

In dit document vindt u de nadere uitleg en toelichting waarnaar verwezen wordt in de EOC Info van april 2015.

In samenwerking met het Scheepsbouwkundig Advies- en Rekencentrum (SARC) heeft EOC voor u in basis, aan de hand van praktijkvoorbeelden en tekeningen inzichtelijk gemaakt waar u op moet letten. De voorbeelden voor het vervoer van vloeibare lading of ballast in het ruim van droge ladingschepen geven aan wanneer de stabiliteit kritisch wordt, wanneer de grens van de stabiliteit wordt overschreden en wanneer u hulp van een externe partij dient in te roepen.

In basis is het verschil tussen een droog ladingschip en een tanker wel of geen dicht dek. Het zetten van ballast in het laadruim gaat daarom doorgaans ook lang goed. Het ballast zetten in (een deel) van de beunen of dubbele bodem gaat doorgaans ook lang goed met dien verstande dat er naderhand geen ballastwater achterblijft. De ballastcompartimenten moeten na gebruik altijd 100% droog zijn.

Als voorbeeld nemen we een 110 x 11,45 met een lengte van een U-beun compartiment van 13 meter. Wanneer er 3 cm water achter blijft dan spreken we over een massa van al 4,5 ton die bij slagzij extra meekomt en dus grote negatieve effecten heeft op de stabiliteit.

INVLOED VAN DE AFMETINGEN EN DE ROMPVORM

De afmetingen en de rompvorm spelen een belangrijke rol bij de stabiliteitsberekening. Eens spits heeft bijvoorbeeld kimhoekstalen en de overige schepen ronde of gezette kimmén. De voor- en achterschipconstructies verschillen qua rompvorm en dus qua inzinking en opwaartse druk. Conclusies voor uw schip baseren op stabiliteitsberekeningen van andere schepen zijn daarom alleen maar betrouwbaar indien het identieke zusterschepen zijn.

INVLOED VAN SCHEEPSBREEDTE EN RUIMCONSTRUCTIE

De scheepsbreedte speelt naast de rompvorm en de lengte van het laadruim een uiterst belangrijke rol. Bij de droge lading schepen zijn er diverse soorten laadruimen zoals met beunen, semi-beun en schepen zonder beunen (scheepshuid met spanten). Hoe breder het laadruim des te eerder het kritische punt van stabiliteit is bereikt. Dit geldt dus met name voor schepen met een semibeun of zonder beunen. Dit is onder andere ook de reden van de brede gangboorden op beunschepen.

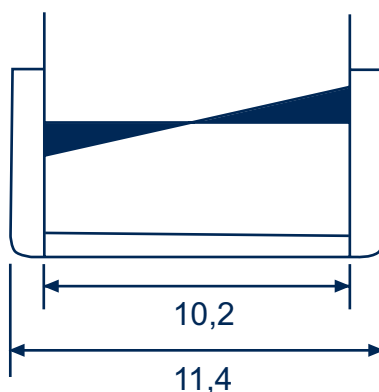
In de onderstaande voorbeelden 1 en 2 wordt het vrije vloeistofmoment met waterballast berekend bij een 110 x 11,45 meter met een ruimlengte van 80 meter. De formule hiervoor is $VVM = 1/12 \times L \text{ (ruimlengte)} \times B^3 \text{ (ruimbreedte)} \times Sg$ (Soortelijk gewicht van de vloeistof)

Voorbeeld 1 geeft het vrije vloeistofmoment weer bij een breedte van het laadruim 11,4 meter.
 $VVM = (1/12) \times 80 \times 11,4^3 \times 1,000 \text{ (dichtheid van water)} = 9877 \text{ tonmeter.}$

Voorbeeld 2 geeft het vrije vloeistofmoment weer bij een bij een breedte van het laadruim van 10,2 meter.
 $VVM = (1/12) \times 80 \times 10,2^3 \times 1,000 \text{ (dichtheid van water)} = 7075 \text{ tonmeter.}$

Het verschil in deze voorbeelden tussen een gelijkwaardig schip met beuncompartimenten en zonder beuncompartimenten is ca. 40%.

DWARSDOORSNEDE LAADRUIJ



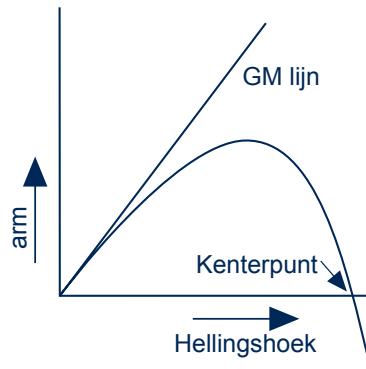
STABILITEITSKROMME

De stabiliteitskromme, ook wel GZ curve genoemd, geeft het stabiliteitsmoment weer.

De horizontale as (x-as) geeft de hellingshoek weer. Deze wordt afgezet tegen de verticale as (y-as) welke de stabiliteitsarm weergeeft. Stabiliteitsarm = stabiliteitsmoment / scheepsgewicht. Uit de kromme kunnen we aflezen wanneer het schip instabiel wordt en wanneer het kenterpunt wordt bereikt. Wanneer de kromme de x-as kruist kapseist het schip.

Hoe hoger de stabiliteitskromme, hoe steiler de raaklijn en des te stabielier het schip.

GZ CURVE



INVLOED VAN HET ZWAARTEPUNT VAN DE OPWAARTSE KRACHT

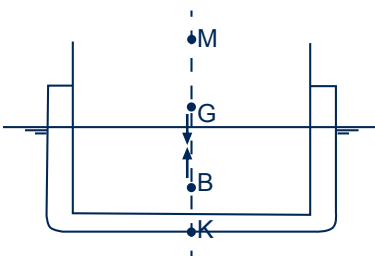
Elk schip heeft een aanvangsstabiliteit. Dit wordt de 'metacenterhoogte' genoemd of MG.

De letter M staat voor 'metacenterpunt', dit is het punt waarom het schip gaat hellen, de letter G voor 'gewichtszwaartepunt in hoogte'. De afstand tussen de punten M en G bepaalt dus de aanvangsstabiliteit. Hoe lager punt G, hoe groter de afstand MG, des te stabielier het schip. Zie hiervoor de onderstaande figuren. In deze figuur is K de basis waaruit alles wordt gemeten (= bovenzijde kielplaat) en B het aangrijpingspunt waar het water het schip 'omhoog' duwt.

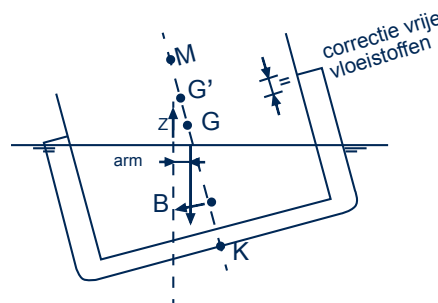
In geval van vrije vloeistoffen zal onder een hellingshoek de vloeistof zich gaan verplaatsen naar de lage kant hetgeen een negatief effect op de stabiliteit heeft. Om die reden geldt er een correctie voor vrije vloeistoffen. In onderstaand figuur wordt de correctie weergegeven, dit is het verschil tussen de punten G en G'.

Des te groter de KG' (=zwaartepunt in hoogte gecorrigeerd door het vrije vloeistofoppervlak) wordt, des te kleiner wordt de arm. Indien de vrije vloeistof correctie erg groot is kan het zijn dat het punt G' boven punt M komt te liggen. Dit resulteert in een negatieve aanvangsstabiliteit waardoor het schip grote slagzij krijgt en wellicht kapseist.

Metacenterhoogte bij vaste stoffen



Metacenterhoogte met correctie voor vrije vloeistoffen



EXTERNE FACTOREN

Denk hierbij onder andere aan de factor windkracht, deining en golfhoogte, de roeruitslag, de stopproef en brede ballast tanks welke niet zuiver leeg zijn.

VERSCHIL TUSSEN HANDMATIGE BEREKENING EN EEN AFSCHEK BEREKENING

Een handmatige berekening is een indicatie die altijd aan de veilige kant is. Een afschenk berekening gemaakt door een ingenieursbureau is een nauwkeurigere berekening die optimale zekerheid biedt doordat aan de hand van alle werkelijke scheepsgegevens de stabiliteit voor de betreffende belading wordt berekend.

HOE KAN JE INDICATIEF ZELF EEN BEREKENING UITVOEREN

In geval voor het schip een container stabiliteitsberekening voorhanden is, dan kan deze ook gebruikt worden voor het vervoer van vrije vloeistoffen zoals waterballast. Wel dient hierbij altijd gerekend te worden met 3 lagen containers in verband met het veilig varen waarbij rekening gehouden wordt met wind. Bij de container stabiliteitsberekeningen is verder al rekening gehouden met normaal varen, roeruitslag en een stopproef echter zonder enige waterballast. In de aanwezige stabiliteitsberekening is het gewicht van het lege schip + 50% van de voorraden standaard opgenomen. Wanneer er geen stabiliteitsberekening voor het schip aanwezig is adviseren wij om voor vervoer van vloeibare lading of varen met waterballast contact op te nemen met een daarvoor gespecialiseerd ingenieursbureau. Onderstaand zijn voorbeelden van uitwerkingen op basis van een stabiliteitsberekening van een concreet motorvrachtschip.

HIERONDER VOLGEN VOORBEELD UITWERKINGEN VOOR WATER EN BAGGERSPECIE

Uitgangspunten van voorbeeldberekeningen

We nemen hiervoor een 135 x 11,45 meter schip. Dit schip heeft één laadruim met een lengte van 104 meter en een breedte van 10,20 meter. De hoogte van de dubbele bodem is 0,60 meter. We gaan in dit voorbeeld uit van 2500 ton waterballast in het ruim.

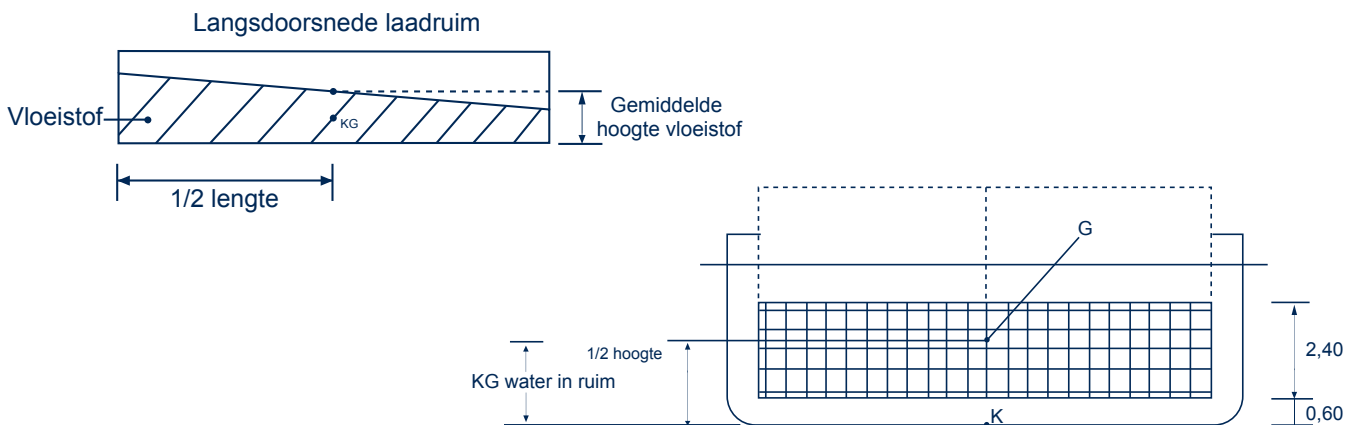
Eerst moet het zwaartepunt van het water in het ruim worden vastgesteld (KGballast in ruim), gemeten boven basis (= punt K in figuur 2)

Hiervoor dient de gemiddelde hoogte van de vloeistof in het ruim te worden bepaald.

De aangenomen 2500 ton water in het ruim resulteert in een gemiddelde vloeistof hoogte van 2,40 meter.

De KGballast in ruim wordt $(2,40 / 2) + 0,60 = 1,80$ meter.

LANGDOORSNEDE MET GEMIDDELTE LADINGSHOOGTE



Zwaartepunt vloeistof in het ruim $KG_{\text{ballast in ruim}} = 0,60 + (2,40/2) = 1,80$ meter.

Vrij vloeistof moment (water) $VVM = (1/12) \times 104 \times 10,2^3 \times 1,0$ (Sg van water) = 9197 tonmeter.

Vrij vloeistof moment (baggerspecie) $VVM = (1/12) \times 104 \times 10,2^3 \times 1,8$ (Sg van water) = 16555 tonmeter.

VOORBEELD VAN VAREN MET WATERBALLAST IN HET LAADRUIM

Hiervoor gebruiken we het rekenmodel van de stabiliteitsberekening:

- Het gewenste tonnage (2500 ton) en de KGballast in ruim (1,80) vullen we in bij de kolommen 1 en 2 van het soort lading. Door deze met elkaar te vermenigvuldigen resulteert dit in het verticale moment van 4500 tonmeter (kolom 3). Door het verticale moment van het ledige vaartuig +50% van de voorraden (2725,2) bij op te tellen resulteert dit in 7225,20 tonmeter (totaal kolom 3).
- Het gewicht van het ledige schip +50% voorraden (1111,41) en het gewicht van de lading (2500) resulteert in een totaalgewicht van geval 3611,4 ton (totaal kolom 1).
- Het vrije vloeistofoppervlak van het ledige schip +50% van de voorraden (23.298) en het vrije vloeistofoppervlak van baggerslib (9197) resulteert in een totaal van 9220 tonmeter (totaal kolom 4).
- De bovenstaande waarden worden ingevuld bij de tussenresultaten. Hieruit volgt een hoogte in meters. Deze gegevens zijn nodig bij de eindresultaten.
- Bij de eindresultaten wordt de maximale werkelijk hoogte bepaald. In dit geval is dit 4,554 meter.
- Het totale tonnage (3611,4) zoeken we op in het stabiliteitsboek van het schip. Hiervoor raadplegen we kolom van 3 lagen containers. Dit resulteert in een diepgang van 2,643 meter en een maximale toegestane VCG' (is de Engelse term voor KG') van 4,458 meter.

Om veilig te varen dient de werkelijk VCG' altijd kleiner te zijn dan de maximaal toelaatbare VCG'

Conclusie: De werkelijke VCG' (4,554 meter) is groter dan de maximaal toelaatbare VCG' (4,458 meter) hetgeen betekend dat de stabiliteit **niet** voldoet.

ACTUELE KG' BEREKENING MET WATERBALLAST

Kolom	1		2		3	4
Beschrijving:	Gewicht		KG		Vert. Mom.	VVM
Eenheden:	[ton]	x	[m]	=	[tonm]	[tonm]
Beschrijving:						
Leeg schip+5-% voorraden	1111,41	x	2.452	=	2725.2	23.298
Containerlading						
Laag 1						
Laag 2						
Laag 3						
Laag 4						
Laag 5						
Waterballast						
Laadruim	2500	x	1,80	=	4500	9197
Ballast water						
Ballasttank fr. 38-49 SB	0	x	1.189	=	0	
Ballasttank fr. 38-49 BB	0	x	1.189	=	0	
Ballasttank fr. 49-62 SB	0	x	1.189	=	0	
Ballasttank fr. 49-62 BB	0	x	1.189	=	0	
Ballasttank fr. 216-230 SB	0	x	1.189	=	0	
Ballasttank fr. 216-230 BB	0	x	1.189	=	0	
Totaal	3611,4				7225,2	9220

Tussenresultaten

KG [= Totaal kolom 3 / Totaal kolom 1 = 7225.2 / 3611,4	=	2,001 [m]
VVM Correctie (GG') [= Totaal kolom 4 / Totaal kolom 1] = 9220 / 3611,4	=	2,553 [m]

Eindresultaten

KG' [= KG + VVM Correctie] = 2,001 + 2,553	=	4,554 [m]
Displacement [Totaal kolom 1]	=	3611,4 [ton]

Maximaal toelaatbare VCG'

Displacement	3611,4	ton	
Een diepgang van	2,64	m	
Maximaal toelaatbare VCG'	4,458	m	Let op! 3, 4 of 5 lagen containers!

Het schip voldoet wanneer de actuele (werkelijke) VCG' **kleiner** is dan de maximaal toelaatbare VCG' voor de betreffende lading.

MAXIMALE TOEGESTANE VCG'= KG'

9'6" Containers

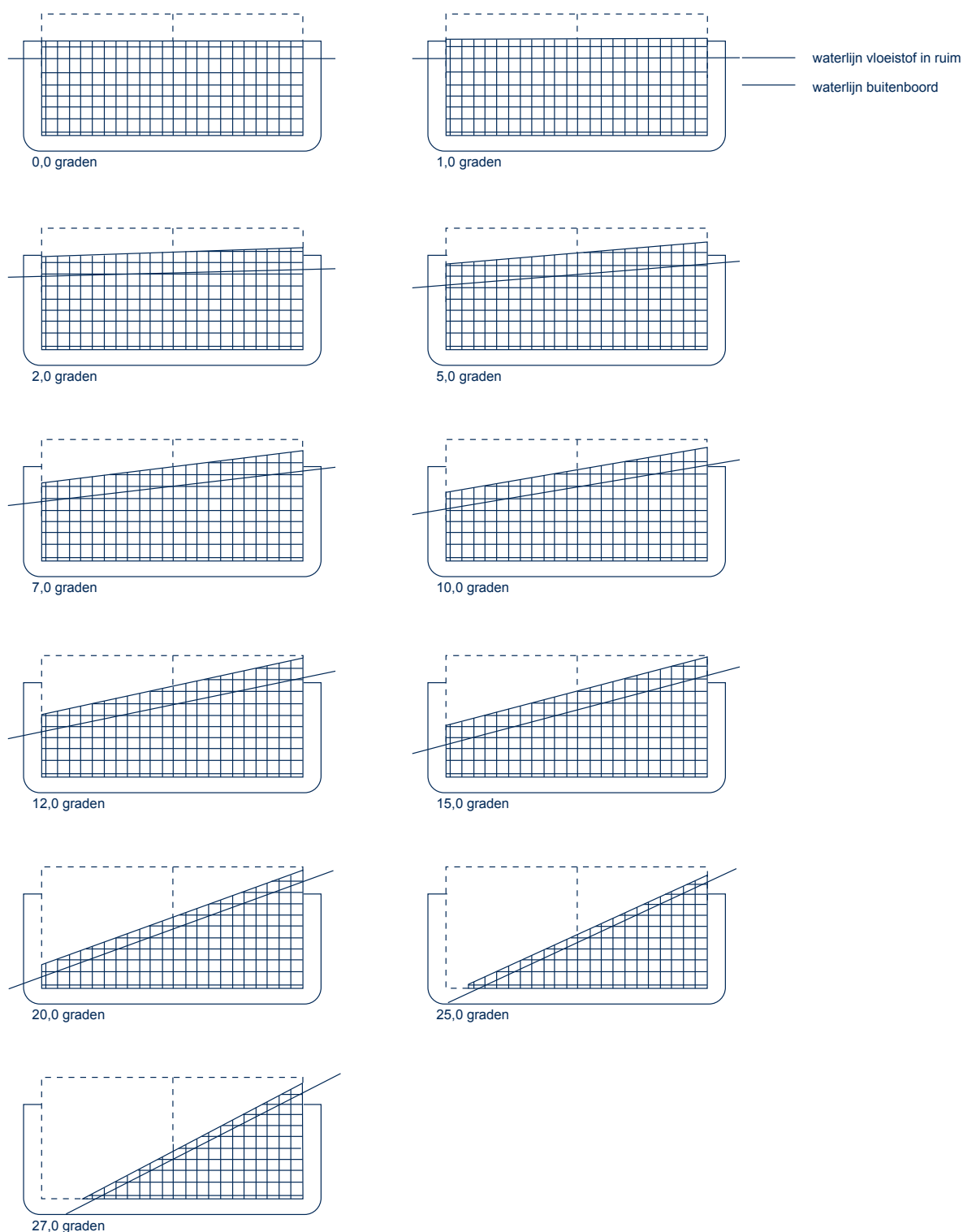
Displacement	Diepgang	3 lagen	4 lagen	5 lagen	Droge lading
[ton]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
3560	2.602	4.498	4.339	4.062	4.498
3580	2.616	4.484	4.332	4.057	4.484
3600	2.630	4.471	4.326	4.052	4.471
3620	2.643	4.458	4.319	4.047	4.458
3640	2.657	4.445	4.313	4.042	4.445
3660	2.671	4.432	4.307	4.038	4.432
3680	2.685	4.419	4.301	4.034	4.419

UITSCHENKBEREKENING

Aangezien in deze handmatige berekening veiligheidsmarges zijn ingebouwd zou het kunnen zijn dat het varen met dit tonnage aan waterballast wel verantwoord is. Om hier zeker van te zijn dient hier door een ingenieurbureau een uitschenkberekening van gemaakt te worden. In deze berekening is exact te zien bij welke slagzij er lading uit het ruim stroomt en bij welke slagzij er water in het ruim stroomt en wat de bijbehorende GZ curve is. De uitkomsten van deze berekeningen geven uitsluitend of het nog verantwoord is om zeevaardig te kunnen varen.

Na het invoeren van de gewenste gegevens in de uitschenkberekening zal in dit geval het schip tussen de 12° en 15° water uitschenken. Het verlies van waterballast uit het ruim heeft een positief effect op de stabiliteit. Maar let op want bij 27° komt er buitenwater het ruim in waardoor het schip zal zinken.

BALLAST WATER



VOORBEELD VAN VAREN MET VLOEIBARE BAGGERSLIB

Hiervoor gebruiken we het rekenmodel van de stabiliteitsberekening:

- Het gewenste tonnage (2500 ton), door de hoge dichtheid van baggerslib is het ruim nu gevuld met een hoogte van 1,333 meter. Dit resulteert in een KGbaggerslib in ruim van $(1,333 / 2) + 0,60 = 1,266$ meter. Dit vullen we in bij de kolommen 1 en 2 van het soort lading. Door deze met elkaar te vermenigvuldigen resulteert dit in het verticale moment van 3167 tonmeter (kolom 3). Door het verticale moment van het ledige vaartuig +50% van de voorraden (2725,2) bij op te tellen resulteert dit in 5890,2 tonmeter (totaal kolom 3).
- Het gewicht van het ledige schip +50% voorraden (1111,41) en het gewicht van de lading (2500) resulteert in een totaalgewicht van geval 3611,4 ton (totaal kolom 1).
- Het vrije vloeistofoppervlak van het ledige schip +50% van de voorraden (23.298) en het vrije vloeistofoppervlak van baggerslib (16555) resulteert in een totaal van 16578.298 tonmeter (totaal kolom 4).
- De bovenstaande waarden worden ingevuld bij de tussenresultaten. Hieruit volgt een hoogte in meters. Deze gegevens zijn nodig bij de eindresultaten.
- Bij de eindresultaten wordt de maximale werkelijk hoogte bepaald. In dit voorbeeld met baggerslib is dit $(5892 / 3611,4) + (16555 / 3611,4) = 6,222$ meter.
- Het totale tonnage (3611,4) zoeken we op in het stabiliteitsboek van het schip. Hiervoor raadplegen we kolom van 3 lagen containers. Dit resulteert in een diepgang van 2,643 meter en een maximale toegestane VCG' (is de Engelse term voor KG') van 4,458 meter.

Conclusie:

De werkelijke VCG' (6,222 meter) is veel groter dan de maximaal toelaatbare VCG' (4,458 meter) hetgeen betekent dat de stabiliteit niet voldoet.

ACTUELE KG' BEREKENING MET BAGGERSLIB

Kolom	1		2		3		4	
Beschrijving:	Gewicht		KG		Vert. Mom.		VVM	
Eenheden:	[ton]	x	[m]	=	[tonm]	[tonm]	[tonm]	[tonm]
Beschrijving:								
Leeg schip+5-% voorraden	1111,41	x	2.452	=	2725.2		23.298	
Containerlading								
Laag 1								
Laag 2								
Laag 3								
Laag 4								
Laag 5								
Baggerslib								
Laadruim	2500	x	1,266	=	3165		16555	
Ballast water								
Ballasttank fr. 38-49 SB	0	x	1.189	=	0			
Ballasttank fr. 38-49 BB	0	x	1.189	=	0			
Ballasttank fr. 49-62 SB	0	x	1.189	=	0			
Ballasttank fr. 49-62 BB	0	x	1.189	=	0			
Ballasttank fr. 216-230 SB	0	x	1.189	=	0			
Ballasttank fr. 216-230 BB	0	x	1.189	=	0			
Totaal	3611,4				5890,2		16578.298	

Tussenresultaten

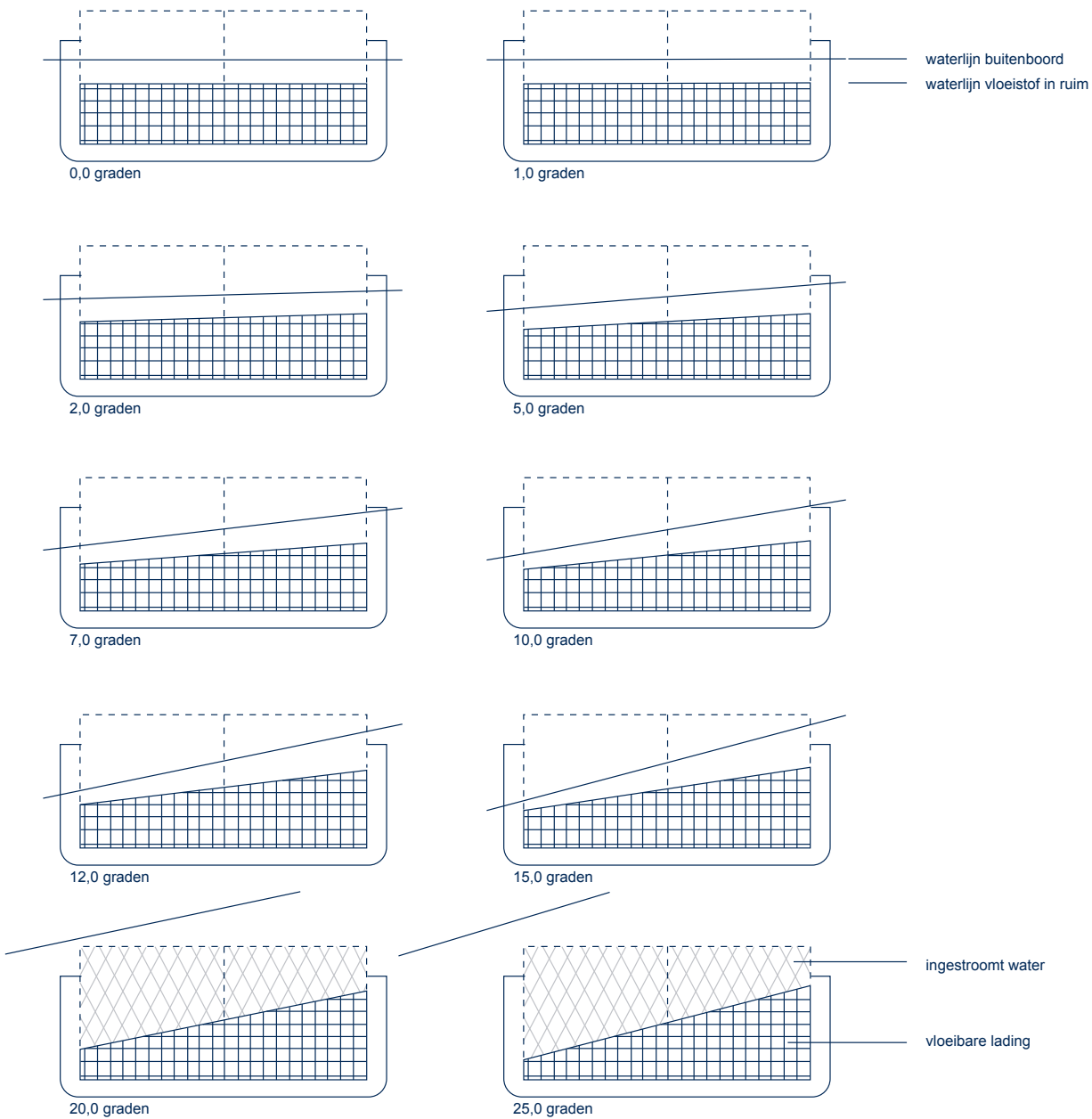
KG [= Totaal kolom 3 / Totaal kolom 1 = $5890,2 / 3611,4$]		=	1.631	[m]
VVM Correctie (GG') [= Totaal kolom 4 / Totaal kolom 1] = $9220 / 3611,4$		=	4,591	[m]
Eindresultaten				
KG' [= KG + VVM Correctie] = $2,001 + 4,591$		=	6222,2	[m]
Displacement [Totaal kolom 1]		=	3611,4	[ton]

Maximaal toelaatbare VCG'

Displacement	3611,4	ton	
Een diepgang van	2,64	m	
Maximaal toelaatbare VCG'	4,458	m	<i>Let op! 3, 4 of 5 lagen containers!</i>

Het schip voldoet wanneer de actuele (werkelijke) VCG' kleiner is dan de maximaal toelaatbare VCG' voor de betreffende lading.

BAGGERSLIB



In geval met vervoer van vloeibare baggerspecie met een soortelijk gewicht van $1,8 \text{ ton/m}^3$ zal in dit geval het schip bij een hellingshoek ergens tussen de 15° en 20° zinken als gevolg van het vollopen van het laadruim met water over de denneboom. Dit lijkt een grote hellingshoek maar indien men iets scheef valt door bijvoorbeeld wind en de vloeibare baggerslib gaat daardoor overhellen versterken deze twee effecten elkaar waardoor zulke hoeken snel kunnen optreden.

Geconcludeerd kan worden dat het schip niet is ontworpen voor vervoer van vloeibare lading.

Onderstaand nog enkele aandachtspunten:

- Vraag naar het soortelijk gewicht van de lading en de samenstelling en laat dit schriftelijk bevestigen.
- Controleer en peil dagelijks of de beunen en dubbele bodems echt zuiver leeg zijn.
- Controleer de constructie en de lengte van de ballasttanks.
- Er is geen wetgeving voor spuitand.
- Een grove controleberekening op basis van de aanvangsstabiliteit is beter dan niets.
- Bij 1 laadruim is de stabiliteit al snel kritisch.
- Zodra het gangboord te water komt neemt de stabiliteit snel af.
- Bij twijfel contact opnemen met ingenieursbureau of niet doen.
- Bij gedeeltelijk vloeibare lading zoals baggerspecie zal deze zich verplaatsen in het laadruim hetgeen een grote negatieve invloed heeft op de stabiliteit.
- Bij ruimconstructies zonder beun is de stabiliteit al heel snel kritisch.
- De stabiliteitberekeningen en tekeningen zijn scheepsafhankelijk, zelfs kleine details zoals de positie van de ontluchtingen hebben grote invloed op de stabiliteit.

Dit artikel is in samenwerking met het Scheepsbouwkundig advies en rekencentrum 'SARC BV' tot stand gekomen. Meer informatie vindt u op www.sarc.nl. Voor vragen kunt u contact met hun opnemen.