

SCHIPPER MAG IK OVERVAREN, JA OF NEE... DE MEEST GESTELDE VRAGEN OVER SCHEEPSBOUW

Iedereen kent wel het gevoel van overpeinzing bij het aanschouwen van grote zeeschepen, terwijl die zachtjes voortschuiven langs de Noordzee-horizon. Misschien zijn dan ook bij jou wel vragen opgekomen die verband houden met de bouw en de werking van deze zeereuzen? Waarom drijven ze eigenlijk? Hoe worden ze bestuurd? En kun je met deze giganten nog wel remmen? Geen nood, deze en vele andere vragen lossen we graag voor jullie op met de hulp van experts. Hier volgt alvast een eerste reeks mysteries!

1. Waarom zinkt een stalen plaat terwijl een 'loodzwaar' stalen schip drijft?

Het gewicht van een stalen plaat overtreft het gewicht van het volume water dat de stalen plaat in het water inneemt. Dus zinkt het. Het totale gewicht van een leeg stalen schip echter, blijft onder het totale gewicht van het volume water dat het schip in het water ingenomen heeft (ook wel 'waterverplaatsing' genoemd). En dus drijft het. Een schip bestaat immers voor een klein gedeelte uit staal en voor een groot gedeelte uit lucht dat verpakt zit in de stalen huid en lichter is dan water. Het totale gewicht van het verplaatste water is dan ook groter dan het totale gewicht van het staal en de verpakte lucht en zodoende blijft het schip drijven. De wetten van Archimedes (zie p.8) zijn hier volledig van toepassing.



Bij zware zee kan een schip 'lelijk doen', waarmee men doelt op de vele bewegingen van het vaartuig zoals het 'dompen' (op en neer gaan), 'verzetten' (links-rechts verplaatsen), 'schrikken' (vooruit en achteruit verplaatsen), 'rollen' (links-rechts kantelen), 'stampen' (vooruit en achteruit kantelen als op schommel-paard) en 'gieren' (draaien als tol)

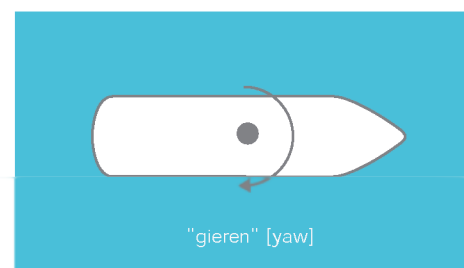
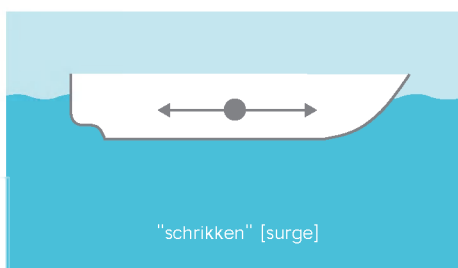
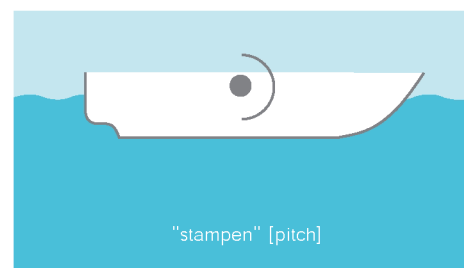
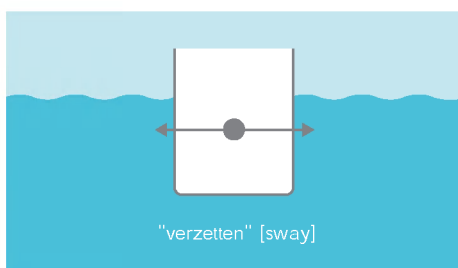
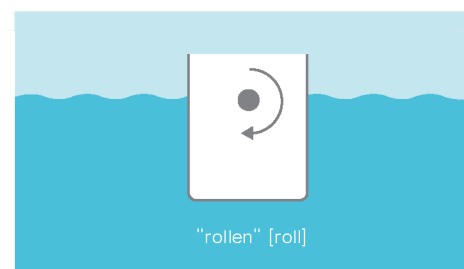
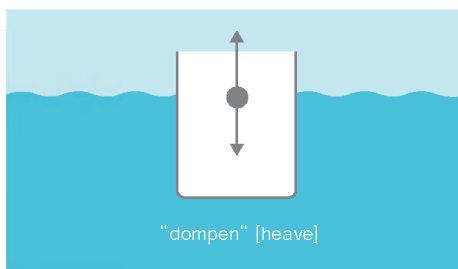


2. Lig een schip even diep in elk type water?

Vermits de dichtheid van water varieert met de temperatuur, druk en hoeveelheid opgeloste stoffen, zal ook het drijfvermogen van voorwerpen in water verschillen naargelang het type water waarin het zich bevindt. Een schip ligt bijvoorbeeld dieper in zoet water dan in zout water. Zoet water heeft namelijk een kleinere dichtheid dan zout water. Er is dus meer onderwatervolume nodig in zoet water om de opwaarts gerichte Archimedeskracht te laten ontstaan en het gewicht van het schip te compenseren dan in zout water het geval is. Om dezelfde reden drijf je ook beter in de extreem zoute Dode Zee dan in pakweg het zwembad!

3. Welk soort bewegingen maken schepen?

Een schip kent zes zogenaamde 'vrijheidsgraden' (d.i. bewegingsmogelijkheden), nl. *dompen*, *stampen*, *gieren*, *rollen*, *verzetten*, en *schrikken*. Het *dompen* of het *duiken* is het verticaal op en neer gaan van het schip in het water. Het *stampen* van een schip kan vergeleken worden met de beweging van een schommelpaard. Het *gieren* is het draaien van het schip zoals een tol om haar as. Het *rollen* of *slingeren* is de beweging die iedereen tijdens het refrein van het liedje 'De Marie-Louise' maakt.



Eigenlijk is rollen een anglicisme - cf. afgeleid van het Engelse "to roll" - de correcte Nederlandstalige term is slingeren, maar rollen wordt veel meer gebruikt. Het *verzetten* is het zijdelings verschuiven en het *schrikken* is het naar voor en naar achter verschuiven evenwijdig met het wateroppervlak.

4. Hoe stabiel is een schip?

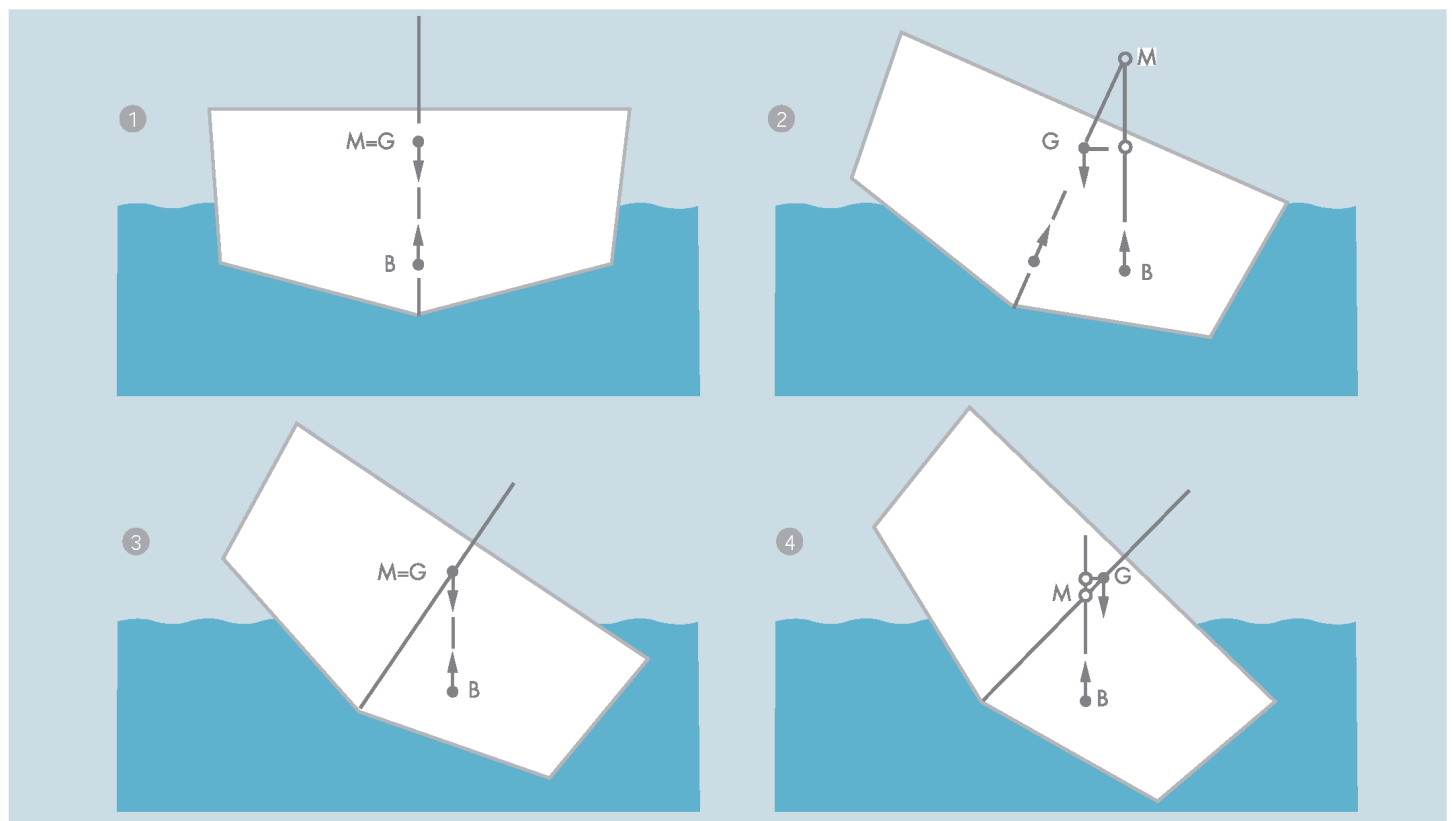
Het is voor een schip niet voldoende dat het blijft drijven. Het dient ook enige stabiliteit te bezitten om veilig te kunnen varen en om werken aan boord toe te laten. In de hierna volgende tekst en bijhorende figuur proberen we dit - hoe moeilijk ook - zo eenvoudig mogelijk uit te leggen. Twee ruimtelijke punten zijn hierbij zeer belangrijk. Het gewicht van het schip grijpt aan in het *zwaartepunt G* (zie figuur). De Archimedeskracht, de drijfkraft, grijpt aan in het *drukingspunt B*. Het *drukingspunt B* is het zwaartepunt van het door het schip ingenomen watervolume.

1 In rusttoestand liggen het zwaartepunt *G* en het drukingspunt *B* op een verticale in het midden van het schip (symmetrieas) en loodrecht met het wateroppervlak (*situatie 1*). Het schip ligt mooi rechtop.

2 Wanneer het schip naar één kant gaat overhellen (bv. naar rechts op figuur) verplaatst het drukingspunt *B* zich (*situatie 2*). Er ontstaat een hefboomsarm tussen de twee belangrijkste krachten, de neerwaarts gerichte zwaartekracht (met aangrijpingspunt *G*) en de opwaarts gerichte Archimedeskracht (met aangrijpingspunt *B*). Beide krachten zijn even groot. Door het verschijnen van een hefboomsarm ontstaat er een krachtenkoppel dat het schip tracht te draaien. Het snijpunt van de verticale door het drukingspunt en de symmetrieas van het schip noemt men het metacentrum *M*. De ligging van dit metacentrum bepaalt of het schip zal terugkeren naar haar oorspronkelijke evenwichtstoestand dan wel slagzij zal maken.

3 Zolang dit metacentrum *M* boven het zwaartepunt *G* ligt, vormen het gewicht van het schip en de Archimedeskracht een stabiliserend koppel dat het schip terug naar haar evenwichtspositie terugroept (rusttoestand).

4 Wanneer echter het metacentrum *M* onder het zwaartepunt *G* komt te liggen (bv. bij een schip dat bovenaan veel te zwaar en onderaan veel te licht beladen is) dan zal bij de minste rolbeweging het schip slagzij maken en omdraaien (kenteren) (*situatie 4*).



Schematische voorstelling van de punten en krachten die een rol spelen bij de stabiliteit van een schip.

Situatie 1: Het schip ligt in (stabiel) evenwicht.

Situatie 2: Het schip kantelt naar stuurboord waardoor het drukingspunt *B* zich naar rechts verplaatst. Gelukkig doet het krachtenkoppel zwaartekracht - Archimedeskracht de boot terugkeren naar haar evenwichtspositie (*situatie 1*). Het metacentrum *M* bevindt zich 'veilig' boven het zwaartepunt *G*.

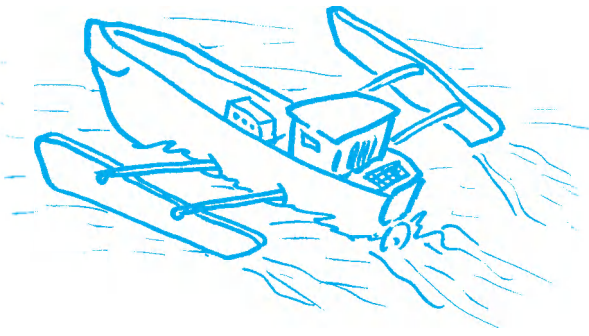
Situatie 3: Het schip ligt in (labiel) evenwicht, want zwaartepunt *G* en drukingspunt *B* liggen boven elkaar en over een hoek met de symmetrieas van het schip: de minste verstoring (naar links) zal het schip doen terugkeren naar het stabiel evenwicht of (bij beweging verder naar rechts) doen kenteren.

Situatie 4: Het metacentrum *M* bevindt zich nu onder het zwaartepunt *G*. De twee krachten, zwaartekracht en Archimedeskracht, doen het schip kenteren

VL

5. Hoe kan de stabiliteit van een schip worden verhoogd?

Opdat een schip stabiel zou zijn, dient men met enkele zaken rekening te houden. Hierop gebaseerd kan men een schip ook stabiel maken. Zo kan men de ligging van het zwaartepunt beïnvloeden. Onderaan, in het midden van een schip is veelal een kiel aanwezig. De kiel is een smal, langwerpig aanhangsel onder water. Deze kiel kan bijvoorbeeld gevuld zijn met lood zodat het zwaartepunt van het schip zich dieper onder het wateroppervlak bevindt en de stabiliteit wordt verhoogd. De belading van een schip speelt ook een grote rol bij de stabiliteit. Zware rollen staan beneden in het ruim



zijn bijvoorbeeld gunstig voor de stabiliteit. Maar door golfslag, strakke zijwind en/of bijvoorbeeld een vette vloer kan de lading gaan schuiven of rollen. Binnen enkele tellen verandert de ligging van het zwaartepunt, en dus de stabiliteit van het schip totaal.

Ook de vorm van de 'carene', het onderwatergedeelte van het schip, is van belang: bij schepen met een slanke vorm, zoals passagiers- en containerschepen, ligt het metacentrum veel hoger dan bij schepen met een volle vorm zoals tankers. Passagiersschepen steken tientallen meter boven het wateroppervlak uit, terwijl ze maar een diepgang van enkele meter hebben. Dit heeft als gevolg dat de lading bij slanke schepen veel hoger geplaatst kan worden.

Als de stabiliteit groot is spreekt men van een stijf schip. Het schip wil zo snel mogelijk terug naar rusttoestand komen en dit gebeurt met een rolbeweging die bruusk stopt eens terug in evenwicht (groot hefboomeffect). Als de stabiliteit klein is, zal er een lange rolbeweging zijn waarbij het schip zwaar gaat over-

hellen en dit van de ene zijde naar de andere zijde (klein hefboomeffect). Aan de hand van de rolperiode kan men de stabiliteit van het schip bepalen.

Een schip dat te veel rolt tijdens het varen is niet comfortabel voor de passagiers en kan bij ruwe zee gevaar inhouden wanneer de lading niet vastligt. De rolbeweging wordt veroorzaakt door wind bij zeilvaartuigen en golven bij zowel zeil- als motorvaartuigen. Om de rolbeweging tegen te gaan kunnen zogenaamde stabilisatoren worden gebruikt. Stabilisatoren zijn vinnen aan de zijkant van de romp van het schip die onder water kunnen worden uitgeklapt.

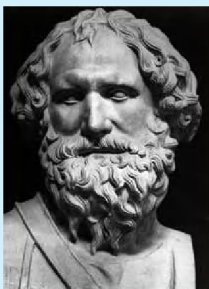
Deze stabilisatoren zijn vergelijkbaar met de vinnen van een zeehond, alleen zijn ze iets groter. Eenmaal uitgeklapt wordt de zijwaartse weerstand onder water vergroot. Het principe van de stabilisatoren bestaat uit het opwekken van een tegengestelde kracht welke het rollen van het schip tegengaat zodat de rolbeweging wordt gedempt. Dergelijke stabilisatievinnen werken enkel wanneer het schip vaart.

Vrije vloeistofoppervlakken (bv. ballastwater, brandstof,...) kunnen vrij bewegen in het ruim van het schip. Vloeistoffen kunnen bij onrustige zee beginnen klotzen in het ruim. Bij de geringste slagzij of bij het vaart minderen komt de vloeistof in beweging en verplaatst zich naar het diepste punt, eerst traag en daarna versneld. Het schip neigt daardoor steeds dieper naar één zijde of gaat naar voor of achter hellen, net zoals de remweg van tankwagens gevuld met vloeistof er wordt door beïnvloed. Zo kwam de Herald of Free Enterprise in 1986 op z'n zij te liggen doordat water binnenstroomde. Het schip kwam scheef te liggen en de lading, voornamelijk auto's en vrachtwagens die niet vastgeketend waren, begon te schuiven. Dit had een 'domino-effect' tot gevolg waardoor nog meer gewicht, en dus het zwaartepunt, zich naar de ene zijde van het schip verplaatste. Hierdoor kwam het zwaartepunt finaal boven het metacentrum te liggen, met een kapseizen van het schip tot gevolg.

De beweging van de vrije vloeistoffen kan sterk beperkt worden door het compartiment op te delen in kleinere delen middels het plaatsen van verticale schotten. Ook aan boord van olietankers speelt het probleem. Daarom worden de ladingtanks verdeeld door langsschotten, zodat de zijdelingse verplaatsing van de vloeibare lading beperkt blijft. Soms wordt er echter ook dankbaar gebruik gemaakt van de effecten van dynamische interactie: in antislingertanks, mits goed ontworpen en op de juiste locaties



Wet van Archimedes



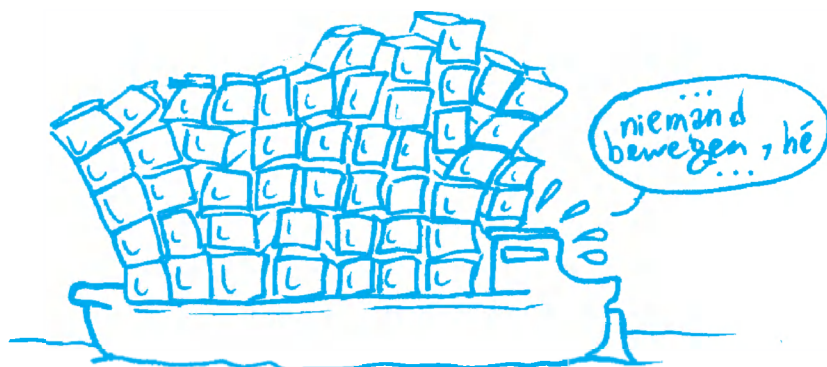
Koning Hiëro II (306-214 v. Chr.) van de Siciliaanse havenstad Syracuse twijfelde of zijn nieuwe kroon wel van puur goud was. Hij verdacht zijn goudsmid ervan met de kroon te hebben geknoeid en was ervan overtuigd dat de goudsmid het goud met zilver had vermengd om zo een deel van het goud in eigen zak te kunnen steken. Hij ontbood Archimedes, de grootste en beroemdste wis- en natuurkundige uit de Griekse Oudheid, en belastte hem met de opdracht dit te onderzoeken zonder de kroon te beschadigen. Archimedes piekerde over dit probleem en kreeg, toen hij een bad nam, een geniale inval. Laaiend enthousiast rende hij - naakt -

de straat op terwijl hij riep 'Eureka!' ('Ik heb het gevonden!'). Inderdaad, toen Archimedes in zijn bad stapte merkte hij dat het water in het bad steeg en het bad overliep. Door de kroon onder te dompelen in een vat gevuld met water kon hij het volume van de kroon bepalen uit de stijging van het water. De vergelijking van het gewicht van het zo bepaalde volume aan zuiver goud met het werkelijke gewicht van de kroon leverde hem het antwoord op de vraag van de koning. De goudsmid viel door de mand en de wet van Archimedes was een feit... De wet die dateert van de 3^{de} eeuw voor Christus zegt dat het gewicht van een lichaam dat ondergedompeld wordt in een vloeistof, verminderd wordt met het gewicht van de vloeistof dat door dat lichaam werd verplaatst. Of anders gezegd, elk ondergedompeld lichaam ondervindt een opwaartse stuwkracht die gelijk is aan de massa van de verplaatste vloeistof.

aanwezig in de romp, zorgt klotsende vloeistof voor een stabiliserende werking. Een antislingertank is een ruimte die over de volledige breedte van het schip doorloopt en gevuld is met een laagje water. Wanneer het schip slingert, beweegt ook het water in die tank, maar door de vertraging waarmee dit gebeurt wordt er juist voor een stabiliserende werking gezorgd, die ook bij een stilliggend schip blijft werken.

6. Waarom is een groot, log schip toch goed manoeuvreerbaar?

Dankzij de boegschroef, die vooraan in de boeg van het schip onder het wateroppervlak is aangebracht, kan een schip zeer goed manoeuvreren. Door water te stuwen naar bakboord of naar stuurboord kan het schip een zwaaibeweging maken. Vergelijk het gerust met



een 4x4 aandrijving bij een auto i.p.v. een gewone achterwielaandrijving. Het effect van de boegschroef wordt minder naarmate het schip sneller - voorwaarts of achterwaarts - vaart. Daarom wordt een boegschroef alleen gebruikt wanneer het schip zeer langzaam vaart. Het is dus een typisch hulpmiddel in havens, bij aan- of afmeren. Dit neemt niet weg dat schepen in havens vaak geassisteerd moeten worden door sleepboten. Ook niet alle schepen hebben een boegschroef: tankers en bulkcarriers zijn zodanig log en zwaar dat boegschroeven enorme vermogens zouden moeten hebben om het schip in beweging te krijgen.



7. Hoe werkt een ijsbreker?

Ijsbrekers zijn zware, goed manoeuvreerbare schepen, waarvan de schroef voldoende diep is aangebracht. De voorsteven is verhoogd, heeft een specifieke vorm en is verstevigd. Het ijs wordt gebroken door de zware voorsteven op het ijs te laten vallen. Om toe te laten dat de voorsteven boven het ijs zou uitsteken is een ijsbreker voorzien van ballastkamers voor- en achteraan het schip. Deze ballastkamers worden afwisselend gevuld met water en leeggemaakt waardoor het schip zichzelf een stampbeweging oplegt. Moderne ijsbrekers zijn schepen met verstevigde romp en voldoende vermogen. Ze breken het ijs door er gewoon doorheen te varen.

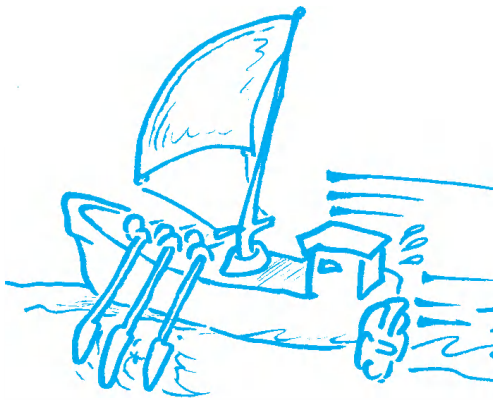


Ijsbrekers zijn zware, goed manoeuvreerbare schepen, waarvan de schroef voldoende diep is aangebracht. Moderne ijsbrekers zijn schepen met verstevigde romp en voldoende vermogen. Ze breken het ijs door er gewoon doorheen te varen

MD

8. Hoe wordt een schip aangedreven?

De zeilschepen van vroeger maakten gebruik van de wind. Door de juiste zeilen in een gunstige positie t.o.v. de wind te plaatsen kon men bijna overal naartoe varen. De galeischepen gebruikten menselijke kracht, slavenarbeid, om vooruit te komen. De stoomboot, ontworpen door Robert Fulton in 1807, werd aangedreven door een stoommachine. Door steenkool te verbranden verhitte men water tot stoom. Deze stoom leidde men vervolgens naar stoommachines die een schroef of schoepenrad aandreven. Het grote nadeel van dit systeem was de vervuiling door de verbranding van steenkool. De meest moderne methode voor het opwekken van stoom is de atoomkerncentrale. Schepen voorzien van een nucleaire centrale - die plutonium gebruikt als brandstof, zoals vliegdekschepen en onderzeeërs - zijn eigenlijk ook stoomschepen.



Er zijn nog een klein aantal stoomschepen in de vaart; deze worden niet meer aangedreven door stoommachines, maar door stoomturbines.

Het zijn bijna uitsluitend LNG-schepen: deze vervoeren vloeibaar aardgas

Tegenwoordig zijn de meeste schepen voorzien van dieselmotoren en motoren die werken op zware olie. Deze motoren drijven de schroeven aan waarmee het schip wordt voortgestuwd. Schroeven zijn te vergelijken met windmolens: wind stroomt rond de bladen van de schroeven en zet deze in beweging. Bij schepen is het net andersom: de schroef wordt aangedreven door een motor die de schroef in beweging zet. De bladen van de schroef zetten zich af tegen het water, waardoor er een voortwaartse kracht ontstaat, vergelijkbaar met wat een roeispaan teweegbrengt. Door die voortwaartse kracht wordt het water naar achter gedrukt wegens de wet van Newton ('actie' = reactie') en komt ook het schip in beweging.

Ook duikboten hebben dieselmotoren aan boord. Deze zijn in gebruik wanneer een duikboot zich aan het wateroppervlak bevindt en lucht kan binnennemen die noodzakelijk is voor de verbranding van dieselolie. Wanneer een duikboot naar de diepte duikt schakelt men de dieselmotoren uit en de elektromotoren aan. Batterijen in het ruim van het schip, te vergelijken met de accu van een auto, drijven deze elektromotoren aan. De batterijen worden opgeladen wanneer de dieselmotoren en de stroomgeneratoren draaien.

bij een zeer lage temperatuur. Tijdens de overtocht warmt de lading op, waardoor een fractie van het vloeibare gas verdampst. Dit gas (de "boil-off") wordt verbrand in een stoomgenerator en met de geproduceerde stoom drijft men een turbine aan.

9. Hoe snel vaart een schip?

Wanneer een schip vooruit wil varen moet het niet alleen zichzelf in beweging zetten, maar ook een grote watermassa rondom zich verplaatsen. Hierdoor vergroot de 'massa' van het schip aanzienlijk (in sommige gevallen wordt deze 'massa' zelfs verdubbeld!). Tijdens de vaart ondervindt het schip immers veel weerstand van het water. Het 'stilstaande' water rondom een schip wrijft over de romp van het schip en wordt aan de boeg (bij voortwaartse beweging) of aan de achterstevan (bij achterwaartse beweging) vooruit gestuwd. Door die wrijving en waterweerstand wordt het schip afgeremd. Naast deze wrijvingsweerstand ondervindt een schip ook golfweerstand: een varend schip veroorzaakt een golfpatroon dat met het schip meebeweegt. Om dit golfpatroon in stand te houden moet er continu een hoeveelheid energie overgedragen worden aan het water. Een onderzeeër ondervindt geen golfweerstand.



DV
Door de geschiedenis heen is de aandrijving van schepen geëvolueerd van pure mankracht, over windvangende zeilen en stoomaandrijving naar nucleaire voortstuwing en vooral dieselmotoren

De snelheid van een schip is beperkt door het geïnstalleerd vermogen en de vorm van het schip. Er bestaat steeds een optimaal vermogen voor een bepaalde scheepsvorm en voor bepaalde scheepsafmetingen. D.w.z. dat indien een nog groter vermogen zou worden geïnstalleerd, de snelheid van het schip praktisch niet meer verder toeneemt, omdat de wrijvingsweerstand en vooral de golfweerstand veel te groot worden. Hieruit volgt dat voor elk type schip een limietsnelheid bestaat die niet kan overschreden worden. Overigens is het oneconomisch om aan deze limietsnelheid te varen gezien het grote brandstofverbruik. Een meer economische snelheid wordt gehaald aan ongeveer 75% van deze limietsnelheid. Op zee bedraagt de snelheid van een containerschip ongeveer 20 à 25 knopen. Tragere schepen varen met een snelheid van 10 à 14 knopen. Wanneer schepen havens naderen of op rivieren varen, dient om veiligheidsredenen trager te worden gevaren.

De snelheid wordt dan aangepast naar gelang de grootte van de vaargeul en de aanwezige scheepstrafiek. Het snelheidsrecord op water staat op naam van Kenneth Warby, die in 1978 met zijn speedboot 'Spirit of Australia' de record-snelheid van 141,98 m/s of 511 km/u liet registreren (<http://www.kenwarby.com/introduction.htm>)!



Met een dergelijke speedboot vestigde Kenneth Warby in 1978 de tot nu toe hoogst geregistreerde snelheid op water: 511 km/u! (<http://www.kenwarby.com/introduction.htm>)

De knoop is de eenheid waarin de snelheid van een schip wordt uitgedrukt: 1 knoop is 1 zeemijl/uur of ongeveer een halve meter per seconde want één zeemijl is gelijk aan 1852 m = 1 gemiddelde meridiaanminuut.

Ter verduidelijking:

De omtrek (meridiaan) van de aarde is 40.000 km (21.600 zeemijl). Een cirkel bestaat uit 360 graden. Eén graad (1°) is dus een 360^{ste} deel van die 40.000 km, d.i. ca 111 km (60 zeemijl). Een graad bestaat uit 60 minuten. Eén meridiaanminuut (1') is dus een 60^{ste} deel van een graad, d.i. 111 km/60 = 1852 meter (1 zeemijl).

10. Hoe remt een schip?

Een schipper kan de vaart van zijn schip op twee manieren afremmen. De gebruikelijke manier is om de schroeven in 'achteruit-stand' te plaatsen waardoor water van achter naar voor gestuwd wordt en door snelheid 'achteruit' op te bouwen. Zo wordt de vaart vooruit gecompenseerd totdat het schip stil ligt. Een tweede manier is het uitzetten van ankers die over de bodem schrapen en zo een weerstand opbouwen totdat het schip gestopt wordt. Dit laatste manoeuvre wordt ook wel een 'noodmanoeuvre' genoemd vermits - zeker vanaf een bepaalde vaarsnelheid - schade aan de ankers, ankerkettingen en zelfs de scheepsconstructie kan ontstaan. Ook vanuit ecologisch oogpunt is dit geen graag gezien manoeuvre omdat de

zeebodem door een anker wordt opengeploegd. Op die manier kan er veel schade aangericht worden aan onderzeese fauna. Om af te remmen bij het naderen van havens en aanlegplaatsen helpen sleepboten vaak een handje.



11. Kan een modern schip nog stuurloos geraken?

Wanneer vroeger het roer uit de pennen schoot of een mast afbrak, was een zeilschip volkomen stuurloos en viel het ten prooi aan de golven en de weers elementen. Een modern schip kan ook stuurloos geraken wanneer het roer afbreekt en/of de voortstuwing uitvalt door motorpech. Dit is bij zware zeegang een uiterst gevaarlijke situatie omdat een schip altijd de neiging heeft om evenwijdig aan de golfkammen te gaan liggen waardoor het gevaarlijk kan beginnen rollen.

Deze tekst kwam tot stand in samenwerking met prof. Marc Vantorre, hoogleraar aan de Universiteit Gent, Laboratorium voor Mechanische Productie en Constructie, Maritieme Technologie en verbonden aan het Waterbouwkundig Laboratorium van Borgerhout, Nautisch Onderzoek en prof. kap. Marc Dauwe, hoogleraar aan de Hogere Zeevaartschool te Antwerpen. Hun medewerking wordt ten zeerste geapprecieerd!

Björn Van de Walle

