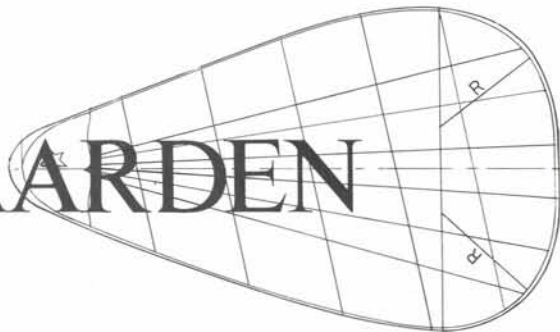


Het ontwerpen van ZWAARDEN



Over het maken van zwaarden bestaan erg veel meningsverschillen. In dit artikel worden een aantal zaken aan de orde gesteld zoals de vorm, afmeting, materialen, constructie en hydrodynamische achtergronden, die van belang zijn bij het ontwerpen van zwaarden.

Vorm

Wat de vorm van zwaarden betreft zouden we een onderverdeling kunnen maken in twee typen, te weten: 1. zeezwaarden en 2. zwaarden voor schepen die hoofdzakelijk op binnenwateren varen.

Het eerstgenoemde zwaard is langgerekt van vorm. Deze zwaarden werden hoofdzakelijk toegepast op schepen die op groter water voeren. De lengte van deze zwaarden is aanzienlijk groter dan die van de onder punt twee genoemde, terwijl de hoogte meestal in verhouding tot de lengte zeer klein was. Deze zwaarden werden hoofdzakelijk toegepast op vissersschepen. Het onder punt twee genoemde zwaard is qua oppervlak groter dan de zeezwaarden. De hoogte is aanzienlijk, terwijl de lengte kleiner is. De vorm van de zwaarden werd meestal bepaald door het vaargebied van het betreffende schip. Een schip dat uitsluitend op de binnenwateren vaart, heeft meer baat bij een wat korter en breder zwaard, in verband met de diepte van het vaarwater. Een sprekend voorbeeld van zo'n zwaard vinden we op de tjalken en skûtsjes.

Afmetingen

Wat de afmetingen van zwaarden betreft wil ik me beperken tot tjalkenzwaarden. Over dit onderwerp heeft onder anderen P. J. V. M. Sopers in „Schepen die verdwijnen” het een en ander geschreven. Als lengtemaat voor tjalkenzwaarden geeft Sopers 2 x de holte van het schip, terwijl hij als hoogtemaat 1 x de holte aanhoudt (holte = diepgang + vrijboord). Tegenwoordig past men echter meestal andere regels toe. Men is tot de ontdekking gekomen dat een schip met grotere zwaarden aanzienlijk beter vaart. Als lengtemaat voor het zwaard wordt nu meestal de scheepsbreedte aangehouden, als hoogtemaat kan men de scheepsholte aanhouden.

Materialen

Men begint bij het maken van een zwaard met het uitzoeken van het juiste hout. Het was te doen gebruikelijk om platbodenzwaarden van Slavonisch eiken te maken. Deze houtsoort is echter zeer duur en ook vrijwel niet meer te verkrijgen. Tegenwoordig worden de meeste zwaarden van Frans eiken gemaakt. Omdat ook Frans eiken zeer duur is, gebruikt men ook

wel grenehout of iroep. Voor het bewerken, drogen en uitwateren van hout wil ik verwijzen naar het artikel van Floris Hin in Spiegel der Zeilvaart 3de jrg. nr. 1. Nog een aardige tip: zoek eens een aannemer op in remmingwerken. Bij de sloop van oude remmingwerken komt het geregeld voor dat er, op het eerste gezicht verrotte, eiken palen getrokken worden, die echter alleen op water en wind verrot zijn. De stukken die onder water zitten zijn heel vaak nog klokgaaf. Dit hout is uitstekend geschikt om zwaarden van te maken, omdat dit hout zeer goed is uitgewaterd. Wel moet men zeer zorgvuldig drogen, als het hout gezaagd is. Dit droogproces duurt minimaal een half jaar tot een jaar, wat wel een nadeel kan zijn, als men het hout direct nodig heeft. Het is ook aan te bevelen om eens op sloperijen te gaan kijken naar hout, iets wat onder anderen Hans Bos in zijn artikel „zwaarden uit een houten brugdek” in Spiegel der Zeilvaart 2de jrg. nr. 3 al eens heeft aangesneden.

Constructie

Ieder zwaard is opgebouwd uit een aantal houten delen. Om deze delen onderling een goed verband te geven gebruikt men een systeem dat in de meubelmakerij een pen-gat verbinding heet. In de kopse kant van ieder deel worden gaten geboord, waar grote pennen, ook wel doken genoemd, in geslagen worden. De pennen zitten dan voor de ene helft in het ene houten deel, en voor de andere helft in het andere houten deel. Bij tjalkzwaarden plaatst men deze pennen meestal om de 40 cm. Het is wel noodzakelijk alle gaten met zeer grote nauwkeurigheid te boren, omdat anders bij de montage de gaten niet recht boven elkaar komen te zitten. Teken altijd als u zwaarden maakt van te voren een schets, waarop de plaats van de pennen nauwkeurig aangegeven staat. Bij eventuele reparaties, kunt u dan naderhand gemakkelijk de plaats van de pennen terugvinden.

We kunnen vier verschillende constructiemethoden onderscheiden, te weten een constructie met

1. stalen pennen
2. bronzen pennen
3. roestvrijstalen pennen
4. roestvrijstalen draadeinden

ad. 1. Deze constructie dateert van oudsher. Het voordeel van

FIG. 1

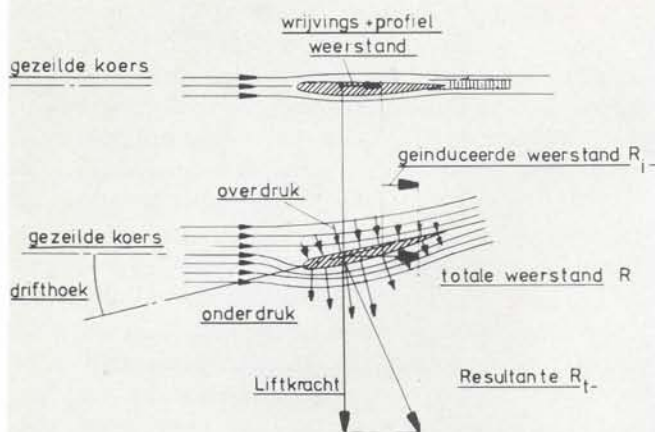
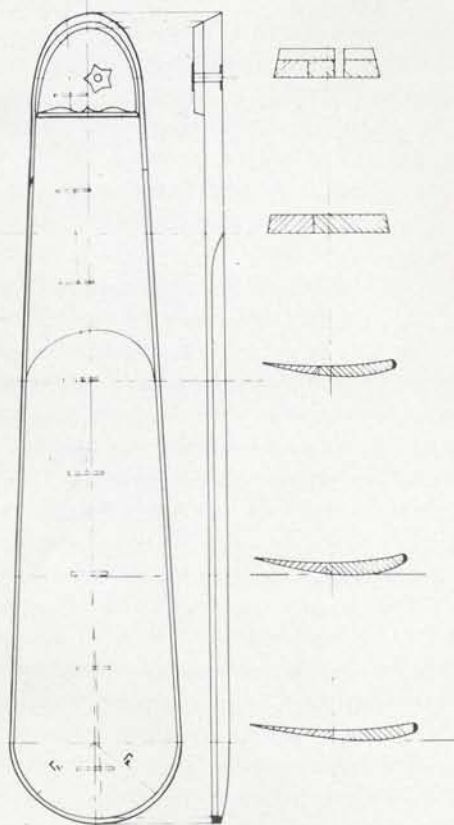


FIG. 2

zeezwaard



deze methode is dat de pen vastroest in het hout waardoor een zeer hechte verbinding ontstaat. Dit vastroesten heeft echter ook een groot nadeel. Het hout rondom de pennen gaat nl. verrotten, wat zichtbaar wordt in zwarte plekken. Vroeger werden zwaarden uitsluitend gemaakt met stalen pennen (dus geen lijm).

ad. 2/3. Het gebruik van messing of roestvrij stalen pennen is tegenwoordig, indien tevens tweecomponentenlijm als verbindingsmiddel wordt gebruikt, sterk aan te bevelen. De constructie doet qua sterkte niet onder voor de onder punt 1. genoemde en heeft een veel langere levensduur.

ad. 4. Deze constructiemethode is zover ik weet nog niet eerder toegepast, doch mijns inziens zeer effectief. Men gebruikt in plaats van de vele pennen een aantal roestvrij stalen draadeinden, die in breedterichting, dus van boven naar beneden door het zwaard lopen. Men boort in ieder deel afzonderlijk op de juiste plaats en onder de juiste hoek zeer nauwkeurig een gat. Vervolgens lijmt men de houten delen met tweecomponentenlijm met de kopse kanten op elkaar. De gaten die nu in de delen zitten moeten recht boven elkaar uitkomen. Is dit niet het geval haal dan een „ruimer” (= langeboor) door de gaten heen, en sla het van te voren met lijm ingesmeerde draadeind door de gaten heen. Boor aan de einden waar het draadeind uit het hout komt een groter gat, om daarin een moer plus ring te kunnen verzinken. Naderhand dopt men deze gaten met houten doppen af. Hierover heen komt het zwaardbeslag, waardoor er niets meer zichtbaar blijft van de draadeinden, moeren en ringen.

Hydrodynamische aspecten

In de loop der tijd is er al heel wat geëxperimenteerd met de vorm van onze zwaarden. Volgens de één moest een zwaard zó zijn dat je er een emmer water in leeg kon gieten wanneer je het zwaard plat neerlegde, terwijl volgens een ander dit juist niet het geval moest zijn. Iedereen heeft zijn eigen theorieën over de optimale vorm van een zwaard, die echter vrijwel alleen op praktijkervaring gebaseerd zijn. De afgelopen drie maanden ben ik in Oakville, Canada, werkzaam geweest op het bekende jachtontwerpbureau van C en C Yachts, waar ik me eens wat meer verdiept heb in stromingsleer en hydrodynamica. Iedereen heeft wel eens gehoord dat een geprofileerde zwaardvorm beter is dan gewoon een rechte plank als zwaard, omdat zo'n profielvorm de eigenschap bezit een zogenaamde liftkracht op te kunnen wekken. Naast het feit dat betere liftcapaciteiten worden verkregen is ook de weerstand van een geprofileerde vorm minder. Het zou te ver gaan dit hier door middel van grafieken aan te tonen, doch geïnteresseerde lezers onder u zouden dit kunnen naslaan in „Sailing Theory and Practice” door L. A. Marchaj.

Alvorens ik opnieuw onderscheid ga maken tussen zeezwaarden en tjalkzwaarden, wil ik het een en ander vertellen over de achtergronden van het ontstaan van de hierboven genoemde liftkracht.

Het effect is het beste uit te leggen met behulp van figuur 1. Het water komt onder een hoek α , de drifthoek, in op het

FIG 3

NACA 2410 sectie

toe te passen bij tjalkenwaarden

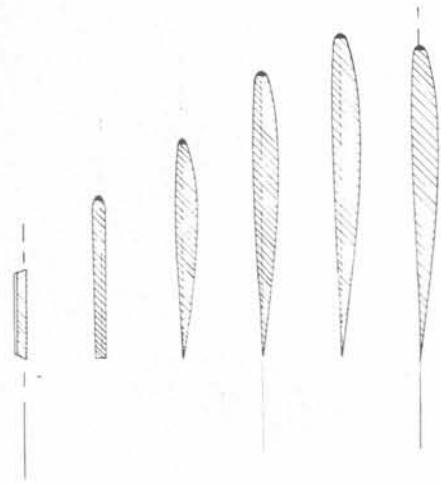
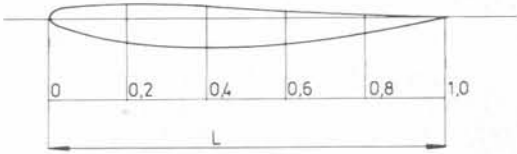


FIG 4

tjalkenwaard

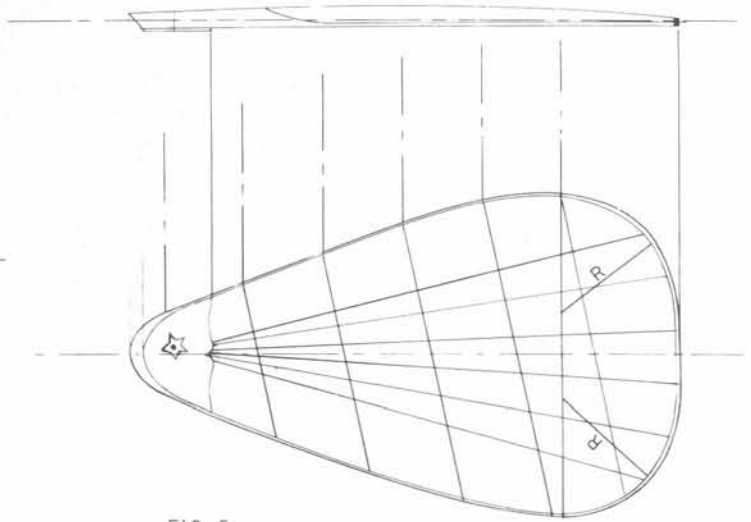
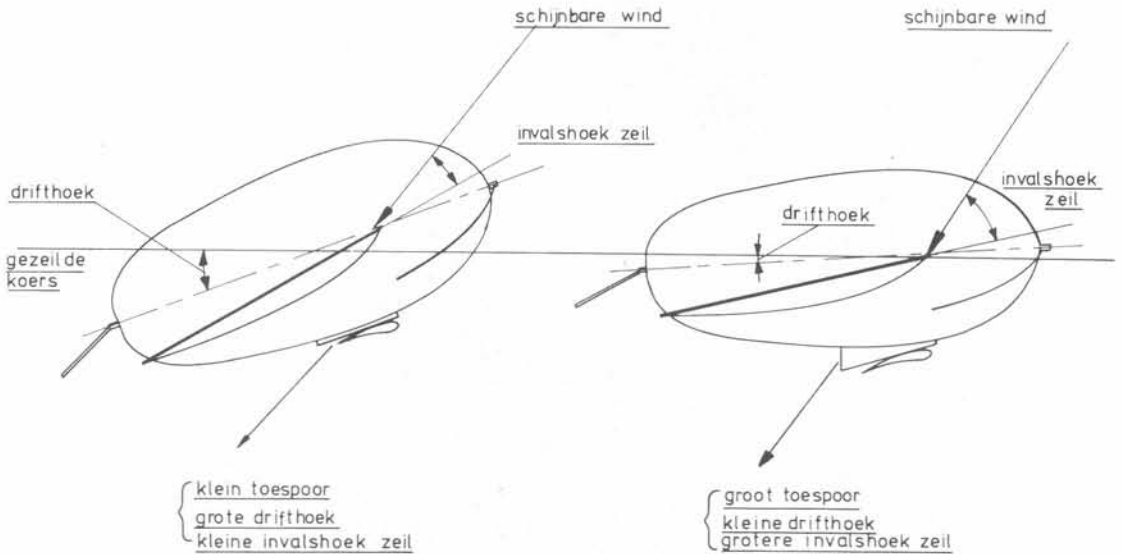


FIG 5



zwaard en ondergaat aan de lijzijde van het zwaard nu een stroomversnelling. Met de in de stromingsleer bekende „Wet van Bernouilli” is aan te tonen dat ten gevolge van deze stroomversnelling de druk aan de lijzijde van het zwaard afneemt waardoor er ter plekke een onderdruk ontstaat. Aan de loefzijde ontstaat ten gevolge van de lagere snelheid een relatieve overdruk. Deze over- en onderdruk tezamen wekken de zogenaamde liftkracht L op, die tezamen met de weerstand R de hydrodynamische resultante R_t geeft. Het is niet moeilijk in te zien dat als R kleiner wordt en L groter, wat bij een geprofileerd zwaard het geval is, de resultante R_t meer in de voortstuwende richting zal gaan werken, hetgeen de zeileigenschappen aanzienlijk zal verbeteren.

Zoals eerder beschreven hebben tjalkzwaarden en zeezwaarden een nogal verschillende vorm, waardoor de hydrodynamische aspecten van beide nogal verschillen.

1. Zeezwaarden. Deze hebben meestal een vorm zoals weergegeven in fig. 2. Dit lange, smalle zwaard is zeer effectief, wat ook bleek uit testen die gedaan zijn in het laboratorium voor scheepsbouwkunde aan de Technische Hogeschool in Delft met een Vollenhovense bol (2.) Uit deze testen bleek onder andere dat hoe slanker het zwaard, dus hoe groter de aspectverhouding, hoe groter de dwarskracht van de m^2 oppervlakken. Natuurlijk is de geleverde dwarskracht van een zwaard met dezelfde lengte maar met een twee maal zo grote breedte wel groter, maar niet twee maal zo groot. Ook bleek dat het zwaard het grootste gedeelte van de totale dwarskrachtproductie voor zijn rekening neemt, terwijl de romp zelf hiertoe nauwelijks bijdraagt.

In een vorig artikel van mijn hand in Spiegel der Zeilvaart over het ontwerpen van een tuigplan heb ik het een en ander gezegd over het zeilpunt en lateraalpunt van een zeilend schip. De laatste jaren is het begrip lateraalpunt nogal verouderd, maar het is echter wel iets dat een goed zeiler mijns inziens moet weten. Men gaat tegenwoordig steeds meer over op het vergelijken van het zogenaamde liftpunt met het zeilpunt. Dat dit niet verwonderlijk is, blijkt wel uit de ontdekking dat de romp als dwarskrachtleverancier niet erg effectief is maar dat bijna alle dwarskracht door het zwaard geproduceerd wordt. Het is dan ook realistischer om het zeilpunt met het liftpunt te vergelijken. (liftpunt = plaats op het zwaard waar de liftkracht theoretisch bekeken aangrijpt). Voor het bepalen van dit punt bestaan een aantal formules. Indien er belangstelling voor is, zou ik eventueel in een volgend artikel op deze hele theorie nog wat dieper kunnen ingaan (reacties op deze opmerking zou ik erg op prijs stellen).

2. Bij tjalkzwaarden is het heel moeilijk om de profielvorm toe te passen die men bij zeezwaarden gebruikt, dit vooral door de grote hoogte die het zwaard heeft. Men hoort wel eens zeggen dat een tjalk ook beter zeezwaarden zou kunnen hebben. Deze uitspraak is mijns inziens onjuist. Het is inderdaad waar dat een zeezwaard per m^2 oppervlak gezien effectiever is, maar een groter zwaard levert beslist ook een grotere liftkracht. Bij een schip als een tjalk, waarbij drifthoeken van 10-15° geen uitzondering zijn, is het mijns inziens dan ook noodzakelijk om grote zwaarden te hebben. Hoe groter hoe beter!

Bij het uitzoeken van een goede profielvorm voor een tjalk-

zwaard bleek mij dat de NACA 2410 sectie de optimale eigenschappen bezit (zie figuur 3). (De nummering NACA 2410 is afkomstig uit de vliegtuigbouwwereld). Met behulp van een aantal tabellen is eenvoudig de dikteverdeling van het profiel te bepalen. Dit profiel heeft bij een drifthoek van 10° optimale lift en weerstandeigenschappen. Daarnaast heeft deze vorm het voordeel dat het aan de lijzijde vlak is, waardoor een leek zo'n zwaard niet zou kunnen onderscheiden van een normaal tjalkzwaard. Al deze vormen zijn erg fraai, maar hoe krijgen we nu deze vorm goed in het zwaard. Op de constructietekening (figuur 4) zijn 6 waterlijnen getekend. Hou deze waterlijnen bij het maken van het zwaard ook aan. Wanneer nu de vormen van de profielen op de verschillende waterlijnen berekend zijn, maakt men van alle waterlijnen aan loef en lijzijde mallen. Neem bijvoorbeeld een aluminium (2-3 mm) plaat en zaag met een decoupeerzaag de goede vorm in de plaat. Begin bij één waterlijn nu met schaven (dwars op de draad van het hout) en schaaft net zo lang tot de gemaakte mal zuigend over het zwaard heenpast. Doe nu hetzelfde met de andere waterlijnen en schaaft, nadat alle waterlijnen correct zijn, de stukken tussen de waterlijnen op gelijke hoogte van de waterlijnen. Het resultaat is een goede benadering van de gewenste vorm. Alleen op deze manier krijgt men de goede vorm in het zwaard. Op het oog een beetje disselen geeft nooit een goed resultaat. Bij het gebruik van deze profielvormen voor zwaarden is het ook aan te bevelen enige aandacht aan het zwaardbeslag te schenken. De vorm van dit beslag wordt u duidelijk op figuur 4, waar onder andere ook doorsneden op staan van het zwaardbeslag op verschillende plaatsen. De voorzijde van het zwaard heeft zijn optimale vorm wanneer het halfrond is. De achterzijde is optimaal wanneer het beslag driehoekig puntig wordt gemaakt, terwijl de onderkant van het zwaardbeslag het beste vierkant gehouden kan worden.

Tot slot wil ik nog iets zeggen over „toespoor” van zwaarden. Bij platbodems kunt u zien dat de zwaarden niet evenwijdig aan de lijn over de stevens van het schip lopen, maar dat de strijklaten taps gemaakt zijn (zie figuur 5). Theoretisch gezien verkleint deze toespoor (die varieert van 2-5°) de drifthoek, waardoor de invalshoek van de wind in het zeil gunstiger wordt, wat tot gevolg heeft dat men bij dezelfde koers de zeilen beter kan benutten. Bij kleine schepen gaat deze theorie zeer goed op. Bij proeven die ik gedaan heb met een skûtsje bleek echter dat zo'n toespoor totaal niet werkt. De drifthoek op zich werd wel kleiner, maar de snelheid werd aanzienlijk minder. Met een kaarsrechte strijklat voer het schip aanzienlijk beter. Bij bijvoorbeeld schouwen, botters, bollen en aken is zo'n toespoor wel aan te bevelen, wat ook blijkt uit het onder referentie (2) genoemde rapport.

Literatuurlijst

1. *Schepen die verdwijnen* door P. J. V. M. Sopers
2. Rapport no. 387. Laboratorium voor scheepsbouwkunde, Technische Hogeschool Delft: *Zeilprestaties van een Vollenhovense bol; Hydrodynamische eigenschappen van zeezwaarden.*
3. Rapport no. 260, T. H. Delft: *Lift en weerstand van draagvlakken met kleine slankheid* door prof. ir. J. Gerritsma.
4. *Sailing Theory and Practice*, door C. A. Marchaj. Dodd, Head & Company, New York, 1964
5. *Theory of Wing Sections* door I. A. H. Abbott en A. E. van Doenhoff. Dover Publications, Inc., New York, 1959.