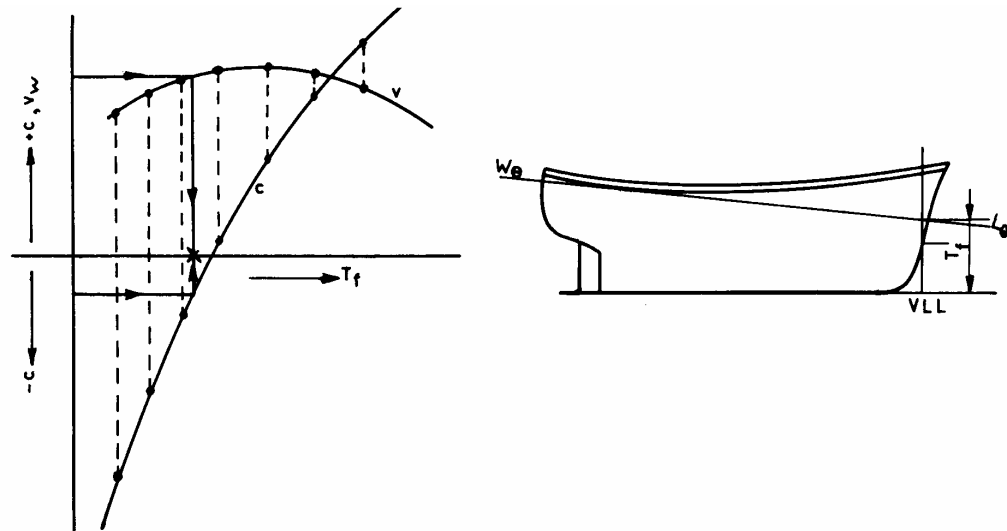
figuur 11.8

$$a \nabla_\theta = x_B \nabla + c v_w \quad \rightarrow \quad c = \frac{a \nabla_\theta - x_B \nabla}{v_w}$$

Deze wijze van berekenen is niet exact, er wordt aangenomen dat de werklijnen van v_w , L_2 en L loodrecht op de waterlijn in rechte stand staan. In sterk getrimde toestand kan c hierdoor iets te groot worden. Door de hoogteligging van B_2 te berekenen kan deze onnauwkeurigheid ondervangen worden. Door nu voor de 7 trimliggingen v_w uit te zetten op basis van c kan de kromme van ingestroomd lekwater worden getekend, zie figuur 11.9.



figuur 11.9



figuur 11.10

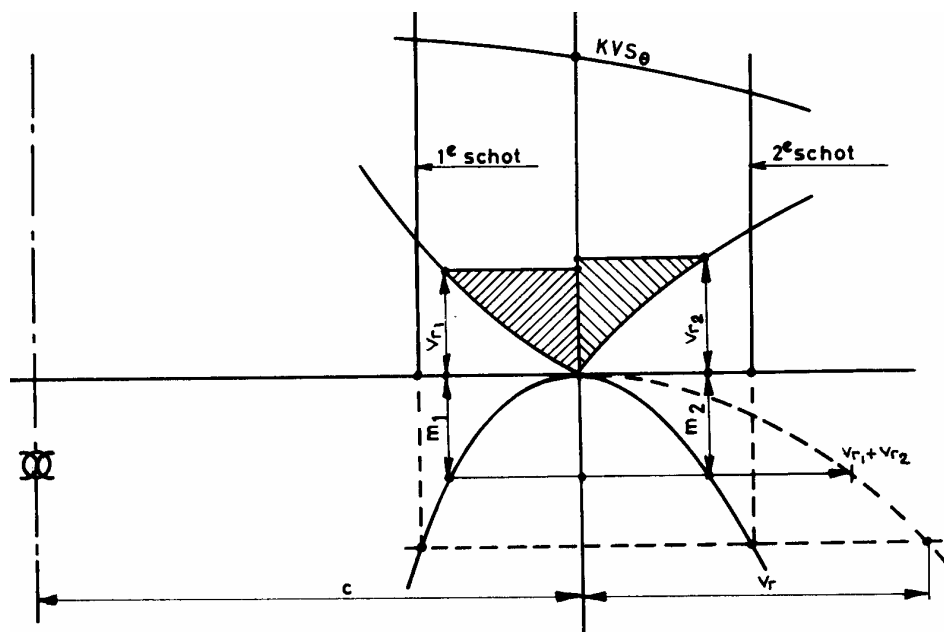
Het verband tussen v_w en c en de trimligging van het schip kan worden vastgelegd door v_w en c uit te zetten op de diepgang vóór of achter, figuur 11.10. Voor elke willekeurige plaats van het zwaartepunt in lengte van het lekwater kan nu het verband worden gelegd tussen het lekwatervolume en de trimligging van het schip; waterlijn w_2l_2 raakt aan de indompelingsgrenslijn.

Bepaling vulbare lengte

Voor het bepalen van de vulbare lengten kunnen diverse methoden worden toegepast, zie [11.1], [11.2], [11.3] en [11.4]

Methode van Herner

Zijn v_r en c op een bepaalde plaats bekend, dan kan voor de waterlijn w_2l_2 in de omgeving van c de kromme van spantoppervlakken (KVS_2) worden getekend, zie figuur 11.11. De integraalkromme van KVS_2 aan weerszijden van c geven de voluminakrommen v_{r1} en v_{r2} . Deze volumina worden daarbij uitgezet op de denk-beeldige plaats van het bijbehorende schot. Op dezelfde wijze kunnen de momenten van de volumina ten opzichte van c , namelijk m_1 en m_2 , worden uitgezet. Deze momenten komen overeen met de bijbehorende gearceerde oppervlakken. Een horizontale lijn geeft punten met gelijke momenten m_1 en m_2 aan, dat wil zeggen: horizontale lijnen geven compartimenten aan met het volume $v_{r1} + v_{r2}$ en met het zwaartepunt ter plaatse van de gevraagde afstand c van het grootspant.



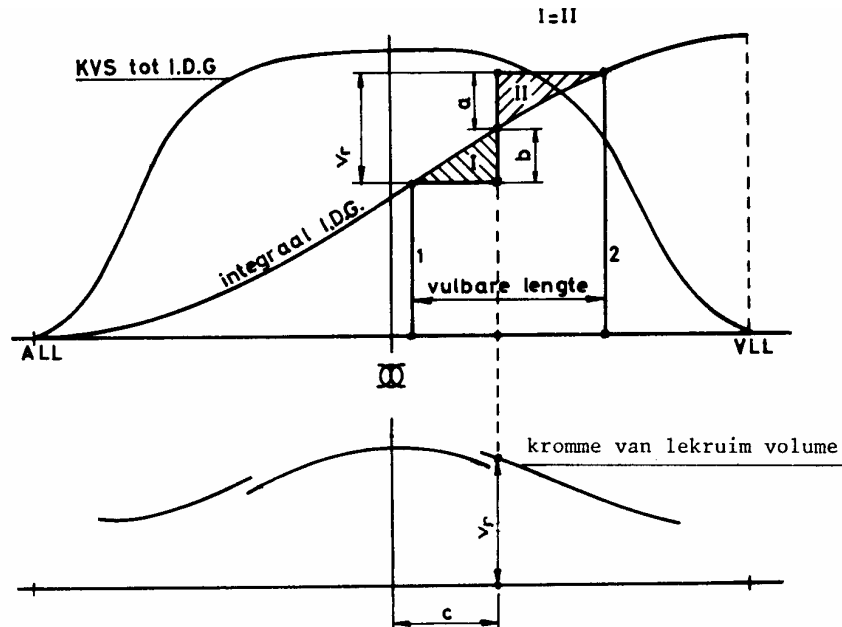
figuur 11.11

Wordt op dezelfde horizontale lijn vanuit c het volume $v_{r1} + v_{r2}$ uitgezet, dan ontstaat een kromme van inhouden van het gezochte compartiment. Het vereiste volume v_r hierop afgestemd geeft via de snijpunten met de momenten-krommen m_1 en m_2 de juiste plaats van beide schotten.

Een andere methode is voorgesteld in figuur 11.12.

Deze methode is iets minder nauwkeurig en vraagt meestal enig iteratie- en probeerwerk. De KVS tot aan de indompelingsgrenslijn (KVS_{IDG}) is getekend en eveneens de integraalkromme van de KVS_{IDG} . Door gelijke oppervlakken I en II te bepalen, dus gelijke momenten ten opzichte van c, blijft het zwaartepunt van het bijbehorende volume in c liggen. Is dit volume gelijk aan v_r , dan ligt de plaats van de schotten vast. De verdeling van v_r in de stukken a en b wordt door proberen of door uitstroken van de betrokken grootheden verkregen.

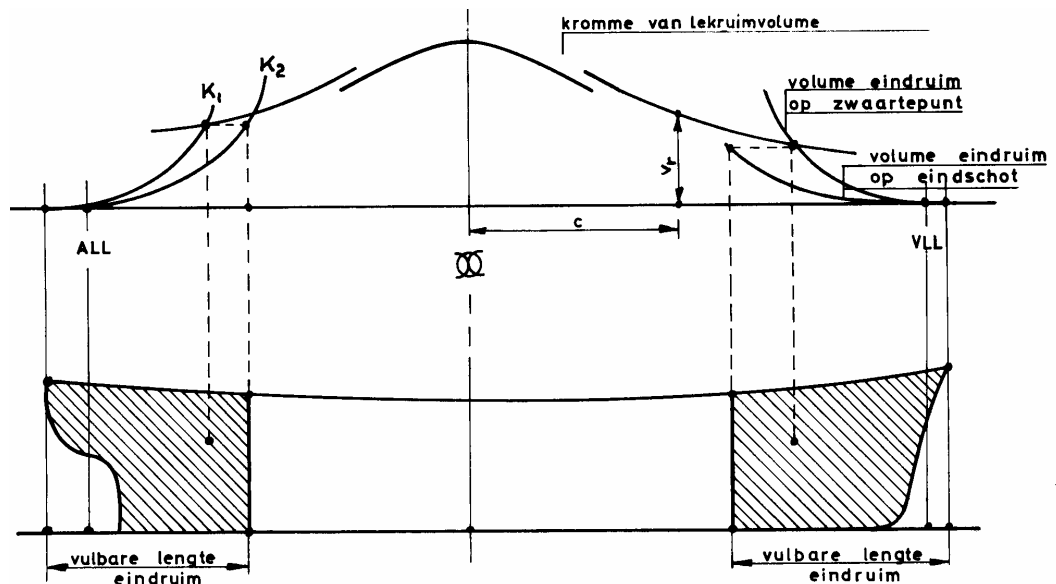
Bij deze methode wordt dus het verschil tussen KVS tot de waterlijn $w_2|_2$ en de KVS tot de indompelingsgrenslijn verwaarloosd.



figuur 11.12

Vulbare lengte van een eindruim

Door een aantal willekeurige plaatsen van het eindschot aan te nemen, kan het volume en de ligging van het volumezwaartepunt van de verschillende eindruimen worden bepaald, zie figuur 11.13.



figuur 11.13

Wordt het volume uitgezet op het zwaartepunt ervan, dan levert de kromme K_1 , die door deze punten getekend kan worden een snijpunt op met de kromme van lekruij volume. Wanneer de volumina ook worden uitgezet op basis van de plaats van het eindschot, kromme K_2 , dan geeft een horizontale lijn door het snijpunt van K_1 met v_r de juiste plaats van het eindschot.

11.6 Permeabiliteit, indelingsfactor en criterium van dienst

Voor de permeabiliteiten gelden verschillende waarden en deze worden bepaald met behulp van SOLAS 1974, regulation 4.

Voor het machinekamergedeelte geldt:

$$\mu_M = 85 + 10 \left(\frac{a - c}{v} \right), \text{ waarin}$$

- a = het volume van de passagiersruimten, als gedefinieerd in regulation 2, onder de indompelingsgrenslijn (i.d.g.) en binnen het machinekamergedeelte gelegen;
- c = het volume van de tussendekruimte onder de i.d.g., gesitueerd tussen de eindschotten van het machinekamergedeelte en bestemd voor lading en voorraden;
- v = het gehele volume van het machinekamergedeelte onder de i.d.g.

Voor het voor- en achterschip geldt:

$$\mu_{\text{v of a}} = 65 + 35 \frac{a}{v}$$

- a = het volume van de passagiersruimten onder de i.d.g. vóór resp. achter het machinekamergedeelte.
- v = het gehele volume van het gedeelte van het schip vóór of achter het machinekamergedeelte onder de i.d.g.

De indelingsfactor F of "factor of subdivision" wordt bepaald door de scheepslengte, het criterium van dienst C_s (criterion of service) en de factoren A en B, zie figuur 11.14

Daarbij geldt:

A voor schepen met	L ≤ 131 m	en	$C_s \leq 23$
B voor schepen met	L > 79 m	en	$C_s \leq 123$
Voor schepen met	L ≤ 131 m	en	$23 < C_s < 123$ wordt de indelingsfactor verkregen door interpolatie tussen A en B op basis van C_s van het betrokken schip.

De factoren A en B worden gegeven door:

$$A = \frac{58.2}{L - 60} + 0.18 \quad B = \frac{30.3}{L - 42} + 0.18 \quad (L \text{ in m})$$

Het criterium van dienst wordt gegeven door:

$$C_s = 72 \frac{M + 2P}{V + P_1 - P} \quad \text{als } P_1 > P$$
$$C_s = 72 \frac{M + 2P}{V} \quad \text{als } P_1 \leq P$$

Hierin is:

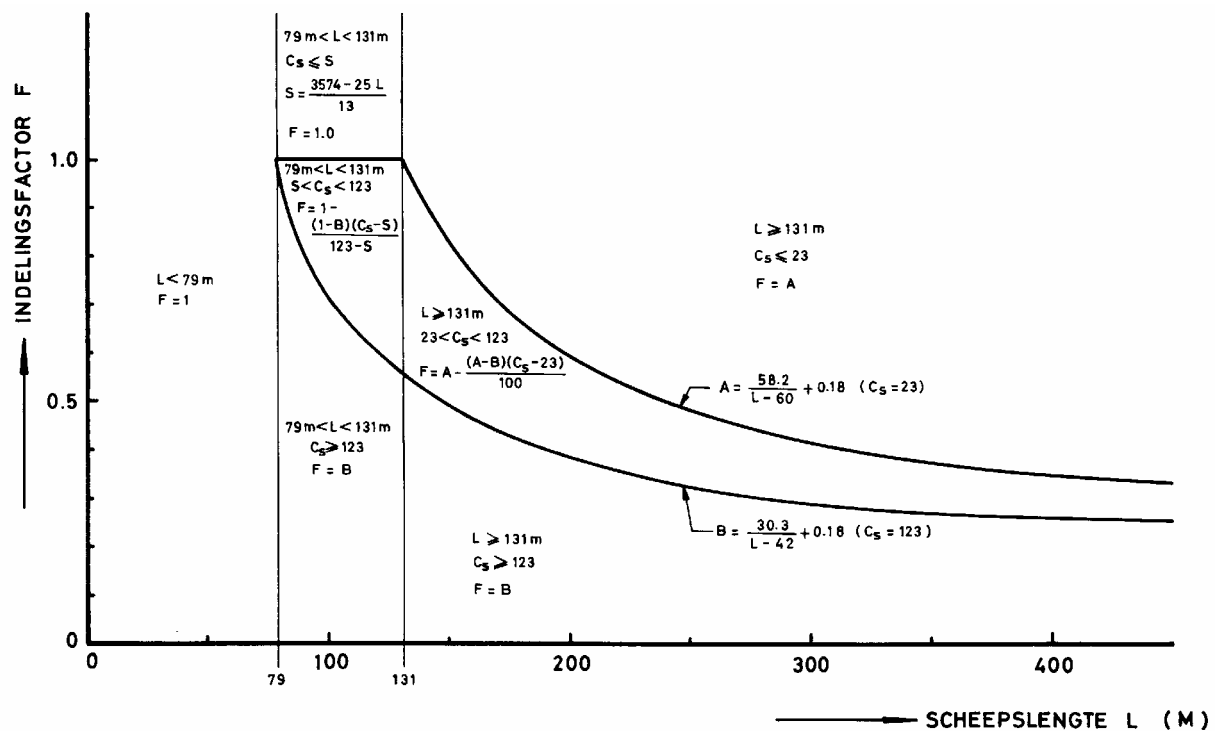
- M = het volume van het machinekamergedeelte onder de i.d.g. + het volume van eventuele permanente brandstofbunkers boven de dubbele bodem voor of achter het machinekamergedeelte;
- P = het volume van de passagiersruimten onder de i.d.g.
- V = het volume van het gehele schip onder de i.d.g.
- $P_1 = K \cdot N$ waarin N = aantal passagiers dat volgens de certificaten mag worden vervoerd;
 $K = 0.056 L$

In figuur 11.14 is verder aangegeven hoe groot de indelingsfactor gekozen moet worden bij andere waarden van L. Voor de volledige tekst wordt verwezen naar SOLAS 1974 regulation 5.

De indelingsfactor kan blijkbaar variëren van "0.28 voor zeer grote passagiersschepen tot 1.0 bij passagiersschepen < 79 m.

Bij:

F = 1	is het een 1 compartimentsschip
F = 0.5	is het een 2 compartimentsschip
F = 0.33	is het een 3 compartimentsschip



figuur 11.14

11.7 * Benaderingsmethoden

Hoewel een berekening gebaseerd op een benaderingsmethode niet door de Nederlandse Scheepvaartinspectie geaccepteerd zal worden, kan het praktisch zijn om in een vroeg ontwerpstadium de waterdichte indeling van een project te controleren.

b. Methode Skinner and Philips [11.5]

Deze methode, welke is ontwikkeld uit een oude methode van de Engelse Board of Trade, is door Mann in een eenvoudige diagramvorm overgezet, waarmee snel een redelijk eindresultaat wordt verkregen [11.6].

c. Methode Knüpfner

Deze methode is opgezet voor een benaderde berekening van de lekstabiliteit van passagiersschepen in het ontwerpstadium. De methode kan ook gebruikt worden voor een benaderde bepaling van de kromme van vulbare lengten. In het artikel is een uitgewerkt voorbeeld opgenomen ter illustratie van deze methode.

11.8 * Literatuur hoofdstuk 11

- [11.1] "Onbekend of onbemind?
Een korte beschouwing over schottenkrommen"
J.M. de Bakker, Schip en Werf 1946, blz. 70 - 72
- [11.2] "Schottenkromme"
ing. H.J. van der Laan en ir. W.H.C.E. Rösingh
Schip en Werf 1947, blz. 119 - 205 en blz. 224 - 229
- [11.3] "Berekening van de schottenkromme"
A. Priester en W. de Koning
Schip en Werf 1953, blz. 8 - 11
- [11.4] "Die Theorie des Schiffes"
H. Herner en K. Rusch
Leipzig 1939, (bibl.nr. B1-12)
- [11.5] "Merchant and ship subdivision"
Skinner and Phillips, TINA 1949
- [11.6] H. Mann: "Erweiterung der überschlägigen Schottenrechnung von Phillips and Skinner aus TINA 1949 in der Arbeit "Merchant and ship subdivision" (unveröffentlicht)
zie W. Henschke Schiffbautechnisches Handbuch, VEB Verlag Technik, Berlin 1956, D1, blz 219
- [11.7] "Die Durchführung von Leckrechnungen in Schiffsentwurf"
Dipl.ing. K. Knüpfner
Schiffstechnik 1961, blz 51 - 74 en 97 - 123

12 Waterdichte indeling (equivalente methode)

12.1 Inleiding

De schottenkromme zoals in het vorige hoofdstuk besproken berust op de SOLAS 1929 voorschriften en wordt onderstaand de "factorenmethode" genoemd ("factor of subdivision" en "criterion of service"). Sinds "1960 rezen hiertegen echter belangrijke principiële bezwaren, in de eerste plaats van West-Duitse zijde, Prof. Wendel e.a. [12.1] maar later ook van Amerikaanse zijde [12.2].

Toch werden in 1960 de nieuwe SOLAS voorschriften betreffende de waterdichte indeling van passagiersschepen, die nog steeds berustten op de Internationale conferentie van 1913, opnieuw goedgekeurd.

Men was zich echter zeer goed bewust van de kritiek op de grondslagen van de schottenkromme methode en daarom werd aan de nieuwe conventie een zgn. "Recommendation" toegevoegd betreffende "Standards of watertight subdivision of Passengerships".

In april 1960 werd een "Subcommittee on subdivision and stability problems" ingesteld, die het probleem van de waterdichte indeling van passagiersschepen opnieuw in studie nam. Sinds november 1973 zijn nieuwe voorschriften van kracht voor de waterdichte indeling van passagiersschepen equivalent aan de bestaande, namelijk:

"Regulations on Subdivision and Stability of passenger ships as an equivalent to part B of Chapter II of the International Convention for the Safety of Life at Sea 1960" [12.4]

CHAPTER II handelt over "Construction" en PART B over "Subdivision and Stability".

Sinds die datum kan de waterdichte indeling en de stabiliteit van passagiersschepen dus uitgevoerd worden of volgens SOLAS 1960 Chapter II, part B of volgens de zgn. equivalente Regulations volgens IMCO-Resolutie A 265.

Een uitvoerige toelichting op de nieuwe equivalente voorschriften is te vinden in de zgn.: "Explanatory notes to the regulations on Subdivision and stability of passenger ships as an equivalent to part B of Chapter II of the international convention for the Safety of life at sea, 1960" (bibl. No. K82 - 74.09 E). Ook voor SOLAS 1974 geldt Resolutie A 265 als een equivalent, op dezelfde wijze als voor SOLAS 1960.

12.2 Kritiek op de "factorenmethode"

De schottenkromme of factorenmethode heeft in de loop der tijd, maar vooral sinds "1960, meer en meer kritiek ondervonden.

De belangrijkste punten daarbij zijn:

- a. Een "margin of safety" van 76 mm tegen het vollopen en zinken van een schip is wel heel erg weinig als daarmee de invloed van slagzij, wind en zeegang moet worden verdisconteerd.
- b. De voorschriften hielden oorspronkelijk uitsluitend rekening met het rechtstandig vollopen en zinken van een schip. Aan de stabiliteit van een schip in lekke toestand en de mogelijkheid van kenteren werd lange tijd geen aandacht besteed (tot 1948). Sinds 1948 zijn wel lekstabiliteitseisen voor passagiersschepen van kracht, deze houden echter weinig verband met de overige voorschriften.
- c. De bijdrage van langsschotten tot de veiligheid van een schip wordt met de factoren methode niet in aanmerking genomen. Toch is uit de 2e wereldoorlog een aantal gevallen bekend van tankers, die, hoewel zwaar beschadigd ten gevolge van oorlogshandelingen, langdurig bleven drijven. Bij de vrachtschepen bleken de overlevingsmogelijkheden aanmerkelijk geringer namelijk:

vrachtschepen	6 % overleving
tankers	24 % overleving

- d. Er wordt geen rekening gehouden met de afwijkende veiligheid bij geringe diepgang, kleinere beladingsgraad en hogere permeabiliteit.
- e. Het "criterium van dienst" wordt zoals we hebben gezien in hoofdstuk 11 bepaald met behulp van de formules:

$$C_s = 72 \frac{M + 2P}{V + P_1 - P} \quad \text{als } P_1 > P \quad \text{of}$$

$$C_s = 72 \frac{M + 2P}{V} \quad \text{als } P_1 \leq P$$

P = het volume van de passagiersruimten onder de i.d.g.

Bij moderne passagiersschepen worden de passagiersruimten zoveel mogelijk boven de indompelingsgrenslijng gesitueerd, zodat P steeds kleiner wordt. Ook werden door de ontwikkeling van de scheepswerktuigkunde de machinekamers korter en M dus kleiner. Daarmede werd C_s echter veel kleiner dan oorspronkelijk de bedoeling was.

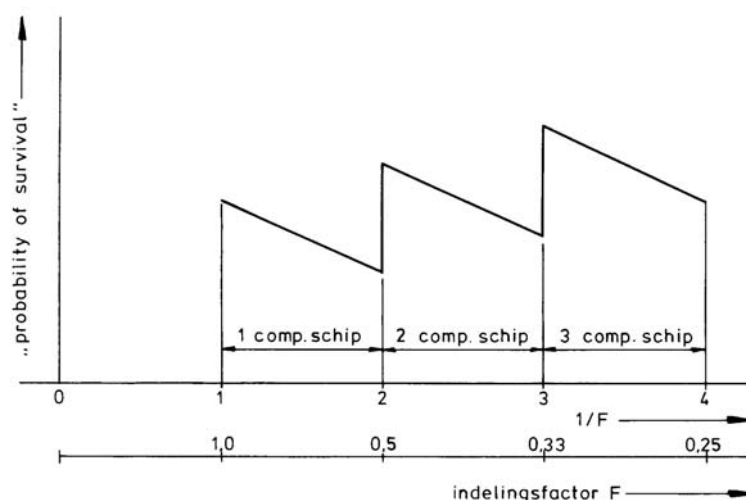
Het criterium van dienst was indertijd zo opgesteld, dat voor een klein eenvoudig passagiersschip met weinig passagiers $C_s \cdot 23$ werd en voor een groot passagiersschip met veel passagiers $C_s \cdot 123$.

Bij bekende grote passagiersschepen van latere datum werd op deze wijze geen C_s van 123 berekend maar van slechts 85 à 90.

Deze schepen kregen op deze wijze een lagere indelingsfactor en een lagere waterdichte indeling dan die welke zij op basis van hun grootte en aantallen passagiers zouden moeten hebben. Dit was in het geheel niet de bedoeling!

- f. De indelingsfactor was bedoeld als een soort veiligheidsfactor. Naarmate het schip groter was en een groter aantal passagiers vervoerde nam de indelingsfactor af. Aangezien de indelingsfactor, vermenigvuldigd met de vulbare lengte, de toelaatbare lengte oplevert, kwamen de waterdichte schotten dichterbij elkaar te staan.

Nu beweren de critici dat het dichterbij elkaar zetten van de waterdichte schotten in het geheel niet tot een veiliger schip leidt. Integendeel zij waren van mening dat de kans dat een schot zou worden beschadigd toenam en daarmede de waarschijnlijkheid dat niet één compartiment volliep, maar twee! Men stelde dat de zgn. "probability of Survival" geen continue functie van de indelingsfactor was maar een verloop had zoals in figuur 12.1 aangegeven. Door het dichterbij elkaar plaatsen van de schotten neemt de overlevingskans aanvankelijk af, omdat de kans toeneemt dat er iets gebeurt (namelijk het beschadigen van een waterdicht schot) dat het schip niet kan verdragen. Dit gaat zo door totdat het schip bij een indelingsfactor van 0.5 of 0.33 is aangekomen, waarbij het schip wel het beschadigen van een schot kan overleven. Het schip is dan een 2- of 3-compartimentsschip geworden en kan dus het lek worden van 2 of 3 aaneengesloten waterdichte compartimenten verdragen.



figuur 12.1

12.3 Uitgangspunten equivalente methode

De equivalente methode is gebaseerd op de waarschijnlijkheidsleer. De vraag of een schip een aanvaring zal overleven is namelijk niet met ja of neen te beantwoorden. Dit wordt namelijk bepaald door een groot aantal toevallige factoren en door de omstandigheden welke op het moment van de aanvaring heersen. De waarschijnlijkheid dat een schip een aanvaring zal overleven, de zgn. "probability of Survival" hangt af van:

- de waarschijnlijkheid dat een bepaalde plaats van de scheepslengte getroffen wordt;
- de kans dat de beschadiging een bepaalde lengte bereikt of overschrijdt;
- de kans dat de beschadiging een bepaalde indringdiepte bereikt of overschrijdt;
- de waarschijnlijkheid dat een bepaald compartiment of een bepaalde groep van compartimenten lek wordt;
- de waarschijnlijkheid dat het schip op het moment van aanvaren een beladingstoestand bezat welke een groot resp. klein reservedrijfvermogen oplevert, resp. een grote of kleine stabiliteit;
- de waarschijnlijkheid van gunstige of ongunstige omstandigheden van wind en zeegang op het moment van aanvaren.

Bij deze veelvoud van toevallige factoren die bij een aanvaring een rol kunnen spelen, kan niet zonder meer beoordeeld worden hoe de veiligheid van het schip van de keuze van de waterdichte indeling afhangt. Wel kan echter, als de waarschijnlijkheid van de belangrijke grootheden bekend is en hun uitwerking op de overlevingskans van het schip, voor elke waterdichte indeling van een schip de waarschijnlijkheid worden bepaald dat het een aanvaring zal overleven.

Ter wille van de praktische uitvoerbaarheid is het waarschijnlijkheidsconcept van de nieuwe voorschriften aanmerkelijk vereenvoudigd. Daarmede is de "probability of Survival" zoals in deze voorschriften gehanteerd meer een vergelijkingsbasis geworden voor het vergelijken van de veiligheid van schepen op basis van hun waterdichte indeling dan dat er aan deze cijfers absolute waarde mag worden gehecht.

De grote stoot tot dit concept werd door Wendel in 1960 gegeven [12.1]. Hij toonde aan dat de "probability of Survival" kan worden berekend als aangenomen wordt dat slechts trefplaatsen en leklengten toevallige grootheden zijn.

Een belangrijk voordeel van de nieuwe voorschriften is de grote vrijheid die aan de ontwerper wordt gegeven om aan de geëiste "probability of Survival" te voldoen, waarbij deze evengoed door middel van langsschotten als door dwarschotten of een combinatie van beide kan worden bereikt.

De nieuwe voorschriften zijn de eerste internationale voorschriften die van het waarschijnlijkheidsconcept gebruik maken.

Opgemerkt wordt dat het uitgangspunt is dat het schip wordt aangevaren. De kans op aanvaring, de verkeersdichtheid e.d. spelen dus geen rol.

12.4 Aanvullende eisen

Bij consequente toepassing van het waarschijnlijkheidsconcept zou in bepaalde delen van het schip (speciaal het achterschip) een ontoelaatbare lage veiligheid ontstaan. Daarom wordt naast de overlevingskans voor de "overall" veiligheid van het gehele schip, Regulation 5 gehandhaafd, die overeenkomt met de grondslag van SOLAS 1960 en tot ongeveer hetzelfde veiligheidsniveau leidt.

Alle schepen dienen zo te worden ontworpen dat zij bij een lek op een willekeurige plaats van de lengte van het schip, maar zonder beschadiging van een dwarsschot aan de eisen van Regulation 5 voldoen.

Een dwarsschot wordt wel als beschadigd verondersteld wanneer dat dwarsschot een zgn. step heeft.

Eveneens moeten schepen met $N > 600$ aan Regulation 5 voldoen indien een dwarsschot wordt beschadigd dat is gelegen binnen $(N/600 - 1) L$ van het voorste punt van de indelingslengte;

$N = N_1 + 2N_2$, waarin N_1 = aantal personen, waarvoor plaats in de reddingsboten is gereserveerd en N_2 = aantal personen, incl. officieren en bemanning, dat het schip aan boord mag hebben boven N_1 .

In de eindtoestand dient dan aan de volgende eisen te worden voldaan:

- GM moet positief zijn, berekend volgens de methode van constant displacement en minstens:

$$GM = 0.003 \frac{B_2^2(N_1 + N_2)}{\Delta F_1}, \quad GM = 0.015 \frac{B_2}{F_1} \quad \text{of} \quad GM = 0.05 \text{ m}, \text{ welke de grootste is}$$

hierin is: ΔF_1 = deplacement van het schip in onbeschadigde toestand

B_2 = is de maximale breedte volgens de mal op de halve scheepslengte ter plaatse van het "relevante" schottendek

F_1 = "effective mean damage freeboard"

- de slagzij dient bij de beschadiging van 1 compartiment niet groter te zijn dan 7°. Bij het gelijktijdig vollopen van 2 of meer aangrenzende compartimenten mag een slagzij van 12° worden toegelaten;
- behalve ter plaatse van het volgelopen compartiment of van de volgelopen compartimenten mag het schottendek niet onder water komen.

Het asymmetrisch vollopen dient voor zover mogelijk tot een minimum te worden beperkt. Eventueel dienen overvloei-inrichtingen te worden toegepast.

Deze moeten bedienbaar zijn van boven het hoogste schottendek, de slagzij vóór het tegenvloeiën mag niet groter zijn dan 20° en de tijd waarin het tegenvloeiën wordt voltooid moet kleiner zijn dan 10 minuten.

In een aanhangsel van de voorschriften is opgenomen:

"Recommendation on a standard method for establishing compliance with the requirements for cross-flooding arrangements in passenger ships".

12.5 "Required" and "attained subdivision index"

Een schip voldoet aan de nieuwe voorschriften als:

5) de stabiliteit in beschadigde conditie voldoet aan Regulation 5 en

6) de "attained subdivision index A" gelijk is aan of groter dan de "Required subdivision index" R.

De "Required Subdivision index" is weer afhankelijk van de lengte van het schip en het aantal personen aan boord en wordt gegeven door:

$$R = 1 - \frac{1000}{4 L_S + N + 1500} \quad L_S = \text{lengte schip (m)}; \quad N = \text{zie vorige bladzijde}$$

groot passagiersschip: $L_S = 300 \text{ m}$ $N = 1300 \text{ personen}$ $R = 0.75$

klein passagiersschip: $L_S = 100 \text{ m}$ $N = 300 \text{ personen}$ $R = 0.55$

12.6 Bepaling "attained subdivision index A"

Aan de hand van de ontworpen waterdichte indeling van een schip moet worden bepaald hoe groot de waarschijnlijkheid is dat het schip een bepaalde beschadiging van een compartiment of groep van aangrenzende compartimenten zal overleven.

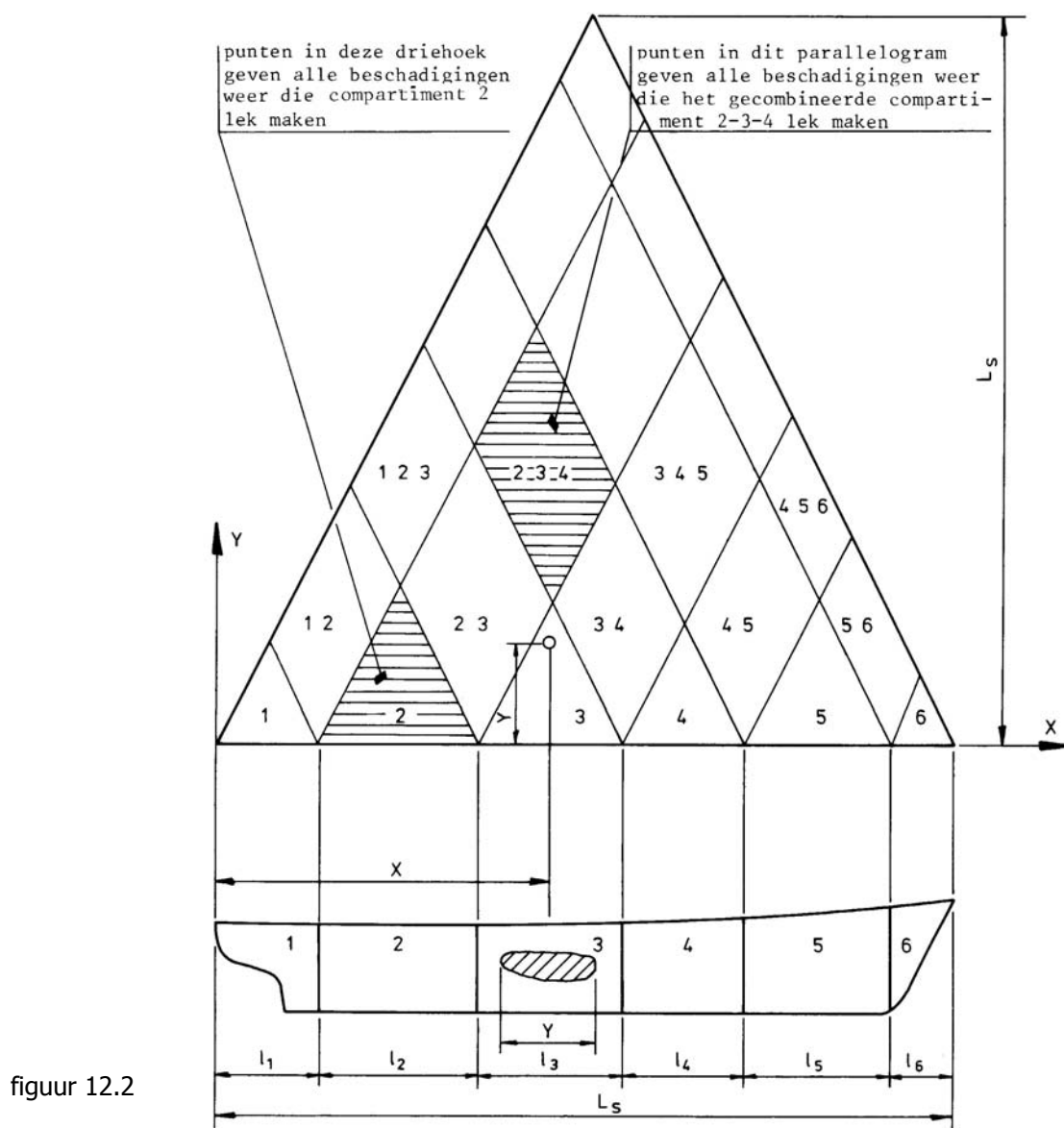
Deze "attained subdivision index A" is dan gelijk aan de som van de producten (berekend voor elk compartiment of groep van aangrenzende compartimenten) van de waarschijnlijkheden dat die ruimte lek wordt, vermenigvuldigd met de waarschijnlijkheid dat het schip met de beschouwde ruimte lek en in een gegeven beladingsconditie zal blijven drijven (d.w.z.: niet kenteren of zinken).

$A = a.p.s$

- a - hangt samen met de waarschijnlijkheid dat een bepaalde plaats van de scheepslengte zal worden geraakt bij een aanvaring en is ook afhankelijk van de x-ordinaten van de eindschotten van het beschouwde compartiment.
- p - hangt samen met de invloed van de lengte van de beschadiging op de waarschijnlijkheid dat één enkel compartiment of een groep van 2 of 3 compartimenten lek wordt.
- a.p - geeft op deze wijze de waarschijnlijkheid aan dat een bepaald compartiment of een bepaalde groep van meerdere aansluitende compartimenten lek wordt.
- s - geeft de waarschijnlijkheid aan dat het schip een aanvaring zal overleven, gegeven de uiteindelijke evenwichtstoestand na aanvaring met betrekking tot: de aanwezige reststabiliteit, het nog aanwezige vrijboord en de optredende slagzij.

a) De samenhang tussen een beschadiging op de plaats x en met een lengte y en het lek worden van een compartiment of groep van compartimenten van het schip

Het eenvoudigst geval hierbij is een schip met alleen dwarsschotten, zonder langsschotten of horizontale waterdichte indelingen. In dat geval zijn slechts namelijk van belang de plaats van de beschadiging x en de lengte van de beschadiging y, zie figuur 12.2. In deze figuur is op de horizontale as uitgezet de plaats van de beschadiging x en op de verticale as de lengte y.



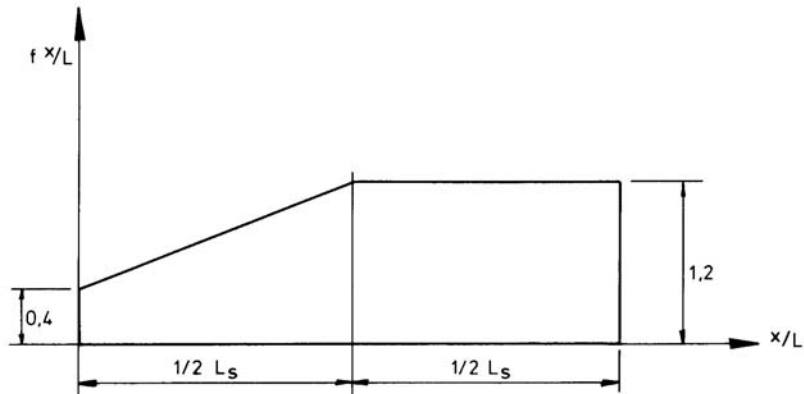
figuur 12.2

Het compartiment 3 bijv. wordt lek gemaakt door een beschadiging waarvan de plaats, uitgezet op het midden van de lengte van de beschadiging, overeenkomt met x en met een lengte gelijk aan y ("damage-length"). Op deze wijze zijn alle beschadigingen die compartiment 3 lek maken gekarakteriseerd door de bijbehorende driehoek met basis l_3 en hoogte l_3 .

Op dezelfde wijze zijn "compartimentsdriehoeken" te construeren van alle compartimenten. Door uit te gaan van de compartimentslengte $l_1 + l_2$ kan ook een driehoek worden geconstrueerd voor alle beschadigingen die het compartiment 1+2 lek maken. Na aftrek van de driehoeken 1 en 2 blijft er een parallellogram over, aangegeven met 1 2, waarvan alle betrokken beschadigingen het compartiment 1+2 lek maken. Op overeenkomstige wijze ontstaan de "compartimentsparallellogrammen" 2 3, 3 4, 3 5 en 5 6. Op soortelijke wijze kan eveneens worden aangegeven de beschadigingen, gekenschetst door plaats x en lengte y, die 3 aansluitende compartimenten lek maken. Het uiteindelijke resultaat is de complete fig. 12.2.

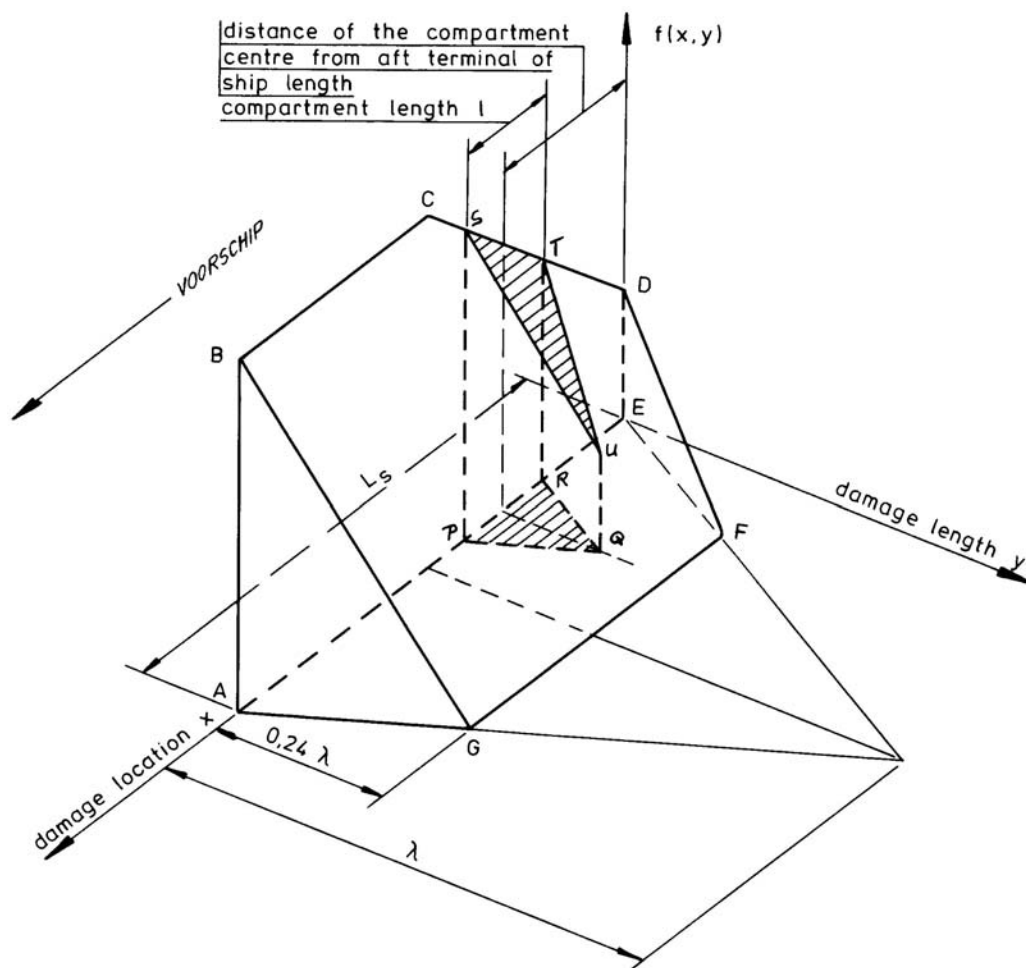
Op deze wijze is het verband gelegd tussen plaats x, de lengte y en het lekgeworden compartiment of de lekgeworden groep van compartimenten.

b) de waarschijnlijkheid dat een bepaald punt van de lengte van een schip wordt aangevaren
Dit gegeven is ontleend aan de zgn. "damage-cards". IMCO heeft een schadestatistiek aangelegd waarin alle belangrijke gegevens van aanvaringen zijn opgenomen (811 gevallen). Op deze wijze is fig. 12.3 verkregen, die de relatieve waarschijnlijkheid aangeeft dat een bepaald punt van het schip (in lengte) wordt aangevaren. Uit deze figuur zien we dat de relatieve waarschijnlijkheid in het voorschip driemaal zo hoog als in het achterschip. Voor het achterschip zou slechts een geringe waterdichte indeling voldoende zijn, vandaar dat aanvullende voorschriften noodzakelijk waren. Het totale oppervlak van de fig. 12.3 bedraagt 1; we zijn er immers van uitgegaan dat het schip wordt aangevaren.



figuur 12.3

c) de waarschijnlijkheid van het optreden van beschadigingen van een bepaalde lengte y
Ook hiervoor werd de IMCO schade statistiek geraadpleegd. Uit deze statistiek blijkt enerzijds dat de relatieve schadelengte y/L vrijwel onafhankelijk is van de grootte van het aangevaren schip maar wel afhankelijk van de tijd. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de toenemende scheepsgrootte en de toenemende scheepssnelheden in de loop der jaren. Door middel van statistische analyse is voor schepen met $L_s < 200$ m de mediaan van (y/L) 50 vastgesteld op 0,07 en de maximale schadelengte $y_{\max} = 0.24 L_s$ [12.7] [12.8].



figuur 12.4

- d) de waarschijnlijkheid dat een bepaald compartiment of groep van compartimenten wordt beschadigd

De waarschijnlijkheid dat een compartiment of een bepaalde groep van compartimenten wordt beschadigd wordt voorgesteld door figuur 12.4.

In het horizontale vlak is aangegeven de figuur van fig. 12.2 met een begrenzing van een "damage-length" van $y = 0.24 L$. In het verticale vlak is aangegeven de verdeling van de relatieve waarschijnlijkheid van aanvaren over de scheepslengte volgens figuur 12.3.

De inhoud van de fig. ABCDEFG = 1, wanneer er van uitgegaan wordt dat een aanvaring plaatsvindt. De waarschijnlijkheid dat het compartiment PQR wordt aangevaren wordt nu voorgesteld door de inhoud van het lichaam PQRSTU.

Op dezelfde wijze geldt voor alle oppervlakken in het x-y vlak die corresponderen met waterdichte compartimenten of groepen compartimenten van het schip, dat de inhoud van overeenkomstige lichamen als PQRSTU de waarschijnlijkheid voorstellen dat het bijbehorende compartiment of groep van compartimenten wordt beschadigd. Deze waarschijnlijkheid komt ook overeen met het eerder genoemde product a.p, waarbij a en p worden berekend met nadere in de voorschriften aangegeven regels en formules.

- e) de waarschijnlijkheid dat een schip het lekworden van een bepaald compartiment of van een bepaalde groep van compartimenten zal overleven (d.w.z. niet zal zinken of kenteren)

Met de huidige kennis is het niet mogelijk criteria te bepalen voor het al of niet kenteren van lekke, beschadigde schepen in golven. Wel is het mogelijk om een vereenvoudigd verband te vinden tussen enige belangrijke parameters, onder verwaarlozing van andere.

Teneinde het verband te bepalen tussen deze parameters en de kritische golfhoogte, waarbij een schip kentert zijn in Engeland en Amerika uitvoerige proeven gedaan met modellen van lekke passagiersschepen [12.9] [12.10].

Bij de proeven werden als belangrijke parameters het effectieve vrijboord F_e en de aanvangsstabiliteit GM_e gebruikt. GM_e = effectieve metacenterhoogte in de eindtoestand en F_e is daarbij gedefinieerd als:

$$F_e = F_1 - \frac{1}{2}B \tan \phi$$

waarin: F_1 = vrijboord in de eindtoestand, waarbij het schip rechtop liggend is gedacht

ϕ = hellingshoek in de eindtoestand

Bij het onderzoek werd vastgesteld dat met goede benadering kon worden vastgesteld dat de kritische golfhoogte een functie was van:

$$\frac{GM_e}{B} \quad \text{en} \quad \frac{F_e}{B} \quad \text{of} \quad h_{1/3 \text{ krit.}} = f \left(\frac{GM_e F_e}{B} \right)$$

Uit de verdeling van de waargenomen golfhoogten bij aanvaringen als geregistreerd op de "damage cards" kan worden vastgesteld met welke waarschijnlijkheid de eerder genoemde kritische golfhoogte zou worden overschreden. Op deze wijze werd bepaald dat de waarschijnlijkheid van niet kenteren is:

$$s_i = 4.9 \left(\frac{F_e GM_e}{B} \right)^{1/2} \quad \text{maar niet groter dan 1}$$

zie figuur 12.5, waarin de resultaten van de modelproeven in US en UK worden vergeleken met de uitkomsten van de formule.

De waarden van F_e en GM_e dienen door middel van een lekberekening voor de te beschouwen beschadigingstoestand met één bepaald compartiment of één bepaalde groep compartimenten "open to the sea" te worden berekend, uitgaande van één bepaalde beladingstoestand.

Comparison between UK/US model test and formula GM's relative to safety (Model GM's are the mean of the windward and leeward results)

U.K. TESTS				U.S. TESTS			
Short voyage vehicle ferry 111.0 (L _S) x 16.78 (B ₁) x 5.65 (D)				Long voyage type ship 170.0 (L _S) x 23.17 (B ₁) x 13.6 (D)			
S _i	F _e (METRES)	GM Required According to : -		F _e (METRES)	GM Required According to : -		
		Model Tests	Formula		Model Tests	Formula	
0.99	1.190	0.45	0.58	1.330	0.77	0.71	
	0.690	1.05	0.99	0.830	1.11	1.14	
	0.266	2.45	2.58	0.406	1.72	2.33	
0.50	1.190	0.15	0.15	1.330	0.03	0.18	
	0.690	0.05	0.25	0.830	0.08	0.29	
	0.266	0.35	0.66	0.406	0.16	0.59	

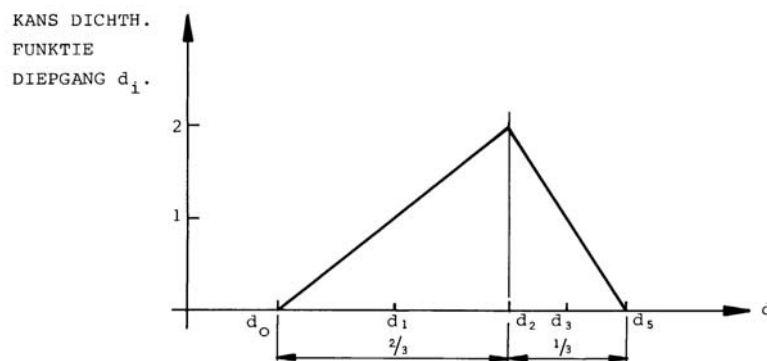
figuur 12.5

Een bezwaar van de schottenkromme was dat geen rekening werd gehouden met verschillende beladingstoestanden. Dat wordt hier wel gedaan namelijk de berekening van s_i , dus de lekberekening dient te worden herhaald bij verschillende beladingstoestanden, waarna de waarschijnlijkheid van overleven met dat bepaalde compartiment lek (of die bepaalde groep compartimenten lek) wordt verkregen door een gemiddelde te bepalen uit 3 verschillende beladingstoestanden.

Elke beladingstoestand heeft daarbij een eigen gelijklastige diepgang, een bijbehorende permeabiliteit en GM-waarde. De waarschijnlijkheid van overleven voor dat geval s wordt dan:

$$s = 0.45 s_1 + 0.33 s_2 + 0.22 s_3$$

Figuur 12.6 geeft de kansdichtheidsverdeling diepgangen.



figuur 12.6

Het aantal lekberekeningen wordt op deze wijze het aantal lekgevallen (compartimenten + combinaties van 2, 3 of 4 compartimenten) x 3.

12.7 * Bepaling "attained subdivision index" bij horizontale en verticale langsscheepse waterdichte indeling

a) horizontale indeling

Bij de horizontale waterdichte indeling moet in de eerste plaats aan de dubbele bodem worden gedacht. Hierbij dient de waarschijnlijkheid van het beschadigd worden van het compartiment te worden onderscheiden in:

- de waarschijnlijkheid dat uitsluitend de dubbele bodem lek wordt;
- de waarschijnlijkheid dat alleen het ruim boven de dubbele bodem lek wordt;
- de waarschijnlijkheid dat zowel dubbele bodem als ruim lek worden.

Voor deze drie gevallen zal in het algemeen ook steeds een verschillende "probability of survival" gevonden worden. Om de nieuwe regels niet al te ingewikkeld te maken wordt dan het meest ongunstige geval gekozen en op die basis de waarde van s_i berekend.

b) verticale langsscheepse indeling

Bij beschouwingen over de overlevingswaarschijnlijkheid bij verticale langsscheepse indeling speelt de indringdiepte van het aangevaren schip een rol

De variabelen: damage location x , damage length y en damage penetration z kunnen worden voorgesteld in een ruimtelijk coördinatenstelsel als in figuur 12.7.

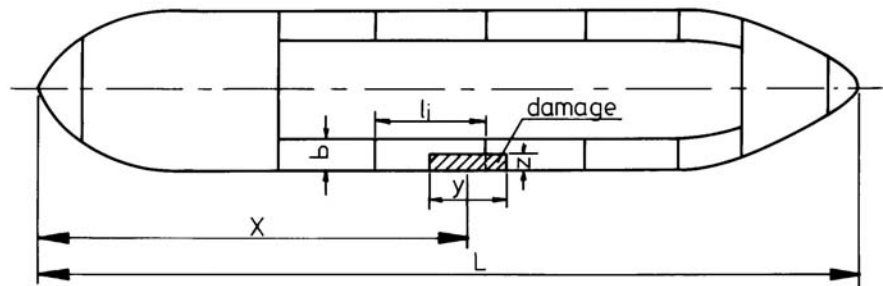


Fig. A

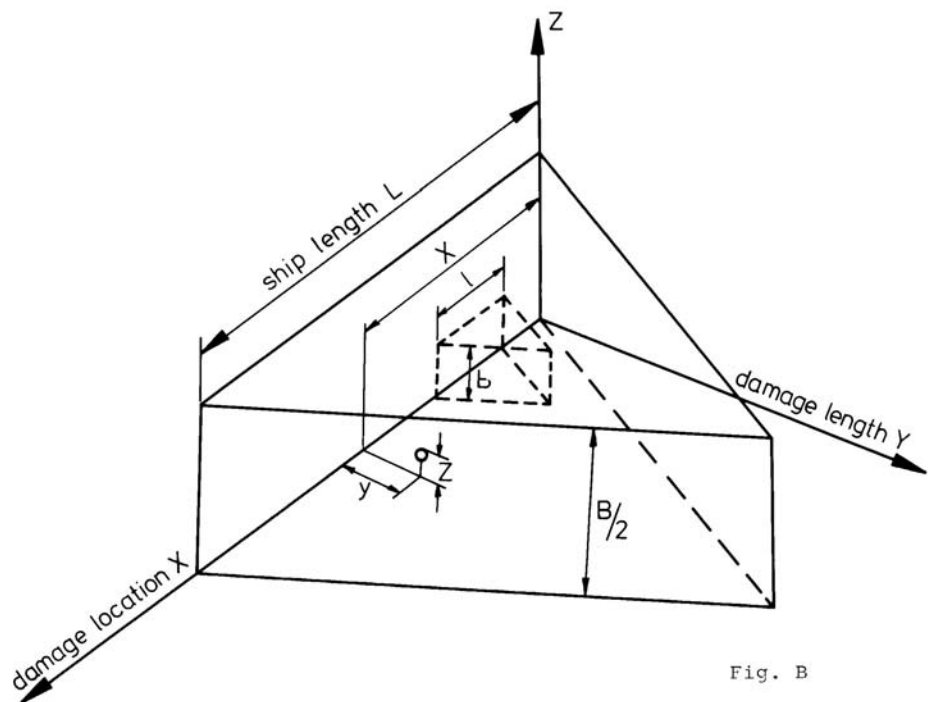


Fig. B

figuur 12.7

Elk punt met de coördinaten x , y en z binnen het prisma van figuur B stellen een beschadiging voor. Alle beschadigingen die een wingtank openen vallen binnen het kleine prisma met lengte l en hoogte b , waarbij b overeenkomt met de afstand b van het langsschot tot aan de huid. De waarschijnlijkheid dat een wingtank wordt beschadigd kan worden uitgedrukt in $a.p.r$, waarin a en p dezelfde betekenis hebben als voorheen en r op basis van de schadestatistiek is bepaald. Als r de waarschijnlijkheid is dat uitsluitend de wingtank wordt beschadigd is $1 - r$ de waarschijnlijkheid dat het middencompartiment wordt beschadigd. Uit de schadestatistiek volgt een duidelijke correlatie tussen z/B en y/L , waarbij z/B onafhankelijk kan worden geacht van de scheepsgrootte.

12.8 Enige voorbeelden

In [12.11] zijn de nieuwe voorschriften toegepast op enige bestaande schepen, gebouwd volgens SOLAS.

a) m.s. "Columbia", zie figuur 12.8

Dit is een passagiers- en autoveerboot voor de dienst Pacific Noordwest-Alaska $L = 126.06$ m. Het schip is ontworpen voor 530 personen aan boord, waarbij de capaciteit van de reddingboten 408 personen bedraagt. De "required subdivision index" R bedraagt:

$$R = 1 - \frac{1000}{4L_s + N + 1500} = 1 - \frac{1000}{4 \cdot 126.06 + 652 + 1500} = 0.624$$

$$N = N_1 + 2N_2 = 408 + 2(530 - 408) = 652$$

In figuur 12.8A is een overzicht gegeven van de verticale en horizontale waterdichte indeling van ms "Columbia".

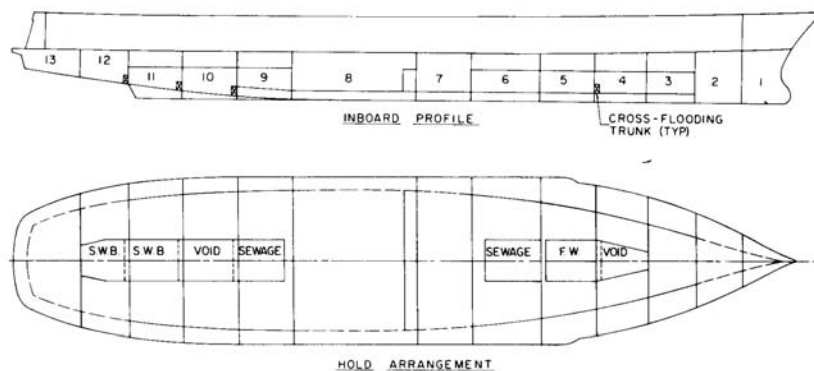
De geëiste GM-waarden als functie van de diepgang voor het schip in onbeschadigde toestand (initiële GM-waarden) worden in figuur 12.8B gegeven. De streeplijn geeft de geëiste GM-waarden om bij het lekworden van twee compartimenten te voldoen aan de voorschriften van SOLAS terwijl de andere lijnen de geëiste GM-waarden zijn volgens de equivalente regels die gesteld worden door de IMCO-resolutie A 265

In figuur 12.8C worden voor alle compartimenten afzonderlijk en voor een combinatie van twee compartimenten de waarden voor a , p , r en s bepaald. De berekening van A geeft aan dat de "attained subdivision index" $A = 0.643$

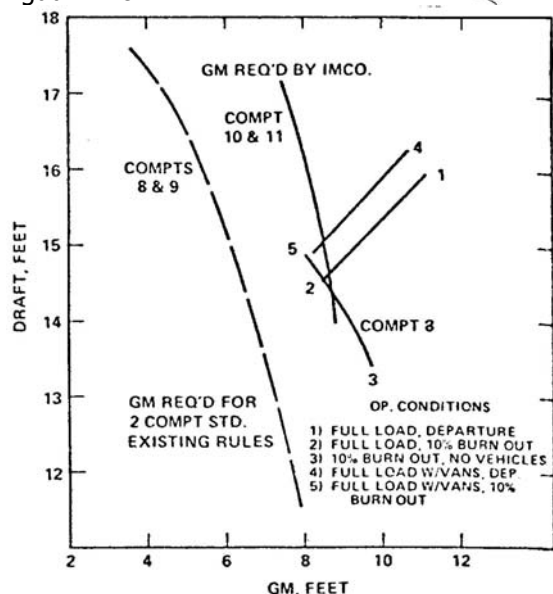
Uit de berekening volgt dat het schip voldoet aan de IMCO eisen:

$$A = 0.643 \geq R = 0.624$$

Voor het bereiken van deze waarde zijn 22 compartimenten en combinaties van compartimenten nage-rekend bij telkens 3 verschillende diepgangen, dat wil zeggen 66 lekberekeningen.



figuur 12.8 A



initiële GM-waarden

berekening „attained subdivision index “ A

COMPART- MENTS	a	p	r*	s	aprs
1	1.2	0.0391	...	1.0	0.0469
2	1.2	0.0138	...	1.0	0.0166
3	1.2	0.0143	...	1.0	0.0172
4	1.2	0.0167	...	1.0	0.0200
5	1.2	0.0185	0.768	1.0	0.0170
6	1.2	0.0282	0.8096	1.0	0.0274
7	1.199	0.00671	0.9285	1.0	0.0075
8	1.074	0.0815	0.8012	0.963	0.0675
9	0.898	0.0208	0.8875	1.0	0.0166
10	0.789	0.01069	0.9099	1.0	0.0077
11	0.682	0.01769	0.8546	1.0	0.0103
12	0.582	0.01453	0.8411	1.0	0.0071
13	0.467	0.0277	...	1.0	0.0129
1 & 2	1.20	0.03530	...	1.0	0.0424
3 & 4	1.20	0.0562	...	1.0	0.0674
4 & 5	1.20	0.0636	0.656	1.0	0.0500
5 & 6	1.20	0.08132	0.728	1.0	0.0710
6 & 7	1.199	0.04266	0.778	1.0	0.0398
9 & 10	0.844	0.05234	0.812	0.881	0.0316
10 & 11	0.736	0.0328	0.786	0.598	0.0114
11 & 12	0.634	0.0584	0.7528	1.0	0.0279
12 & 13	0.514	0.0730	0.715	1.0	0.0268
					$\Sigma aprs = 0.6430$

* Where included, r is in accordance with Regulation 7.

figuur 12.8 B

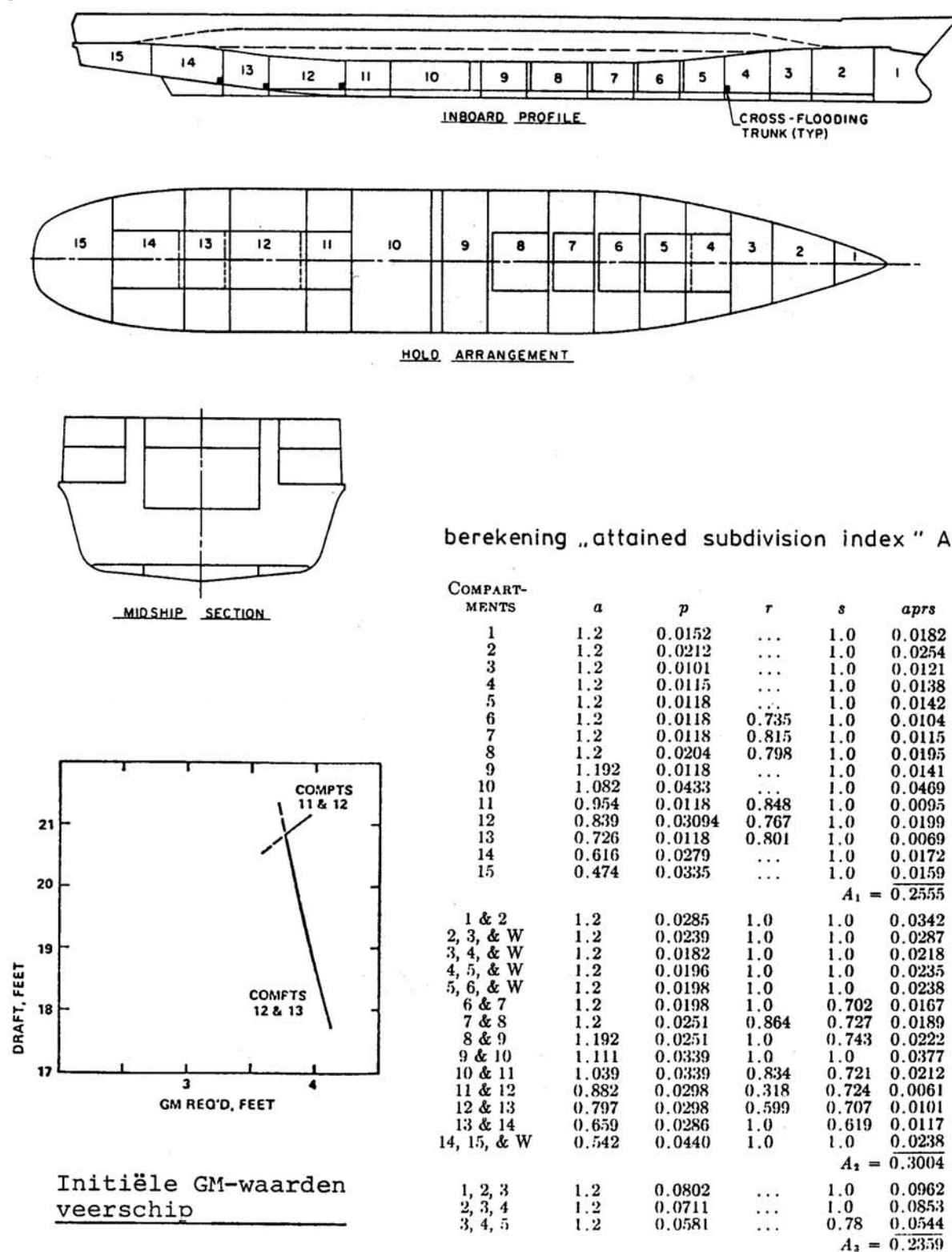
C

b) Passagiers- en autoveerboot voor de kustvaart, zie figuur 12.9

Het tweede schip dat met de nieuwe voorschriften werd onderzocht is een 500 ft passagiers- en auto-veerboot voor de kustvaart. Het aantal passagiers bedraagt 1000. Aangezien het bestemd is voor korte reizen dient de reddingbootcapaciteit 75% van het totaal aantal opvarenden te bedragen of 799 met 201 personen op reddingsvloten.

De "required subdivision index" bedraagt dan: $R = 0.7007$.

Volgens SOLAS 1960 en 1974 zou dit schip een 2-compartimentsschip moeten zijn ($F_s = 0.5$) (zie Regulation 5 e). De "attained subdivision index" = 0,7918, dat wil zeggen: de geëiste waarde van 0.7007 werd ruimschoots overschreden.



figuur 12.9 Berekening "attained subdivision index" van een passagiers- en autoveerschip voor de kustvaart

12.9 * Verdere ontwikkelingen

Thans is bij IMCO o.a. aan de orde de vraag of ook voor vrachtschepen regels moeten worden opgesteld voor de waterdichte indeling. Daarbij worden 4 hoofdredenen onderscheiden voor het stellen van eisen aan de "survival capability" van vrachtschepen namelijk:

1. veiligheid van de bemanning
2. veiligheid van het schip
3. veiligheid van de lading (en passagiers)
4. veiligheid voor het milieu.

Daarbij kan de volgorde der prioriteiten van geval tot geval variëren.

Bovendien was men van mening dat er weinig schepen zijn die niet aan een of andere beperkte standaard van "probability of survival" (Chapter III Regulation 27 (c)) zouden kunnen voldoen; al was het alleen maar om een zodanige vertraging in het vollopen van het schip te bereiken dat de bemanning een redelijke tijd krijgt om in de boten te gaan.

De "equivalente methode" werd daarbij een goed uitgangspunt geacht, hoewel aan te passen aan de lagere eisen voor vrachtschepen. [12.18]

Andere leden van IMCO achtten verdergaande voorschriften voor vrachtschepen ongewenst en onnodig, aangezien de tankers en gastankers met hun gevaarlijke lading reeds onder strenge voorschriften vallen.

12.10 * Russische voorschriften

In de 1978 Rules for the Classification and Construction for seagoing ships" van de USSR, Register of Shipping in Part V - "Subdivision" zijn voorschriften opgenomen voor de waterdichte indeling van vrachtschepen die op het principe van de Resolutie A 265 ("equivalent rules") zijn gebaseerd.

Voor een groot aantal scheepstypen als:

- | | |
|--|------------|
| – vrachtschepen met Russische ijsklasse Y _{AA} | (R ≥ 0,80) |
| – Ro-Ro schepen | (R ≥ 0,60) |
| – tankers | (R ≥ 0,67) |
| – fabrieksschepen, visserijvaartuigen en gekoelde fishcarriers | (R ≥ 0,50) |
| – sleepboten, bergingsvaartuigen en lichtschepen | (R ≥ 0,50) |
| – ijsbrekers | |

worden de geëiste R-waarden gegeven, alsmede een beschrijving van de toe te passen berekeningsmethoden van de "attained subdivision index" A [12.12]

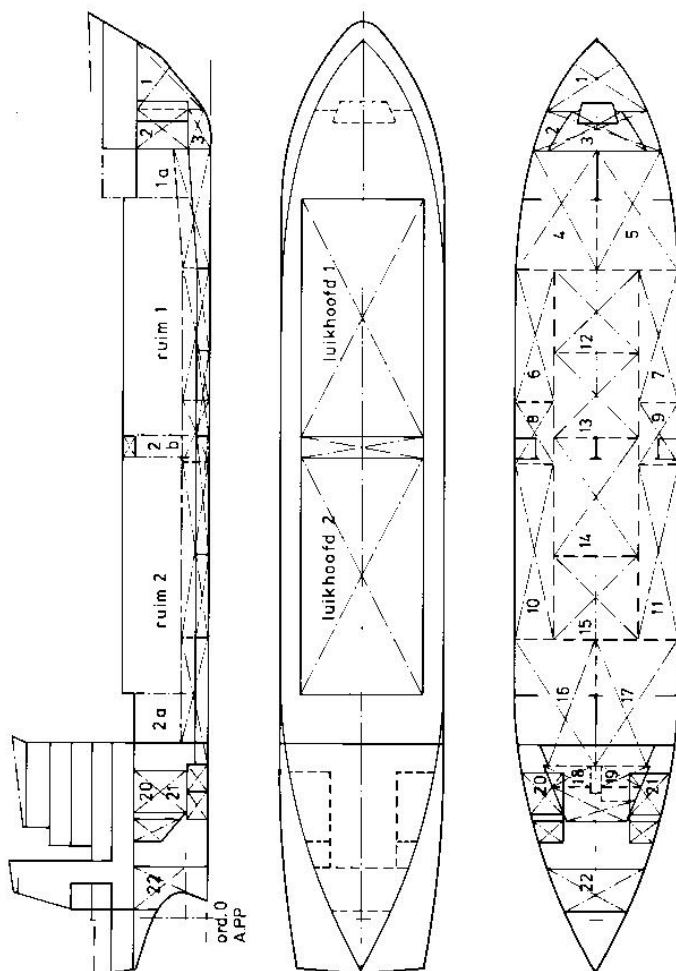
In verband met deze discussies in IMCO verband zijn van meerdere zijden onderzoeksresultaten gepubliceerd over de "impact" van voorschriften voor de waterdichte indeling van vrachtschepen op het ontwerp, resp. op de rentabiliteit van diverse typen schepen, bijvoorbeeld:

- | | |
|------------------|-------------------------|
| – vrachtschepen | [12.13] |
| – Ro/Ro schepen | [12.14] [12.15] [12.16] |
| – 75 m KHV schip | [12.17] |

12.11 * Literatuur Hoofdstuk 12

- [12.1] "Die Wahrscheinlichkeit des Überstehens von Verletzungen"
Prof. dr. ing. K. Wendel
Schifftechnik 1960 bl. 47 - 61
- [12.2] "Survival of collision damage versus the 1960 convention on Safety of life at sea"
J.P. Comstock and J.B. Robertson
SNAME 1961 bl. 461 - 522
- [12.3] "Betrekkelijke waarden", een studie over de veiligheid op zee
Prof. ir. H.E. Jaeger
Schip en Werf 1962 bl. 286 - 294
- [12.4] IMCO-Resolutie A 265
"Regulations on Subdivision and Stability of passenger ships as an equivalent to part B of Chapter II of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1960"
(bibl. No. K82 - 74.04 E of K82 - 74.09 E)
- [12.5] International Convention for the Safety of Life at sea 1960
(bibl. No. K82 - 1970.6)
- [12.6] Handbuch der Werften Bd VIII
Schiffahrts Verlag "HANSA"
Hamburg 1965
- [12.7] "Nieuwe ontwikkelingen in de voorschriften voor waterdichte indeling en lekstabiliteit van passagiersschepen"
ir. H. Vermeer
Schip en Werf 1975 bl. 124 - 133
- [12.8] "Neue IMCO Regeln für die Unterteilung von Fahrgastschiffen und Tankers"
5e Fortbildungskurs
Institut für Schiffbau der Universität Hamburg
(bibl. No. K67 - 11/1)
- [12.9] "Tests of a damaged stability model in waves"
E.H. Middleton and E. Numata
SNAME 1968
- [12.10] "Damage stability model experiments"
H. Bird en R.P. Browne
Paper No. 6, Spring meeting RINA 1973
- [12.11] "The New Equivalent International Regulations on Subdivision and Stability of passenger ships"
James B. Robertson, George C. Neckum, Robert I. Price and Edward H. Middleton
SNAME 1975 bl. 344 - 381
- [12.12] "Subdivision and damage stability on dry cargo ships, including Ro/Ro ships"
IMCO document STAB/60, submitted by the USSR (20 July 1978)
- [12.13] "Survival capability of cargo ships"
Main report of a study of a 150 m cargo ship
IMCO document STAB/69, submitted by Norway (2 October 1978)

- [12.14] "Cargo ship or passenger ship"
M.A.W.M. van Hees
Schip en Werf 1977 bl. 259 - 268
- [12.15] Report on the survival capability after damage of Roll-on/Roll-off cargo ships (Length 190 m plus)
ir. M.A.W.M. van Hees
RSV-project study and IMCO-contribution (december 1979)
- [12.16] "Methoden ter verbetering van de feasibility van Ro/Ro vrachtschepen met meer dan 12 passagiers"
J.L.A.M. van der Hoorn
TH 4e jaars scriptie (april 1980)
(niet gepubliceerd)
- [12.17] "Gevolgen van de waterdichte indeling voor de economie van een 75 m - vrachtschip"
D. Leissner
TH ingenieursstudie (juni 1980)
(niet gepubliceerd)
- [12.18] "Damage Survivability of cargo Ships"
Robert D. Tagg
SNAME 1982, blz. 26-41



MOTORVRACHTSCHIP

lengte tussen ord.	75,00 m
breedte	14,00 m
holte	6,20 m
diepgang	5,11 m
proeftochtsnelheid	12,0 kn
deadweight	2945,0 t
lege massa schip	1131,0 t
zwaartepunt	
boven basis	5,23 m
voor ord. 0	32,25 m

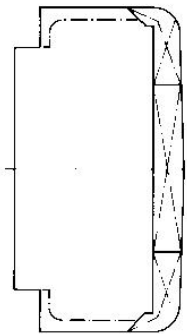
RUIMINHOUDEN

omschrijving	graan(m³)	balen(m³)	boven basis (tov. ord. 0)	zwaartepunt (m)
ruim 1	1331,0	1244,9	3,83	51,46
.. 1a	210,1	166,9	4,15	63,83
luikhooft 1	251,7	251,7	6,79	51,67
totaal ruim+luikh.	1792,8	1663,5	4,29	52,93
ruim 2	1340,4	1252,3	3,81	29,49
.. 2a	241,5	208,3	3,89	17,12
.. 2b	90,9	84,2	3,76	40,50
luikhooft 2	251,7	251,7	6,79	29,33
totaal ruim+luikh.	1924,5	1796,6	4,21	28,43
totale inhoud	3717,3	3460,0	4,24	40,26

TANKINHOUDEN

nr.	omschrijving	inhoud(m³)	boven basis (tov. ord. 0)	zwaartepunt (m)	vrij vloeiend oppervlak (m²)
1	voorpietank, ballastwater	56,14	4,58	71,36	70,75
2	dieptank	104,45	5,14	67,20	366,19
3	dubb. bodemtank	27,47	1,26	67,44	53,32
4	"	88,83	1,00	60,74	184,95
5	"	"	"	"	"
6	"	50,78	0,87	49,77	38,90
7	"	"	"	"	"
8	"	23,13	0,86	41,10	17,69
9	"	"	"	"	"
10	"	60,89	0,87	31,35	43,46
11	"	"	"	"	"
12	brandstofolie	55,03	0,66	52,20	223,95
13	"	65,03	0,66	45,00	223,95
14	ballastwater	93,93	0,66	36,30	317,26
15	brandstofolie	65,03	0,66	27,60	223,95
16	ballastwater	78,66	0,79	19,24	162,34
17	"	"	"	"	"
18	smeerolie	9,44	0,99	12,33	7,11
19	"	"	"	"	"
20	zoetwatertank	26,50	4,74	10,98	12,22
21	"	"	"	"	"
22	achterpietank, ballastwater	40,62	4,95	2,90	87,16

doorsnede t.p.v.
de luikhooften



CARÉNIEDIAGRAM

motorvachtschip

lengte tussen ord. 75,00 m

breedte 14,00 m

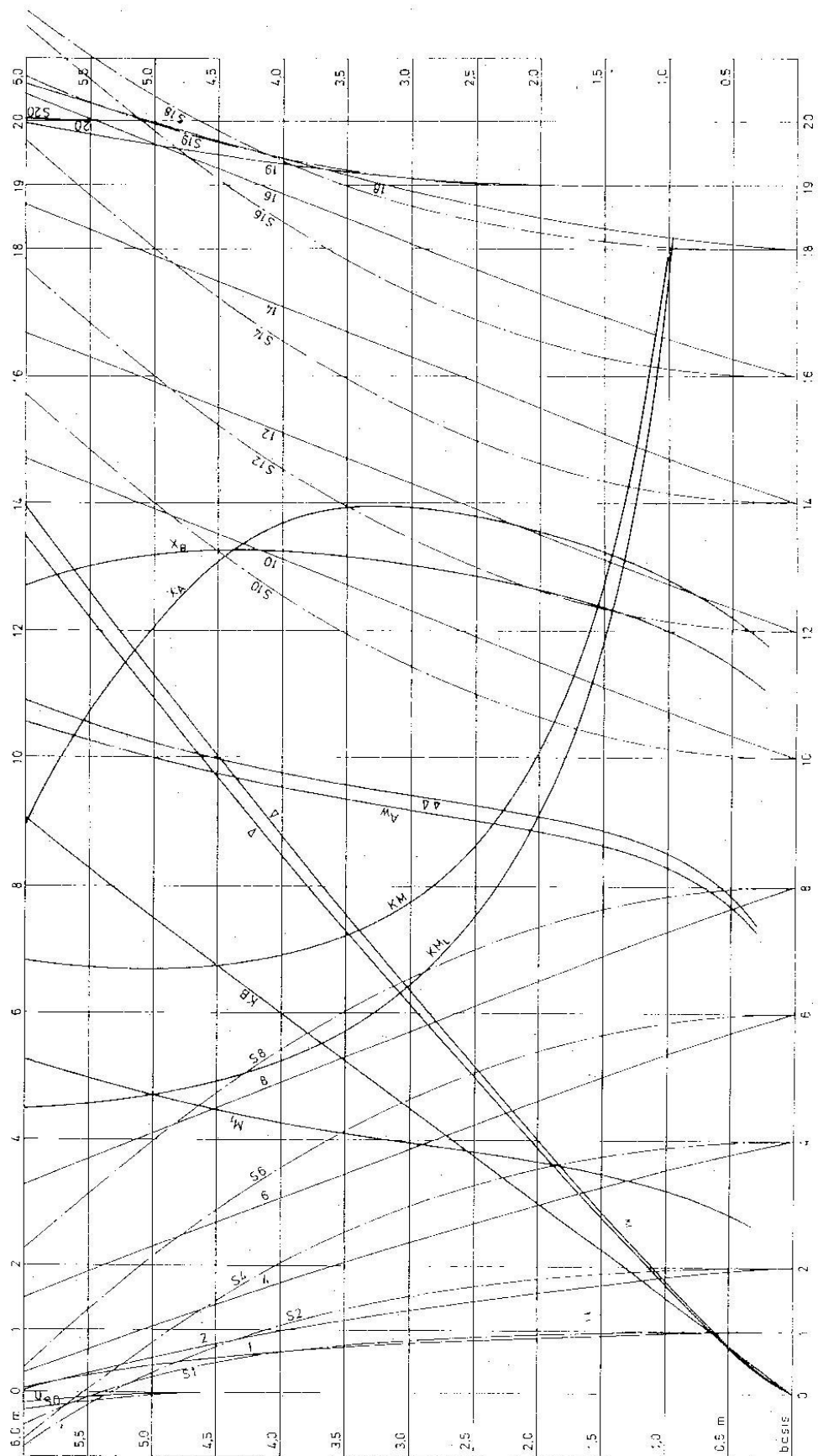
holte 5,20 m

diepgang 5,11 m

GRAFISCHE VOORSTELLINGEN

benaming	aan- duiding	1 cm komt overeen met uit ord.	meten
volume op binnenkant huid	∇	200 m ³	0
deplacement met huid en aanhangsels in zee	Δ	200 t	0
gew. nodig voor 1 cm diepgangsverandering	$\Delta \Delta$	0,5 t	0
moment nodig voor 1 cm totale trimverandering	M_1	5 t m	0
spantoppervlakken (bonjeankrommen)	ord. nr.	10 m ²	nr.
spantmomentkrommen	S ord. nr.	25 m ³	nr.
oppervlak waterlijnen	A_w	50 m ²	0

benaming	aan- duiding	1 cm komt overeen met uit ord.	meten
drukkingspunt boven basis	K B	0,20 m	0
drukkingspunt in lengte	X_B	0,20 m	10
zwaartepunt waterlijnen	X_A	0,20 m	0
langsmetafcentrum boven basis	K M	0,50 m	0
langsmetafcentrum boven basis	K M _L	1,0 m	0



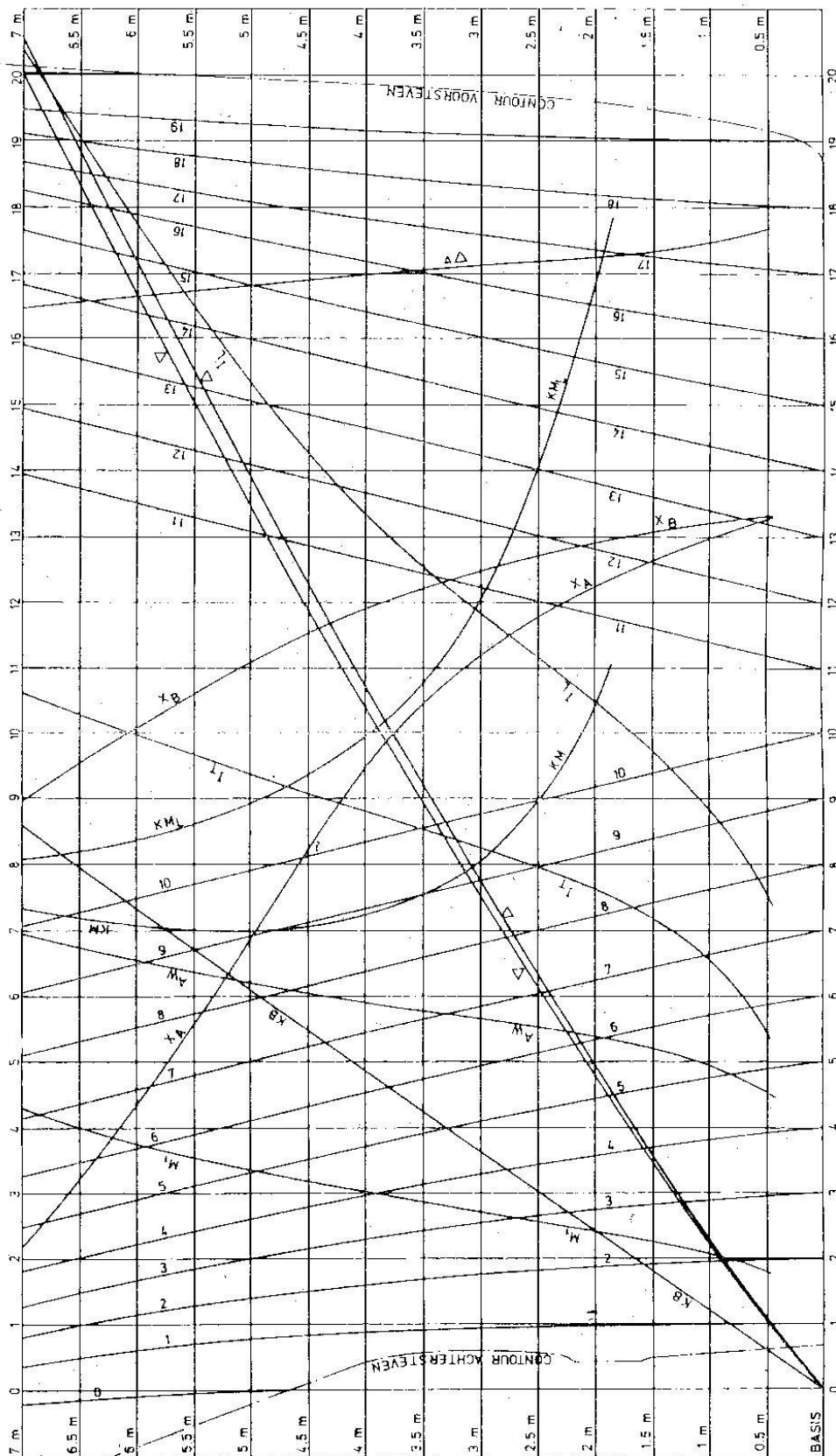
CARÉNEDIAGRAM I

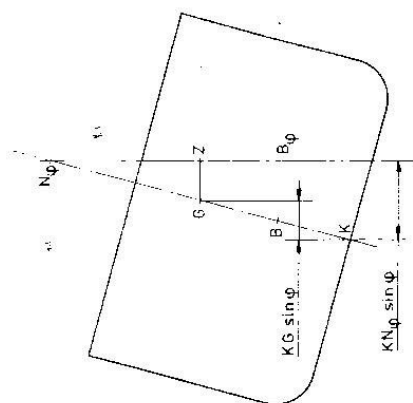
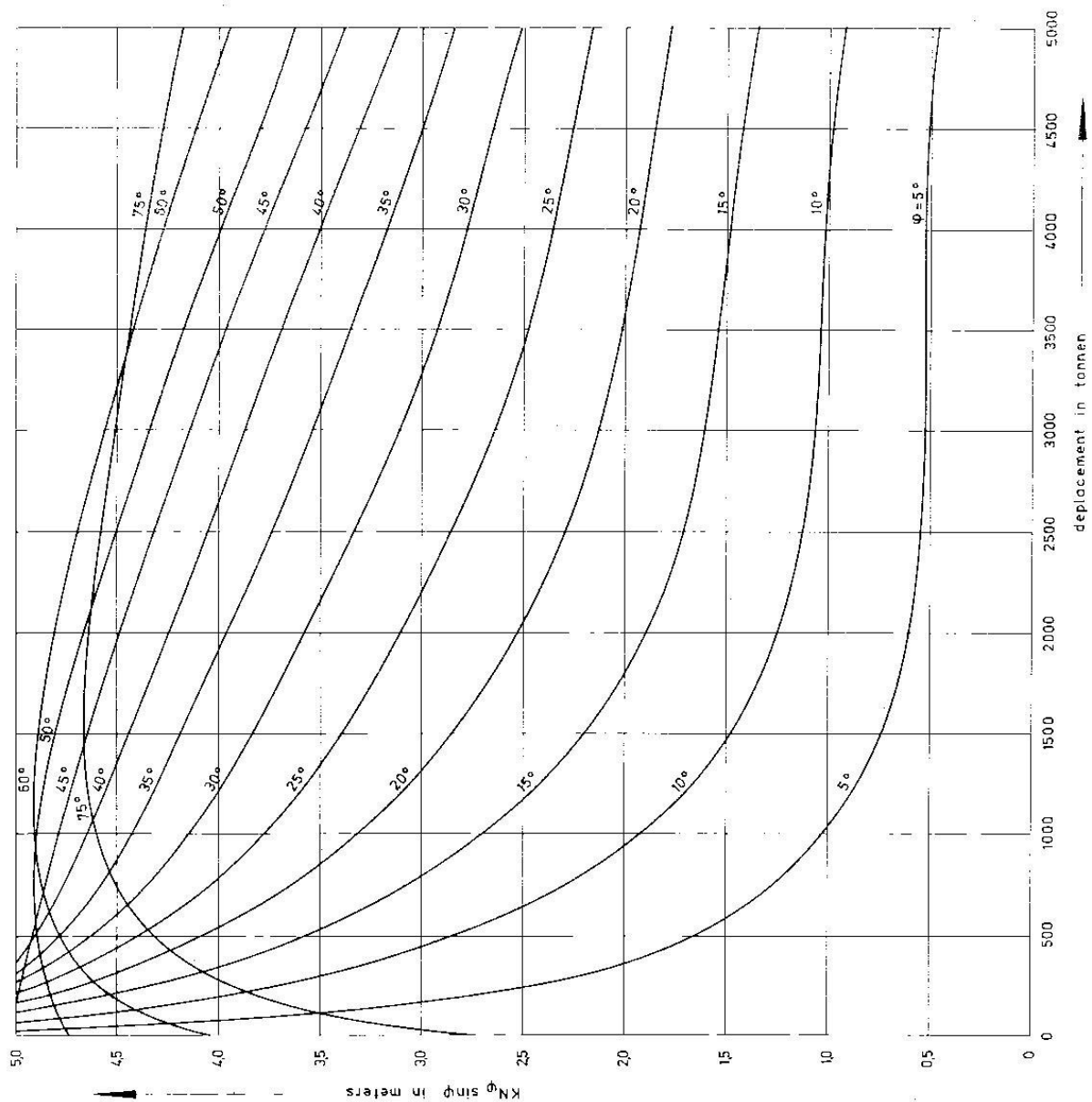
LENGTE OVER ALLES 10336 m
 LENGTE TUSSEN ORD. 94.00 m
 BREEDTE NAAR DE MAL 14.80 m
 HOLTE TOT HOOFDEK 8.30 m
 DIEPGANG max. 6.35 m

GRAFISCHE VOORSTELLINGEN

BENAMING	AAN- DUICING	1 cm KOMT OVEREEN MET	ORD.	METEN
VOLUME OP BINNENKANT HUID	▽	200 m ³	0	0
DEPLACEMENT MET HUID EN AANH. IN ZEEW.	△	200 t	0	0
GEW. NODIG VOOR 1 cm DIEPGANGSVERRANDERING	ΔΔ	2 t	0	0
MOMENT NODIG VOOR 1 cm TOTALE TRIMVERANDERING	M ₁	10 km	0	0
SPANTOPPERVLAKKEN (BONJEANKROMMEN)	ORD. NR.	20 m ²	NR.	NR.
OPPERVLAK WATERLINEN	AW	100 m ²	0	0
DRUKKINGSPUNT BOVEN BASIS	KB	0.25 m	0	0

BENAMING	AAN- DUICING	1 cm KOMT OVEREEN MET	ORD.	METEN
DRUKKINGSPUNT IN LENGTE	X _B	0.25 m	10	10
ZWAARTEPUNT WATERLINEN	X _A	0.25 m	10	10
DWARSTRAAGH MOM. WATERLINEN	IT	1000 m ⁴	0	0
LANGS	IT	2000 m ⁴	0	0
DWARSMETACENTRUM BOVEN BASIS	KM	0.5 m	0	0
LANGS	KML	7.5 m	0	0





krommen voor gelijkjarige diepgangen
 inclusief:
 kampagne van achtersteven tot spant 25
 bak van spant 110 tot voorsteven
 luikhouten van spant 32 tot 103

DWARSKROMMEN

motorvrachtschip
 lengte tussen ord.
 breedte
 holte
 diepgang

75.00 m
 14.00 m
 6.20 m
 5.11 m

TRIMDIAGRAM

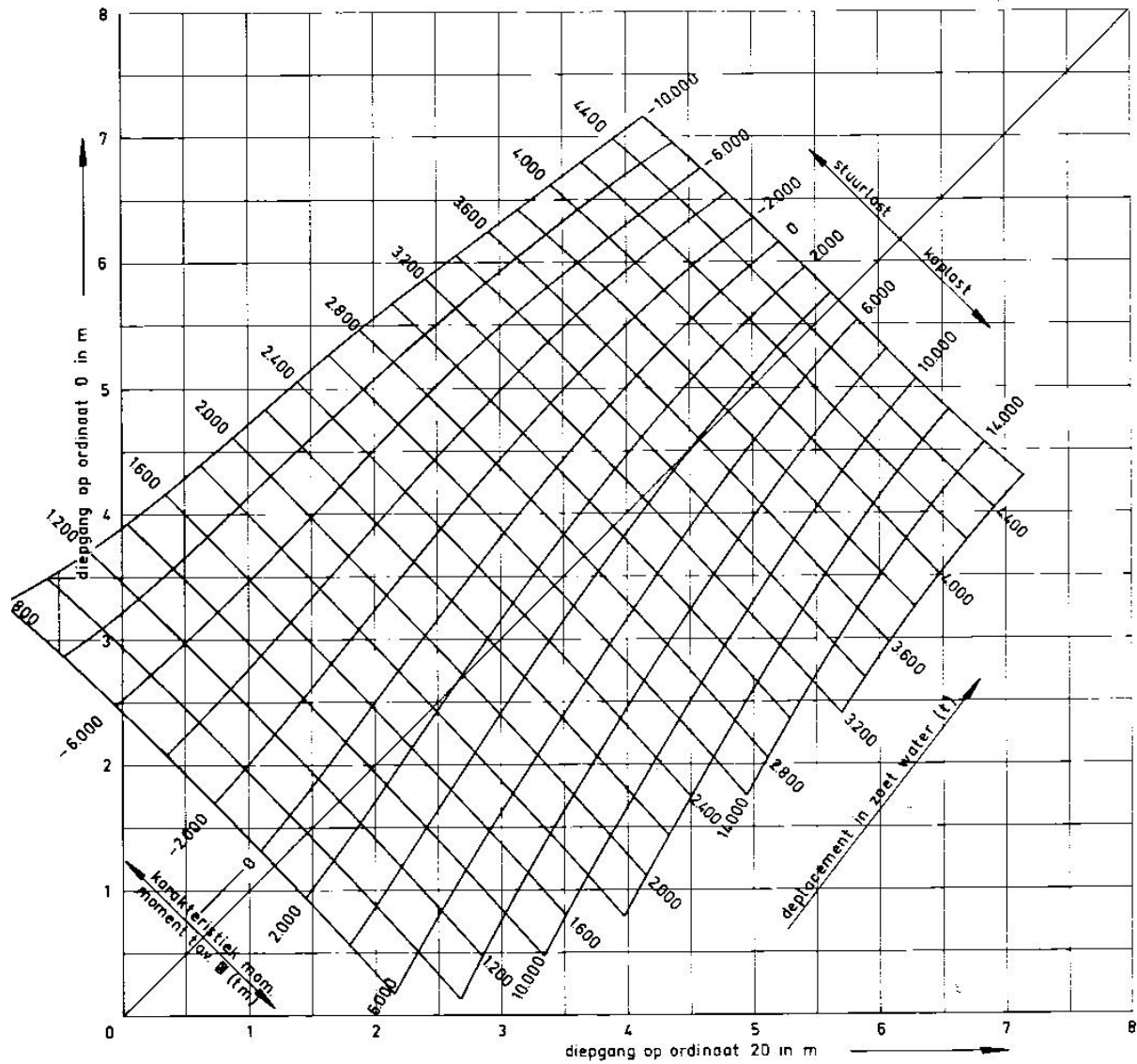
motorvrachtschip

lengte tussen ord. 75.00 m

breedte 14.00 m

holte 6.20 m

diepgang 5.11 m



bijlage 4