

## De basisbegrippen van de scheepsstabiliteit



Expertise- en  
InnovatieCentrum  
Binnenvaart

# EICB

Postadres:  
Postbus 23133  
3001 KC Rotterdam

Bezoekadres:  
Vasteland 12e  
3011 BL Rotterdam

Tel: 010-798 98 30  
Fax: 010-412 90 91  
E-mail: [eicb@binnenvaart.nl](mailto:eicb@binnenvaart.nl)

## Inleiding:

Deze hand-out word u aangeboden door het Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart (EICB). De hand-out is samengesteld om u inzicht te verschaffen in de basisbegrippen van de scheepsstabiliteit.

## Het EICB:

Het Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart is opgericht als Programmabureau voor het Innovatieprogramma voor de binnenvaart en als het Programmabureau voor Expertiseontwikkeling.

Het EICB is een gezamenlijk initiatief van de brancheorganisaties Centraal Bureau voor de Rijn- en Binnenvaart, Koninklijke Schuttevaer, Kantoor Binnenvaart en de Vereniging van sleep- en duwbooteigenaren 'Rijn & IJssel' dat ontstaan is uit een convenant met het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (getekend in november 2006).

Het EICB is er voor u als binnenvaartondernemer, marktpartij, kennisinstelling, overheid en belangenorganisatie. Daarbij informeert het EICB u over subsidieprogramma's voor innovatie, educatie en expertise in de binnenvaart, initieert zelf innovatie-, educatie en expertiseprojecten, informeert u over bestaande expertise in de branche en adviseert u over uw eigen te starten innovatieproject.

## Afbakening:

De scheepsstabiliteit is onder te verdelen in:

- Dwarsscheepse stabiliteit.
- Langsscheepse stabiliteit.

Deze hand-out beperkt zich tot de dwarsscheepse stabiliteit.

De scheepsstabiliteit is ook onder te verdelen in:

- Statische stabiliteit: hierbij wordt de toestand van het schip beschouwd in rust of geleidelijk veranderend.
- Dynamische stabiliteit: hier gaat het om een plotselinge optredende krachten op het schip zoals een windstoot.

De inhoud van de hand-out beperkt zich uitsluitend tot de statische stabiliteit.

## Literatuurlijst:

De volgende bronnen zijn geraadpleegd voor het samenstellen van deze hand-out:

- The Management of Merchant Ship: Stability, Trim and Strength van *I.C. Clark*.
- Ship Stability for Masters and Mates Fifth edition van *Captain D. R. Derrett*.
- Scholierenlab.tudelft.nl/nl/forum/get\_attachment/att28/
- Vessel Stability van *CANADIAN COAST GUARD AUXILIARY - PACIFIC*
- Vessel Stability van *Dan Hardin Commercial Fishing Industry Vessel Safety Coordinator U. S. Coast Guard Marine Safety Office, Seattle WA*.
- Wikipedia

## Scheepsbewegingen

Een schip heeft, net zoals alle vrij te bewegen objecten, zes vrijheidsgraden. Over alle drie assen kan getransleerd en geroteerd worden. Door golven en stroming kan een schip op totaal zes manieren heen en weer bewegen. Deze zes bewegingen hebben ieder een eigen naam.

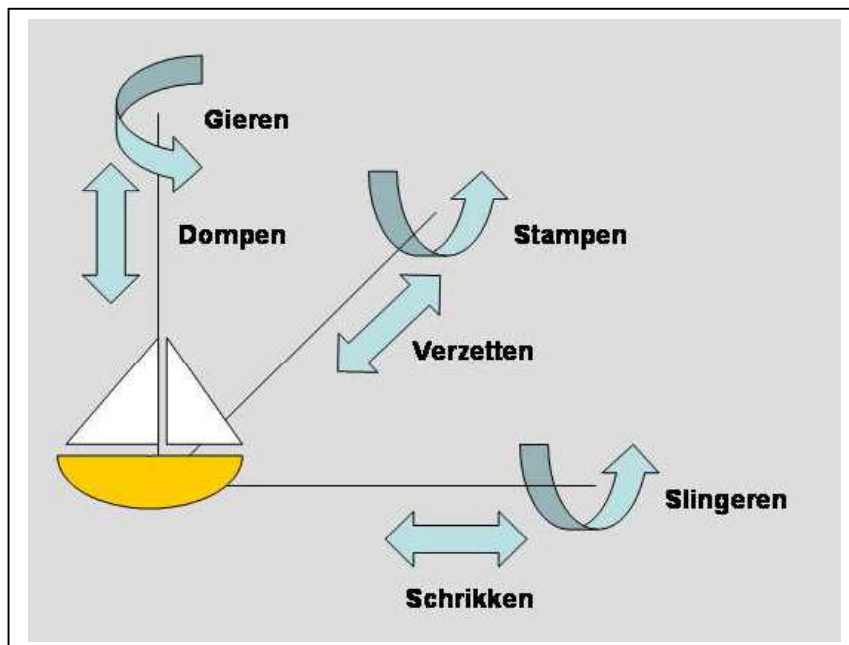
### Translatie

- dompen (heave) op en neer bewegen van het schip.
- verzetten (sway) naar links en rechts bewegen van het schip.
- schrikken (surge) naar voor en achter bewegen van het schip.

### Rotatie

- gieren (yaw) heen en terug roteren over de staande as (mast).
- stampen (pitch) heen en terug roteren over de breedte as.
- slingeren (roll) heen en terug roteren over de lengte as.

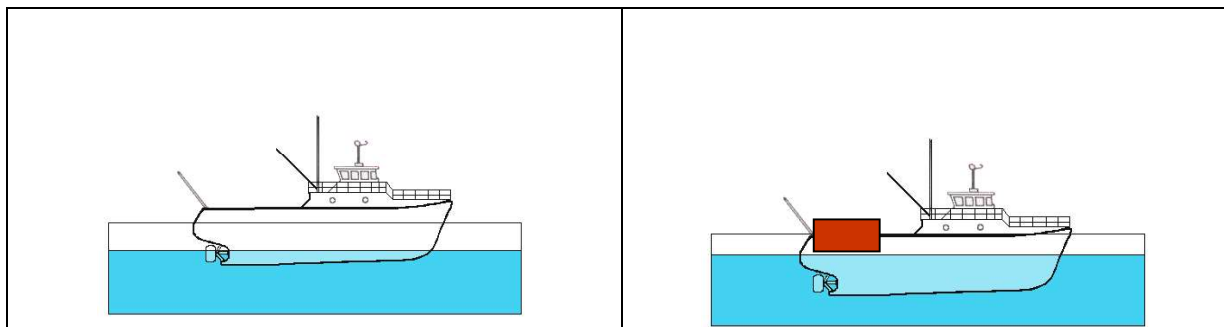
Rollen is een combinatie van stampen en slingeren.



Scheepsbewegingen

**De wet van Archimedes:**

Volgens de wet van Archimedes wordt een schip omhoog geduwd door een kracht die even groot is als het gewicht van het water dat door het schip verplaatst wordt.

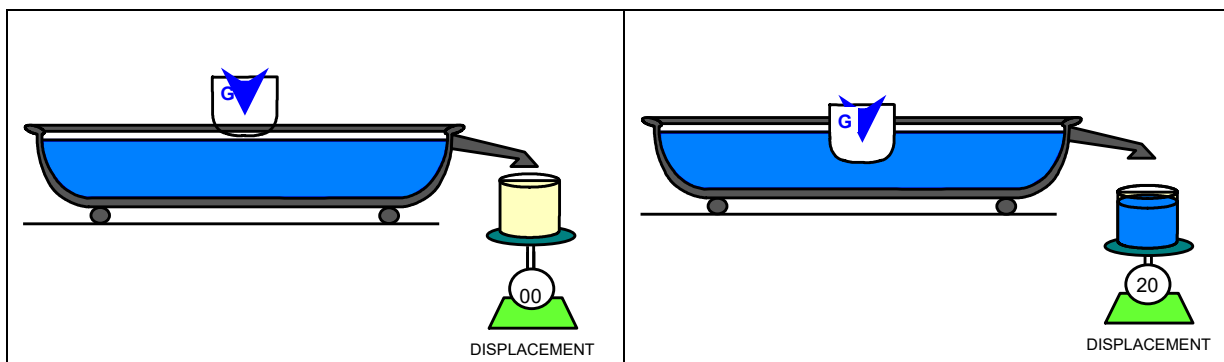


De wet van Archimedes

**Displacement:**

Het displacement van een schip is het gewicht van het verplaatste water of het gewicht van het schip zelf. Dit displacement wordt uitgedrukt in metrische eenheden.

Het displacement (t) = de waterverplaatsing (m<sup>3</sup>) x soortelijk gewicht van water of 1.025 t/m<sup>3</sup>.

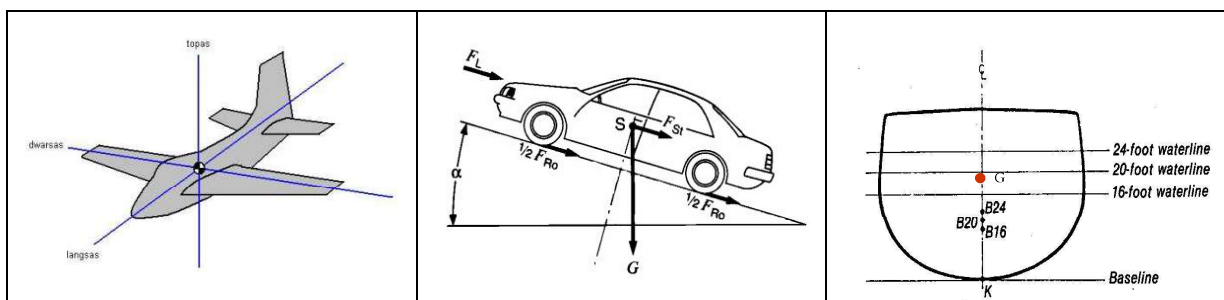


Displacement

**Zwaartekracht en zwaartepunt:**

Het zwaartepunt Definitie volgens wikipedia (vaak aangeduid met G: Center of Gravity) van een schip is het punt ten opzichte waarvan de massa van dat schip in evenwicht is. Hier wordt, in de natuurkunde, de zwaartekracht gedacht aan te grijpen, als hij wordt voorgesteld als een puntlast.

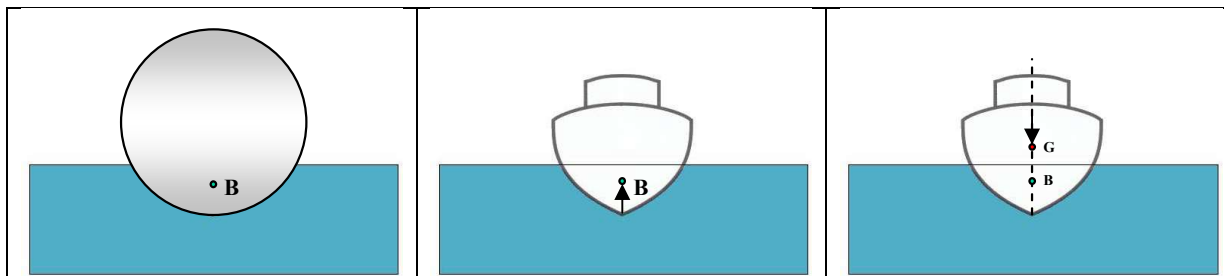
Het zwaartepunt kan men zich als volgt voorstellen: als in het zwaartepunt van een willekeurige tweedimensionale figuur een gat wordt gemaakt, en daardoorheen wordt een spijker gestoken, dan zal de figuur geen 'voorkeurspositie' aannemen, maar in iedere willekeurige hoek (ten opzichte van een denkbeeldig horizontaal vlak) kunnen worden geplaatst.



Zwaartepunt(G)

### Center of Buoyancy (drukkingspunt):

Het drukkingspunt (vaak aangeduid met B: center of Buoyancy) is het geometrisch zwaartepunt van (het deel van) het schip dat in water is ondergedompeld. Zoals men de zwaartekracht in de natuurkunde vaak voorstelt als een puntlast die aangrijpt in het gewichtszwaartepunt van een lichaam, zo stelt men de opwaartse kracht van het water op het schip voor als een puntlast die aangrijpt in het drukkingspunt (B).

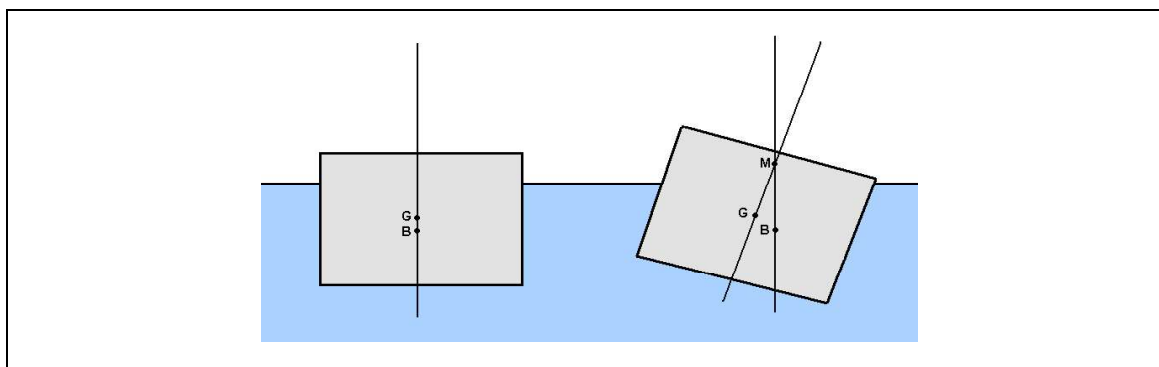


Drukkingspunt(B)

De opwaartse kracht die het ondergedompelde schip ondervindt, is volgens de Wet van Archimedes gelijk aan het gewicht van de hoeveelheid verplaatste water (ofwel, van de ruimte die het lichaam onder de waterspiegel inneemt). Om te kunnen blijven drijven, dient de opwaartse kracht op het schip gelijk te zijn aan diens eigen gewicht. Een schip dat meer weegt dan de hoeveelheid water dat het kan verplaatsen, kan dus niet blijven drijven.

### Metacenter (Metacentrum M):

Het metacentrum ligt op het snijpunt van de opwaartse kracht door het drukkingspunt(B) en het hart van het schip en wordt aangeduid met M. De afstand tussen G en M is een bepalende factor met betrekking tot de stabiliteit van een schip en deze geeft aan of het schip oprichtend (stabiel) dan wel kenterend (onstabiel) is. Met andere woorden of het schip met zijn belading instaat is om zijn evenwicht terug te winnen wanneer het schip uit zijn evenwicht wordt gehaald.



Metacentrum

Zoals beschreven, zijn het gewicht en de opwaartse kracht bij een drijvend schip in evenwicht - ze heffen elkaar op.

In de evenwichtssituatie zonder externe invloeden (zoals wind, golven of verschuiving van lading) liggen het zwaartepunt en het drukkingspunt boven elkaar, zodat de krachten op één lijn liggen.

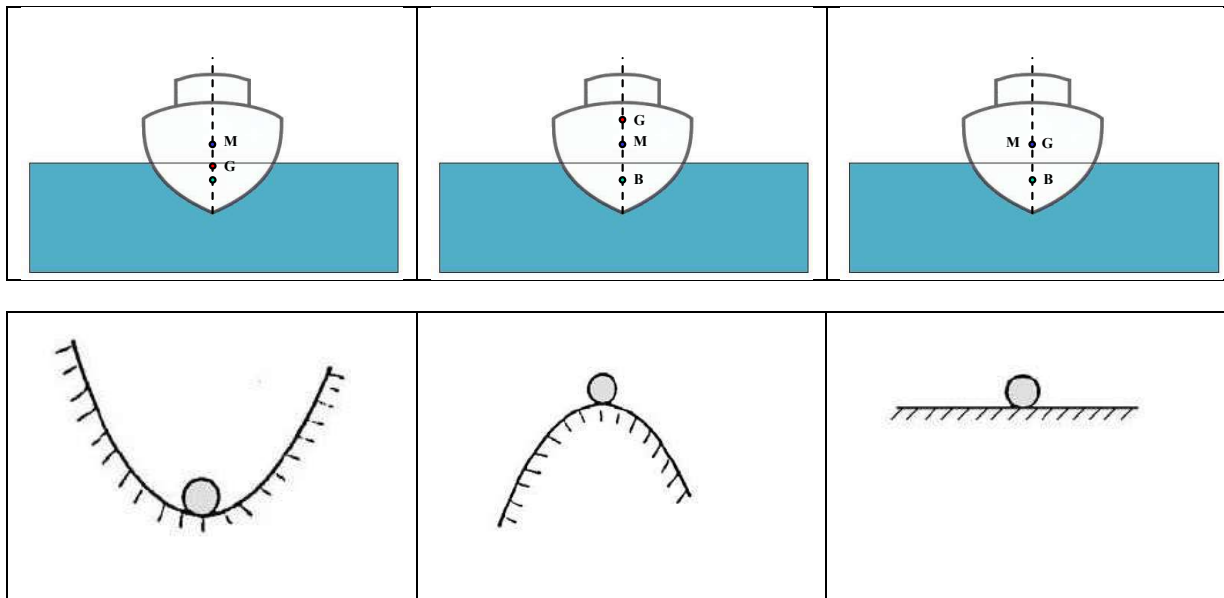
Wanneer het schip gedwongen wordt een hellingshoek ten opzichte van zijn evenwichtspositie te maken, dan verandert de vorm van het ondergedompelde lichaam en dus de positie van het drukkingspunt (B).

Dit betekent dat de zwaartekracht en de opwaartse kracht niet meer op één lijn liggen en dat er daardoor dus een moment (of koppel) ontstaat.

- In het gunstige geval (als het schip voldoende stabiliteit heeft) dan werkt dat moment (koppel) de externe krachten tegen en wil het het schip in zijn oorspronkelijke evenwichtssituatie terugbrengen.
- Is het schip instabiel, dan zal het juist de verstorende invloeden versterken (het schip slaat om).

Dit vertaald naar de ligging van het metacentrum (M) ten opzichte van de ligging van het zwaartepunt (G) zijn er dus drie mogelijkheden:

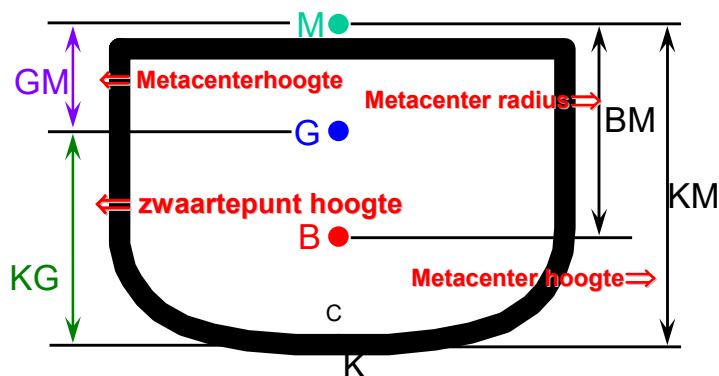
- M ligt boven G: het evenwicht is stabiel.
- M ligt onder G: het evenwicht is instabiel of labiel.
- M en G vallen samen: het evenwicht is onbepaald.



Verschillende vormen van stabiliteit

### Metacenterhoogte (GM):

Scheepsbouwkundigen duiden de stabiliteit van een schip aan met de metacenterhoogte (GM). Dit is de hoogte van het metacentrum boven het zwaartepunt van een schip. Deze hoogte is een maat voor het vermogen van een schip om in de evenwichtstoestand terug te keren.



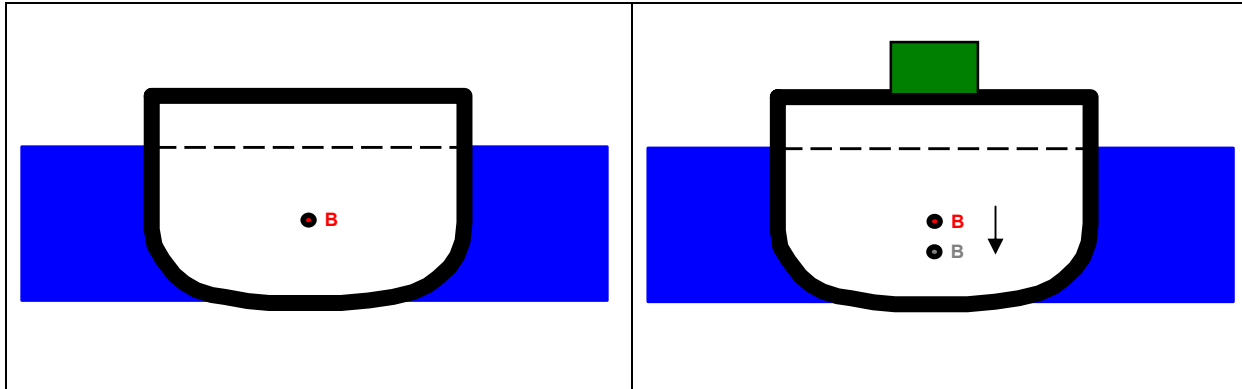
De scheepsstabiliteit GM kan zoals het plaatje hierboven aangeeft als volgt berekend worden:

$$\begin{aligned} GM &= KM - KG \\ \text{Of} \\ GM &= KB + BM - KG \end{aligned}$$

**Invloed van het toevoegen van gewicht (lading) op de stabiliteit van het schip :**

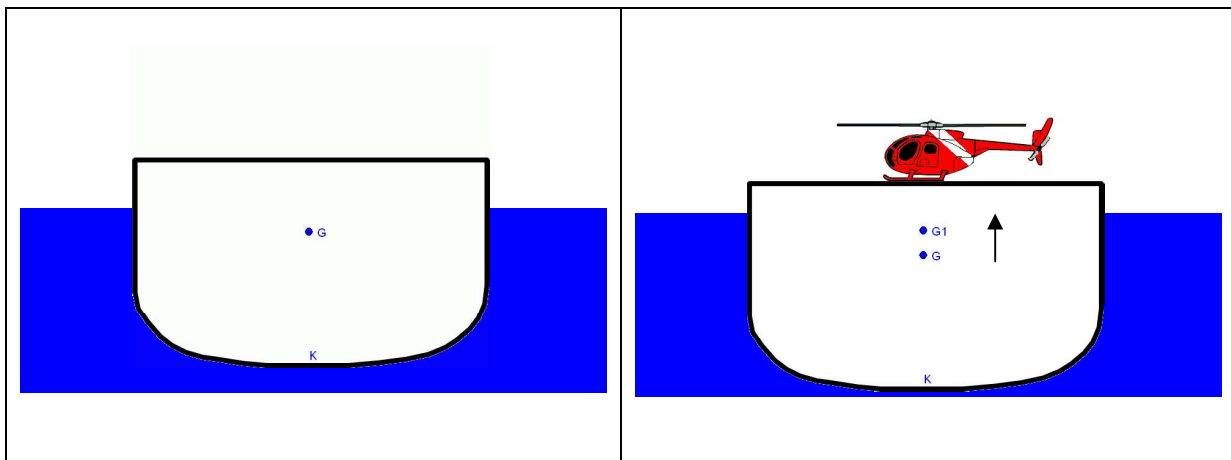
Het toevoegen van gewicht (lading) resulteert in het toename van het totale gewicht van het schip. Het schip zal meer water moeten verplaatsen om de invloed van het toegevoegde gewicht te compenseren. Dit betekent dat het schip meer diepgang zal maken.

- Invloed op de drukingspunt (B):  
Als vuistregel voor de invloed van het toevoegen van gewicht op een schip geldt dat: **“Drukingspunt (B) volgt de waterlijn”**.



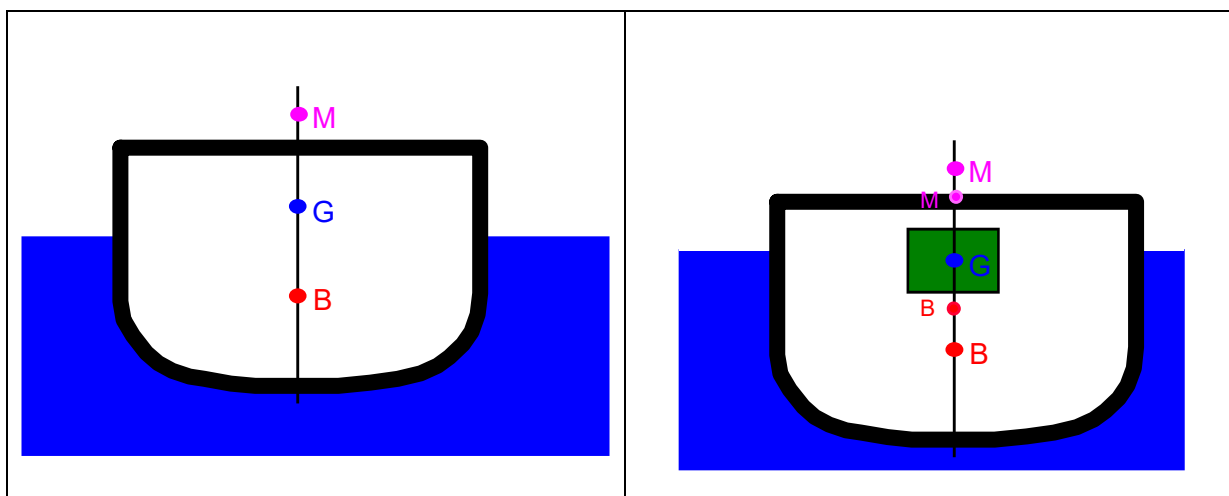
Invloed van lading op de drukingspunt

- Invloed op de zwaartepunt (G):  
Als vuistregel voor de invloed van het toevoegen van gewicht op het schip geldt dat: **“De zwaartepunt (G) verplaatst zich in de richting van het toegevoegde gewicht”**.



Invloed van lading op het zwaartepunt

- Invloed op het metacentrum (M):  
Als vuistregel voor de invloed van het toevoegen van gewicht op het schip geldt dat: **‘Het metacentrum (M) verplaatst zich in omgekeerde richting van de verplaatsing van de drukkingspunt (B)’**.



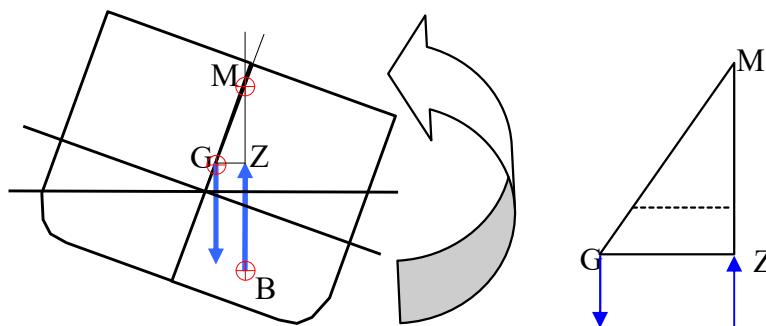
Invloed van lading op het metacentrum

### Invloed van slagzij maken op de stabiliteit van het schip:

Wanneer het schip uit evenwicht wordt gebracht (slagzij) dan verschuift het drukkingspunt(B) van het schip terwijl de zwaartepunt(G) ongewijzigd blijft.

Omdat de zwaartekracht en de drijfkracht even groot zijn en langs twee parallelle lijnen in elkaars tegengestelde richting werken, ontstaat een koppel die het schip in zijn oorspronkelijke evenwicht terug forceert.

De afstand (verticaal) tussen het zwaartepunt(G) en het drukkingspunt(B) wordt de stabiliteitsarm (GZ) genoemd. Voor een kleine hoek (tussen 7 en 10 graden)



Slagzij maken

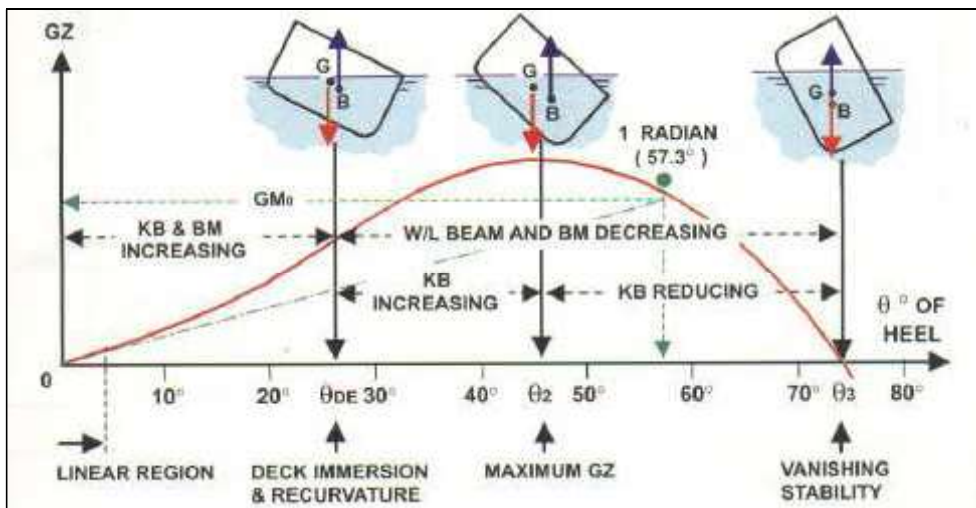
In deze situatie is **‘het vermogen van het schip om terug te keren naar zijn evenwicht is even groot als de het product van de stabiliteitsarm (GZ) en het totale gewicht van het schip’**.

$$\text{Moment} = GZ \times \text{gewicht van het schip}$$

Met de toename van de metacentrum hoogte (GM) neemt de stabiliteitsarm(GZ) ook toe. En omgekeerd geldt dat een kleinere GM, een afname van de GZ tot gevolg heeft.

### Stabiliteitskromme:

De grootte van de oprichtende arm (GZ) is voor afhankelijk van de hellingshoek. Om een beeld te geven van het verloop van de grootte van de stabiliteitsarm (GZ) wordt deze veelal weergegeven in een figuur genaamd “**de kromme van armen van statische stabiliteit**”. Hierin staat de arm GZ afgebeeld als functie van de hellingshoek. De vorm van de kromme is sterk afhankelijk van het beschouwde schip.

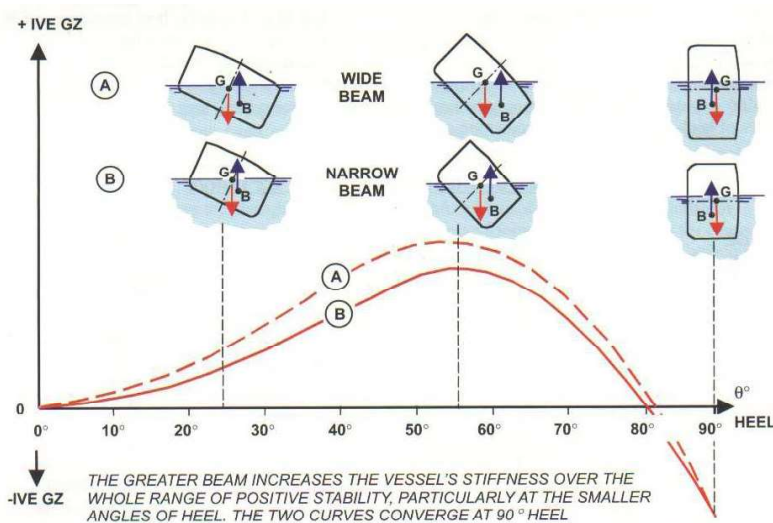


De kromme van armen van statische stabiliteit

- De raaklijn aan de kromme in het punt  $\Theta = 0$  snijdt de lijn  $\Theta = 57.3^\circ = 1$  radiaal in een punt dat overeenkomt met de grootte van  $GM_0$ .
- Voor een bepaalde waarde van de hellingshoek wordt de stabiliteitsarm maximaal, de hoek waarbij dit gebeurt is in de figuur aangegeven als  $\Theta_2$ .
- Er treedt een buigpunt op in de kromme bij die hoek waarbij het dek te water komt.
- Bij een bepaalde hellingshoek wordt de arm nul. Deze hoek wordt de kenterhoek genoemd. Bij deze hoek heeft een zeer kleine verstoring van het evenwicht tot gevolg dat het schip doorkentert.
- De range van hoeken tussen  $\Theta = 0$  en  $\Theta = \Theta_3$  wordt de stabiliteitsomvang genoemd

Invloed van de schipbreedte op de stabiliteit:

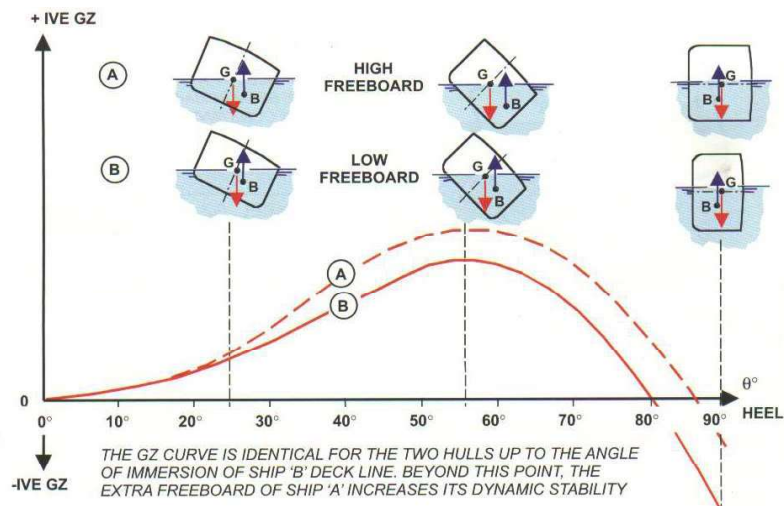
Hoe breder van het schip hoe positiever het effect op de stabiliteit van het vaartuig. Dit vertaald naar de kromme houdt in dat de kromme steiler en hoger wordt. De kromme A is van een brede schip. De kromme B is van een smalle schip.



De invloed van de schipbreedte op de kromme van armen van statische stabiliteit

Invloed van de vrijboord hoogte op de stabiliteit van het schip:

De stabiliteit van een schip neemt toe naarmate de vrijboord hoogte toeneemt. De kromme A is voor een grote vrijboord hoogte en de kromme B is voor lagere vrijboord hoogte.



De invloed van de vrijboord hoogte op de kromme van armen van statische stabiliteit