

TEKST EN ILLUSTRATIES:
IR. H. VREEDENBURGH
FOTO'S: THEO KAMPA

In deze laatste aflevering van een serie artikelen over zijzwaarden komen het ontwerp en mogelijke verbeteringen aan zwaarden aan bod.

Uiteraard zijn we geïnteresseerd in uw eigen ervaringen met zwaarden.

Schroomt u niet om uw praktijkervaring op papier te zetten.

Ontwerp van het zwaard

De gang van het zwaardontwerp kan wellicht het beste gedemonstreerd worden aan de hand van een voorbeeld. Daarvoor kies ik een Vollelhovense schuif of schokker met een Lwl van 8,22 m, in aanbouw in Christchurch, Nieuw-Zeeland (zie SdZ 1991, nr. 3).

Om te beginnen moet de Lok, de lengte onder de klamp, worden aangenomen. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het vaargebied, want een diep gestoken zwaard bereikt een diepgang gelijk aan de Lok.

Daar het schip bestemd is om op zee te varen speelt de diepgang hier geen rol. Daarom ronden we de waarde volgens fig. 3a, naar boven af tot 2,45 m. Voor het oppervlak baseren we ons op fig. 3b (zie SdZ 1991, nr. 3 pag. 12). Dit geeft 1,40 m².

Vervolgens zou een ontwerpliftcoëfficiënt Clo aangenomen moeten worden die afhangt van de maximum liftcoëfficiënt, die weer afhangt van de plankdikte, die op zijn beurt weer afhangt van de sterkteberekening. Omdat dus alles met alles in verband staat, is een rechttoe-rechtaan-berekening niet mogelijk, maar moet er geïtereerd worden, hetgeen veel tijd kost.

Ik heb daarom een computerprogramma geschreven dat dit karwei kan overnemen en dat de onderlinge verbanden in rekening brengt die in het voorgaande zijn gevonden. Daardoor kan ermee worden volstaan de lengte op de waterlijn, het zwaardoppervlak en de lengte onder de klamp in te voeren. De dikte van de

plank wordt berekend volgens de hiervoor afgeleide formule; daarna wordt gevraagd of men een grotere dikte wenst. Ook voor andere zaken, zoals de hoogte van het ophangpunt boven de strijklamp, de dikte van de achterkant van het zwaard, de dia-

Ontwerp en verbetering

materiaal voor het beslag. Bij de berekening van de liftcurve slope en de weerstand wordt er echter wel rekening mee gehouden, uitgaande van een dikte van de achterkant van 6 mm.

Het programma definieert evenmin

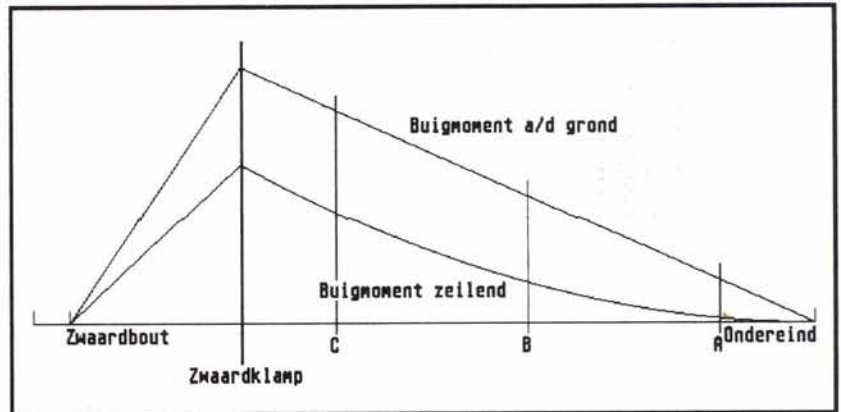


Fig. 11 VERLOOP VAN HET BUIGMOMENT IN HET ZWAARD

meter van het zwaardval en de pijlhoek worden standaardwaarden voorgesteld, die men desgewenst kan wijzigen.

Het programma genereert vervolgens de hoofdmaten en verhoudingen van het zwaard, het gestileerde zijaanzicht met verdere gegevens en een grafiek van de weerstandswaarden conform fig. 9. Voorts tekeningen van de drie doorsneden A, B en C op 1/6, 1/2 en 5/6 van de lengte onder de klamp, die reeds getoond zijn in fig. 8 (zie SdZ 1991 nr. 4 pag. 34, 35). De maten van deze profielen worden bovendien in tabelvorm gegeven en daarmee ligt ook de omtrek in hoofdzaak vast. Ook wordt een lijst afgedrukt van aangenomen waarden. Deze maakt het de gebruiker van het programma gemakkelijk naar eigen inzicht te onderzoeken welke de invloed is van de diverse parameters. Eén en ander is nog gedeeltelijk geïllustreerd in fig. 12.

De diktematen worden gegeven voor de „theoretische” profielen. Het bijstroken hangt nl. af van persoonlijke voorkeur en ook van het beschikbare

het bovineinde van het zwaard. Gedeeltelijk hangt dit af van zaken die niets met de zwaardwerking te maken hebben en ook spelen hier de persoonlijke voorkeur en bepaalde tradities een rol.

De vraag is natuurlijk of het volgens fig. 3b aangenomen oppervlak het optimale is. Zoals reeds vermeld, geldt steeds de formule:

$$\text{Dwarskracht} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_s^2 \cdot C_{lo} \cdot \text{Oppervlak (3)}$$

De benodigde dwarskracht is echter een functie van het zeiloppervlak, de schijnbare windsnelheid en de lift- en weerstandscoëfficiënten van het tuig. Die coëfficiënten hangen weer af van de invalshoek van de wind en de aspectverhouding van het tuig; de schijnbare windsnelheid hangt af van de werkelijke windsnelheid en de scheepssnelheid, enz. Ook is de maximaal toe te laten dwarskracht begrensd door het quotiënt van het stabiliteitsmoment van het schip en de hoogte van het zeilpunt boven het lateraalpunt bij de grootste helling die

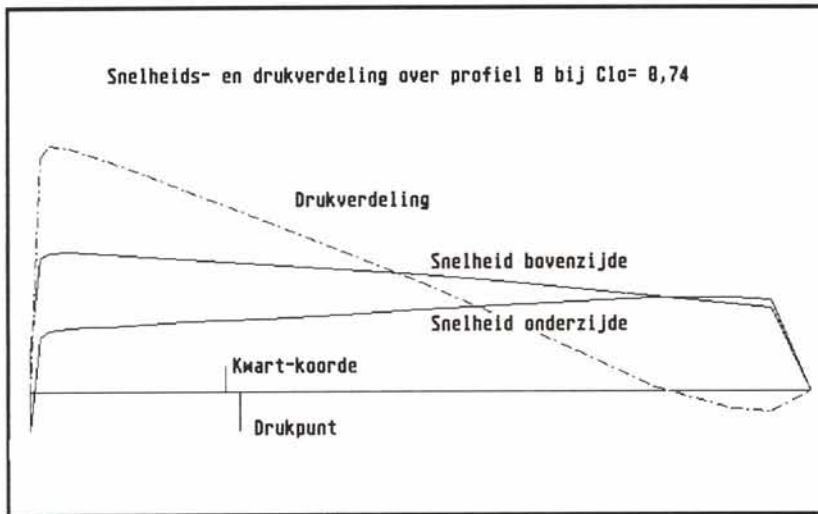
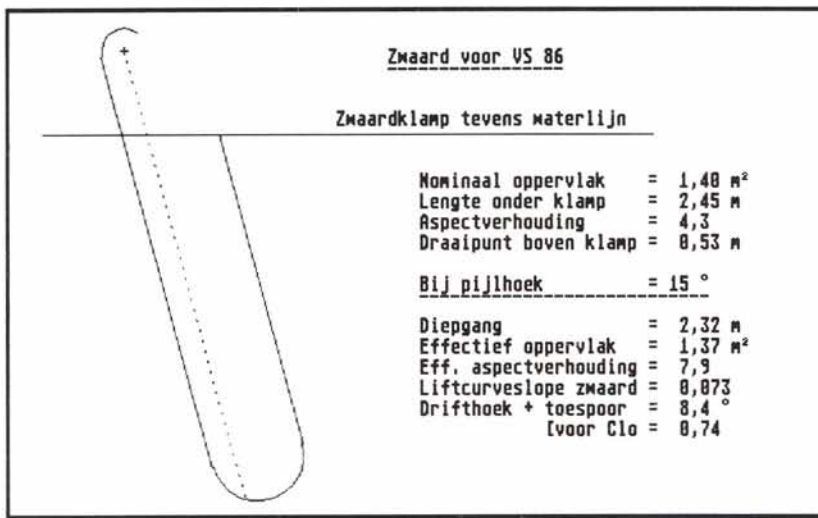


Fig. 12. ENKELE RESULTATEN VAN EEN ZWAARDBEREKENING

men bij het zeilen wenst toe te laten. Dit alles is slechts in rekening te brengen bij een volledige snelheidsberekening en vooropgesteld dat de benodigde gegevens van romp en tuig bekend zijn. Het zwaardprogramma kan alleen maar uitgaan van de gemiddelde waarden. Wel is de mogelijkheid voorzien om het produkt van oppervlak en ontwerpliftcoëfficiënt groter of kleiner te maken dan overeenkomt met het gemiddelde voor het gegeven schip door een „zwaardfactor” groter of kleiner dan 1 te kiezen.

Voor wie overweegt nieuwe zwaarden voor een bestaand schip te laten maken is er een andere mogelijkheid, mits men over een redelijk betrouwbare log en een clinometer beschikt. Dan kan men een flink aantal malen de snelheid hoog aan-de-wind meten en daarbij gelijktijdig de helling vastleggen. Vooropgesteld dat er van het schip een stabiliteitskromme bestaat

die toelaat uit de helling de dwarskracht af te leiden, is op die manier nauwkeurig te bepalen hoe groot het produkt van zwaardoppervlak en Clo moet zijn.

16. VERBETERINGEN AAN ZWAARDEN

Het is wel duidelijk dat de oude scheepsbouwers rond de Zuiderzee wisten hoe zij goede zwaarden moesten maken. Maar toch toont de grote variatie in verhoudingen in tabel I wel aan dat de kans groot is dat niet alle zwaarden optimaal aan het schip waren aangepast. Ook moeten we bedenken dat „goed” in dit verband wil zeggen: goed voor de visserij en rekening houdend met de kostprijs.

Voor jachten liggen de prioriteiten meestal anders. Een wedstrijdvaart zal veel belang hechten aan snelheid hoog aan-de-wind en daar ook meer geld voor over hebben dan de vissers. De afwerking zal veelal meer verfijnd

zijn met een lagere weerstand als gevolg, met name als het beslag aan de intredekant glad in de profielvorm wordt ingewerkt, zonder een voelbare overgang. Voor vissers was dat te duur en werd er een halfduims vierkantijzer voor gebruikt. Ook het zwaardval speelt hier een grote rol: Jachten hebben doorgaans zwaardvallen van dun staaldraad, terwijl vissersschepen zwaardvallen van touw hadden, die een veel grotere weerstand hebben. En een geringere weerstand betekent een grotere snelheid.

Om de gewenste liftcoëfficiënt te bereiken moet het zwaard een bepaalde invalshoek hebben. Die invalshoek wordt gevormd door de som van het toespoor en de drifthoek en bedraagt voor zwaarden van het bottertype ongeveer 8° bij normale belasting. Sommigen zijn van mening dat het toespoor 4° moet bedragen, hetgeen betekent dat het schip zou varen met een drifthoek van eveneens 4°, althans bij de veronderstelde dwarskracht. Het is echter opvallend dat zoveel schepen, ook vissersschepen, een kleiner toespoor hebben, tot 0° toe, hetgeen betekent dat de drifthoek evenveel groter wordt. De drifthoek beïnvloedt de invalshoek van de wind in de zeilen en het lijkt aannemelijk dat het optimum daarvan weer samenhangt met de vorm van het tuig. Het gelijk van de één betekent dus niet noodzakelijk het ongelijk van de ander, maar het is toch waarschijnlijk dat veel jachten niet het optimale toespoor hebben. Dit is zeker iets waarover nader onderzoek gewenst is.

17. INVLOED VAN DE DIEPGANG VAN HET ZWAARD

Op tal van wateren waar platbodems gewoonlijk zeilen, zoals op het IJsselmeer is de waterdiepte beperkt en zal een diep gestoken lang zwaard op veel plaatsen de grond kunnen raken. Foto's van grote schepen laten dan ook zien dat vaak gevaren wordt met een pijlhoek van 45° of meer om zo de diepgang van het zwaard te verkleinen.

De diepgang kan echter ook worden verkleind door de zwaarden korter en daarbij breder te maken. Zij kunnen dan wel diep gestoken worden. Het is interessant na te gaan wat de mogelijke invloed op de scheepssnelheid

TABEL 3. INVLOED VAN DE PIJLHOEK.

Lengte waterlijn 8,22 m		Lengte onder klamp 2,45 m					
Zwaardoppervlak 1,40 m ²		Plankdikte 60 mm					
Pijl- hoek	Dpg m	Eff.opvl m ²	Clo	Clo· Opvl	Romp- aand.	Inv. hoek	W/D
15°	2,32	1,37	0,71	0,968	17%	8,4°	6,1%
20°	2,24	1,35	0,69	0,928	21%	8,8°	6,4%
25°	2,14	1,33	0,67	0,882	25%	9,3°	6,4%
30°	2,02	1,30	0,64	0,827	31%	10,0°	6,7%
35°	1,88	1,27	0,62	0,793	34%	10,8°	7,1%
40°	1,73	1,23	0,62	0,769	37%	12,6°	7,7%
45°	1,56	1,18	0,62	0,739	40%	15,2°	8,4%
50°	1,38	1,12	0,62	0,701	43%	19,0°	9,5%

Dpg Diepgang van het zwaard als de zwaardklamp te water komt.
 Eff.opvl. Zwaardoppervlak onder zwaardklamp.
 Clo 80% van de max. liftcoëfficiënt bij de genoemde pijlhoek.
 Rompaand. Percentage van de dwarskracht dat de romp zou moeten leveren om steeds dezelfde totale dwarskracht te bereiken. (Aangenomen is dat dit 17% bedraagt bij pijlhoek 15°)
 Inv.hoek Som van toespoor en drifthoek bij genoemde Clo.
 W/D Zwaardweerstand gedeeld door de zwaarddwarskracht.

is van beide oplossingen. De totale dwarskracht, geleverd door zwaard en romp samen, wordt steeds gelijk verondersteld.

Tabel 3 toont de invloed van de pijlhoek. Naarmate de pijlhoek groter wordt, neemt de diepgang af en wordt het effectieve zwaardoppervlak kleiner. Bovendien neemt de aspectverhouding af en daarmee de maximum liftcoëfficiënt. Aangezien de ontwerp-liftcoëfficiënt Clo ongeveer 80 % van de C_{max} mag bedragen, neemt deze ook af. Het produkt van oppervlak en Clo daalt dus sterk en daarmee dus ook, bij gelijkblijvende snelheid, de dwarskracht die het zwaard kan leveren. Het aandeel van de romp moet dan evenveel groter worden. Desondanks neemt de benodigde invalshoek sterk toe en daardoor ook de drifthoek, met als gevolg een kleinere invalshoek van de wind in de zeilen en een kleinere voortstuwende kracht.

Men kan trachten dit te compenseren door aanhalen van de schoten, maar het is waarschijnlijk dat de verhouding van voortstuwende kracht tot dwarskracht daarbij ongunstiger wordt.

Om het de romp mogelijk te maken zijn grotere aandeel te leveren en hopelijk de drifthoek enigszins te verkleinen, worden dan graag kiel en vooral loefbijters aangebracht. Deze leveren weliswaar dwarskracht maar doen dat met een vermoedelijk vrij slechte W/D-verhouding. Het lijkt dan ook waarschijnlijk dat grote schepen op beperkt water sneller zouden varen met kortere en dus ook bredere zwaarden. Het effect daarvan zien we in tabel 4. Tot een aspectverhouding van iets meer dan 2 neemt de benodigde invalshoek nauwelijks toe. Daardoor blijft ook de volledige voortstuwende kracht behouden. De W/D van het zwaard is daarbij wel iets hoger dan van een langer en smaller

TABEL 4. INVLOED VAN DE ZWAARDLENGTE.

Lengte waterlijn 8,22 m		Pijlhoek 15°						
Lok m	Dpg. m	Bg mm	Oppvl. m ²	Asp. verh.	Plank mm	Clo	Inv. hoek	W/D %
2,60	2,47	461	1,18	5,75	67	0,84	8,7°	5,3
2,45	2,32	586	1,40	4,29	60	0,74	8,4°	6,1
2,30	2,17	719	1,60	3,31	54	0,64	7,9°	6,8
2,15	2,02	777	1,61	2,88	48	0,62	8,2°	7,3
2,00	1,87	856	1,63	2,45	43	0,62	8,8°	8,0
1,85	1,72	1010	1,76	1,95	39	0,62	9,9°	9,2

Dpg Diepgang als zwaardklamp te water komt.
 Oppvl. Zwaardoppervlak onder water bij pijlhoek=0. Zo gekozen dat het produkt van Eff.opvl. en Clo bij alle zwaarden gelijk is.
 Asp.verh. Geometrische aspectverhouding van het zwaard.
 Plank Dikte van het zwaard.
 Clo 80% van de max. liftcoëfficiënt voor het gegeven zwaard.
 Inv.hoek Som van toespoor en drifthoek bij constante totale dwarskracht.
 W/D Zwaardweerstand gedeeld door zwaarddwarskracht.

N.B. De totale dwarskracht inclusief 17% rompaandeel is gelijk aan de totale dwarskracht in TABEL 3.

zwaard, maar dat wordt ruim gecompenseerd doordat de rompweerstand nu niet toeneemt.

De tabellen hebben betrekking op een betrekkelijk klein schip. Voor grote schepen is de diepgang van het zwaard ook groter. Als zulke schepen veelal op het IJsselmeer varen lijkt het wenselijk de Lok te beperken, bijvoorbeeld tot hoogstens 2,5 à 3 m. Zelfs dan zal het op veel plaatsen nog nodig zijn het zwaard niet maximaal diep te steken.

Uit de monografie van Huitema: „Lemsteraken: van visserman tot jacht” blijkt dat in vroeger tijden diverse ontwerpers hiermee rekening hebben gehouden. De „Vrouw Egbertje”, de „Brandeman”, de „Halley” en zelfs de veel kleinere „Antje” hebben relatief brede doch korte zwaarden.

18. DE INCLINATIE

Zoals reeds gezegd is de inclinatie de hoek tussen het zwaard en het scheepssymmetrievlak. Als deze niet nul is, lopen de dwarskracht en de kracht die de wind op het tuig uitoefent niet evenwijdig. Alleen de horizontale ontbondene van de dwarskracht is nuttig. Bij vissersschepen is de inclinatie klein, meestal circa 15°, dus praktisch gelijk aan de normale helling. Het effectief (geprojecteerd) oppervlak is dan dus maximaal. Bij boeiers en aanverwante schepen is de inclinatie veel groter, 30° en meer; bij de tjotter „Albert en Nelly” zelfs 37°. Bij een helling van 15° is het geprojecteerd oppervlak daardoor 4 tot 7 % kleiner dan het werkelijke. Bovendien is er nu een verticale component van de zwaardkracht die het schip dieper drukt en het hellend moment vergroot. Deze component kan makkelijk 1/4 tot 1/3 van de nuttige dwarskracht bedragen en neemt pas af bij hellingen die ook voor boeiers extreem zijn.

19. INTERACTIE

Tot hertoe hebben we stiltwijgend aangenomen dat het zwaard zich ten opzichte van het water beweegt met de scheepssnelheid en volgens de richting van de koers. Maar de scheepsromp duwt het water opzij, waardoor de richting en ook de snelheid veranderen. Die invloed van de romp neemt af naarmate de afstand groter wordt. Ook het zwaard verstoort de stroming en dat zal door de

romp gevoeld worden. Er is interactie mogelijk tussen romp en zwaard. De vraag is nu wat het gevolg is van die interactie en of het nodig en mogelijk is daarmee rekening te houden.

In de sleeptank van de T.U. Delft is onderzoek gedaan aan modellen van een Vollenhovense bol en een grondel bij verschillende waarden van het toespoor.⁸⁾ Jammer genoeg is de aangekondigde volledige publikatie van de resultaten daarvan nooit verschenen. Het weinige dat wel is gepubliceerd geeft de indruk dat de interactie de belasting van het zwaard eerder verkleint dan vergroot. Afgezien daarvan is het zo dat indien de romp een wijziging veroorzaakt in de door het zwaard geleverde dwarskracht, dit altijd gecompenseerd kan worden door een kleine verandering in het toespoor. Dit zou misschien een reden kunnen zijn dat in de praktijk zo vaak een kleiner toespoor werd toegepast dan volgens berekeningen wenselijk lijkt.

20. BOEIERZWAARDEN

Zwaarden voor boeiers en aanverwante schepen voor ondiepe binnenwateren mogen niet diep steken, zij moeten dus tamelijk kort zijn. Bij een gelijk oppervlak is daardoor de aspectverhouding kleiner dan bij een botterzwaard. Maar een kleine aspectverhouding verhoogt de geïnduceerde weerstand, die ook toeneemt met het kwadraat van de liftcoëfficiënt. Bij een kleine aspectverhouding kan men daarom beter een kleinere ontwerp-coëfficiënt C_{lo} kiezen. Dit maakt dat bij een gegeven dwarskracht en snelheid het oppervlak groter moet zijn. Als de lengte vastligt kan dat alleen door de breedte te vergroten, met een verdere verkleining van de aspectverhouding als gevolg. Dit leidt tot een verdere verkleining van de liftcoëfficiënt waardoor het benodigde oppervlak nog weer groter wordt. Uiteindelijk be-

Zwaard oppervlak/ Lwl^2 %

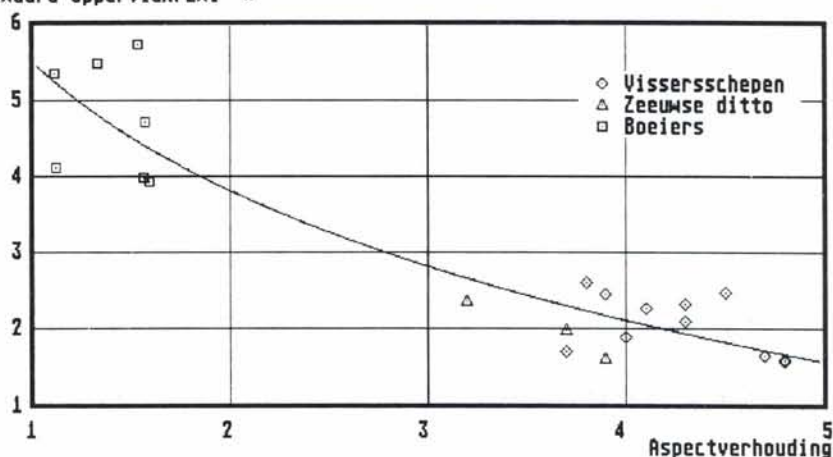


Fig. 13 VERBAND TUSSEN ASPECTVERHOUDING EN ZWAARDOPPERVLAK

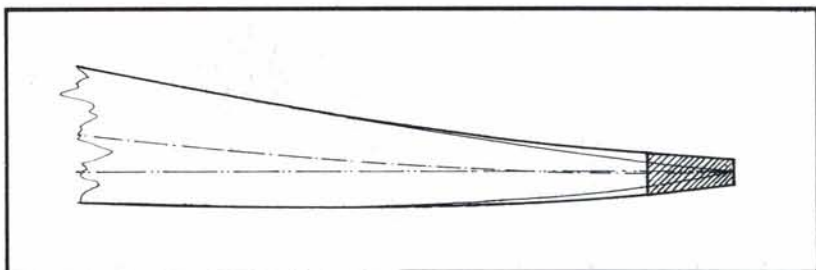
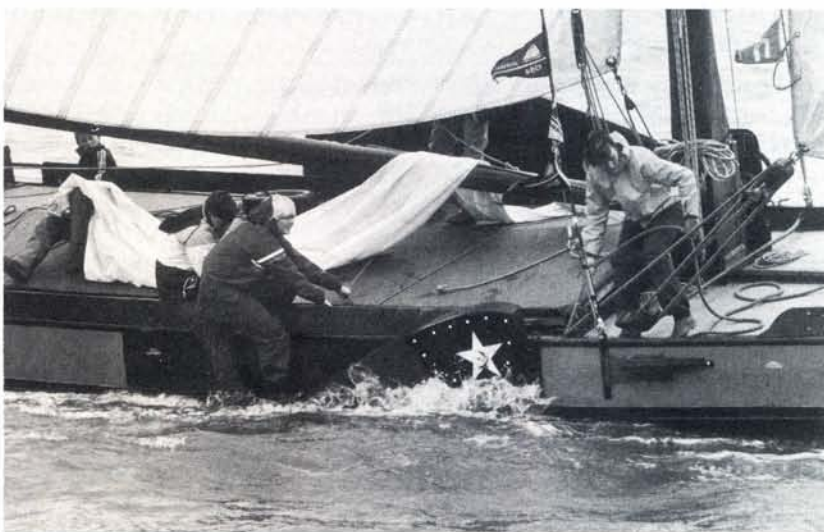


Fig. 14. BIJSTROKEN ACHTERZIJDE PROFIEL

tekt dit dat het zwaardoppervlak in verhouding tot de scheepsgrootte veel groter moet zijn dan bij vissersschepen. Fig. 13 laat zien dat de boeierbouwers dit inderdaad in praktijk brachten.

Door de kleine lengte van het zwaard is het buigend moment ook minder groot. Daardoor hoeft de plankdikte niet groot te zijn en zodoende wordt de verhouding van plankdikte tot profiellengte eveneens klein. Volgens formule (1) is dan ook de optimale C_{li} klein hetgeen betekent

dat de uitholling klein wordt of zelfs geheel verdwijnt. Volgens de profielgegevens is de kopstraal, dat is de afronding van het profiel aan de voorkant, evenredig met het kwadraat van de dikteverhouding t/c . Daardoor mag, in tegenstelling tot botterzwaarden, de intreekant vrij scherp zijn, zoals gebruikelijk is. De ophanging van boeierzwaarden pleegt zodanig te zijn dat er geen gevaar voor uitscheren bestaat. Er is dus geen behoefte aan „tillen” van de achterkant. Het blijkt dus dat de theorie bevestigt dat de in de praktijk ontwikkelde



⁸⁾ G. Moeyes & J.W. Kooijman. On the Use and Design of Dutch Traditional Craft as Sailing Yachts. HISWA Symposium 1975.

vormen van boeierzwaarden zeer goed waren, zelfs nog meer dan bij botters, omdat bij jachten een betere, dus duurdere, afwerking mogelijk was. Hoogstens kan men zich afvragen of het oppervlak van het zwaard in alle gevallen optimaal is voor het betreffende schip.

21. IETS OVER DE PRAKTISCHE UITVOERING

Het spreekt vanzelf dat de door de computer gedefinieerde profielvormen moeten worden aangepast aan hetgeen praktisch uitvoerbaar is. Dit betreft in de eerste plaats de achterzijde, die dikker moet worden. Gelukkig is er weinig bezwaar tegen het profiel enigszins te wijzigen; fig. 14 geeft hiervan een voorbeeld. Het verdient aanbeveling van de drie profielen contra-mallen van triplex in twee delen te maken. Ook is het goed van de omtreksvorm een mal te maken. Dit geeft de mogelijkheid de vorm zonodig op het oog nog wat bij te stroken. Voor een goede maatvoering is het makkelijk uit te gaan van planken die in een vandiktebank op de juiste diktemaat zijn gebracht.

Het beslag kan het beste worden gemaakt van messing met een rechthoekige doorsnede, afhankelijk van de grootte van het zwaard, bijvoorbeeld 20×10 mm, aan de voorzijde op z'n kant, aan de achterzijde plat. Aan de onderzijde van het zwaard moeten de beide delen van het beslag aan elkaar gelast of hard-gesoldeerd worden. Wanneer het beslag wordt aangebracht voordat met het profileren wordt begonnen, kan het aanvankelijk mede dienen voor de maatvoering en later tegelijk met het hout in de juiste vorm worden geslepen met behulp van een haakse slijpmachine. Heel belangrijk is het ook aan de achterzijde een nokje aan te brengen waartegen de pikhaak kan steunen om het zwaard dieper te steken. Op veel jachten ontbreekt dit en daardoor wordt dan vaak met een grotere pijlhoek gevaren dan mogelijk en wenselijk is.
