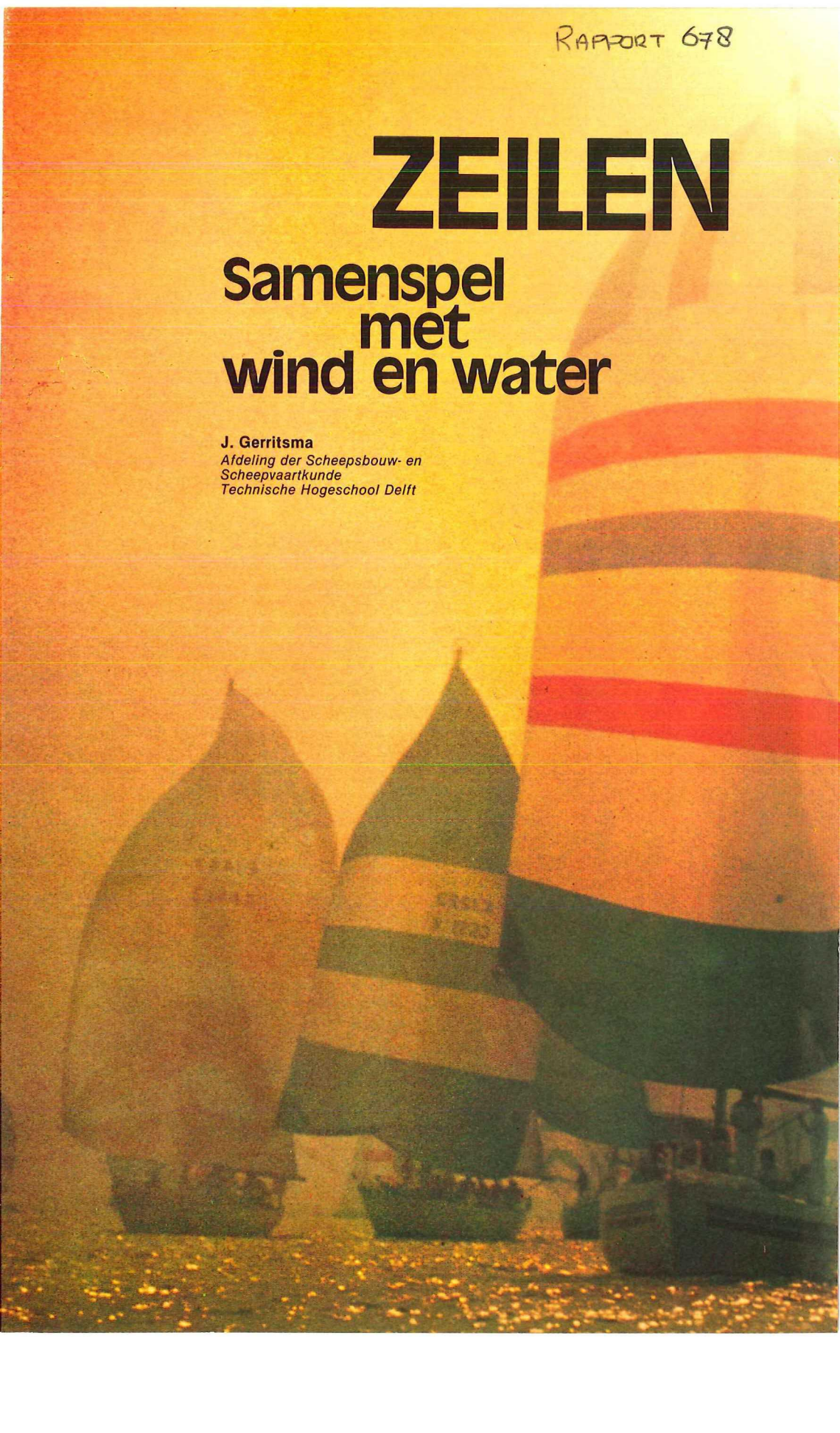


# ZEILEN

## Samenspel met wind en water

**J. Gerritsma**

*Afdeling der Scheepsbouw- en  
Scheepvaartkunde  
Technische Hogeschool Delft*



## 'The wonder drug of the eighties'

*mens wordt voor interferon dezelfde plaats toebedacht in de toekomst als de penicillinen bij bacteriële infecties hebben; mijns inziens ten onrechte. Bij virale infecties meldt de patiënt zich meestal op het hoogtepunt van zijn ziekte bij de arts, op het moment dat zijn eigen interferonproductie maximaal is. Het lijkt dan weinig zinvol om van buitenaf deze spiegel te gaan verhogen. Het gebruik van interferon als antiviraal middel zal daarom beperkt blijven tot patiënten met een gestoorde eigen afweer. Een belangrijke groep hierbij zijn transplantatie patiënten die door de behandeling die ze krijgen om afstoting te voorkomen extra vatbaar zijn voor virale infecties. Bij deze groep kan interferon worden gebruikt om infecties te voorkomen. Bij proefdieren is gebleken dat interferon dan zijn optimale antivirale werking heeft. Ook bij chronische virale infecties lijkt interferon toepasbaar.*

*Interferon remt niet alleen de groei van virus maar ook van cellen. Het stimuleert de activiteit van macrofagen en 'natural killer' cellen. Het beïnvloedt de humorale en cellulaire immuniteit. Op deze activiteiten berust de werking van interferon tegen kanker zoals vastgesteld in experimentele tumoren van verschillende aard. Ook bij de mens is de werking van interferon tegen kanker vastgesteld. De pionier op dit gebied is Strander van het Karolinska ziekenhuis in Stockholm. Hij behandelde vanaf 1973 alle patiënten met botkanker en behaalde resultaten die significant beter zijn dan de historische controles of dan de resultaten van patiënten die elders in Zweden werden behandeld. Hij behandelde ook patiëntjes met juveniele larynxpapillomen (een tumor van het strottehoofd), waarbij door interferon de tumor verdween. Dit effect is inmiddels in ons land bevestigd. Verder werden gunstige effecten gemeld met interferon bij myelomata, non-Hodgkin lymphoma (beiden kankers van de bloedvormende organen) en bij andere kankervormen. Ook lokaal ingespoten interferon bleek tumoren aan de longbladen en uitzaaingen in de huid van diverse tumoren in grootte te doen afnemen. Men moet wel in het oog houden dat het tot nu toe bijna steeds ongecontroleerde waarnemingen bij een klein aantal patiënten betreft.*

*De belangrijke vraag of interferon beter is dan bestaande methoden om kanker te behandelen is nog niet beantwoord. Daarvoor zullen eerst grote aantallen patiënten moeten worden behandeld in gecontroleerde studies. Wel is interferon werkzaam in een aantal gevallen (bijv. larynx papilloom) waarvoor geen andere behandeling bestaat.*

*Samenvattend: Interferon wordt niet het algemeen antivirale middel. De toepassing zal zich hierbij beperken tot een aantal speciale patiënten. Als middel tegen kanker dient de waarde nog steeds te worden vastgesteld. Een algemeen antikankermiddel voor alle vormen van kanker is het zeker niet. We blijven optimistisch, alhoewel we twijfelen aan een markt van twaalf miljard dollar.*

---

Voor meer achtergrondinformatie verwijzen wij U naar het artikel van prof. dr. A. J. D. Billiau, Interferon - Veelzijdig geneesmiddel?, verschenen in Natuur en Techniek 47, 2, pag. 124-139, Cat. nr. 540 (1979).



Zeilschepen zijn al uit de oudheid bekend. Met het dwarsscheepse zeil kon men in hoofdzaak vóór de wind varen. In de vroege Middeleeuwen werd het mogelijk met het langsscheepse 'Latijnse' zeil tegen de wind in te kruisen. De zeilvaart beleefde zijn hoogtepunt in de 19e eeuw, toen schepen met combinaties van langsscheepse en dwarsscheepse zeilen de wereldzeeën bevoeren. Bij het zeilen spelen een aantal factoren een rol, zoals de windkrachten op de zeilen, de waterkrachten op de romp, kiel en roer. Ook de balans is belangrijk voor de stureigenschappen van een zeiljacht. Moderne zeiljachten kunnen zeer hoog aan de wind varen en bereiken relatief hoge snelheden. Het modelonderzoek speelt een belangrijke rol bij de technische ontwikkeling van de zeilvoortstuwing en van de rompvorm van jachten. Op het ogenblik doet men ook onderzoek naar de vraag of de ontwikkeling van zeilende vrachtschepen, voornamelijk met het oog op energiebesparing, een haalbare kaart is.

## Geschiedenis

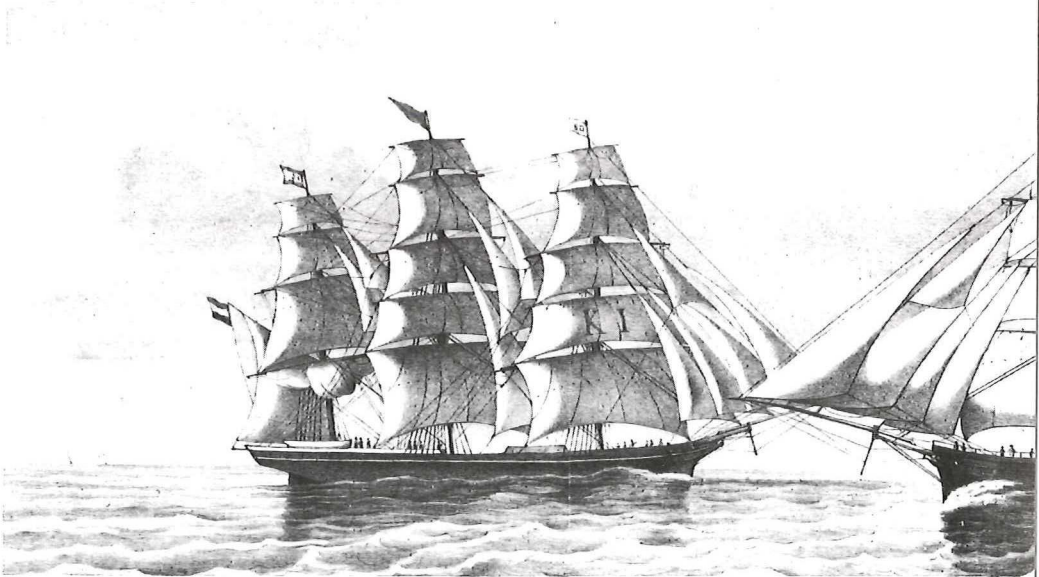
Al duizenden jaren geleden gebruikte men windkracht om schepen voort te stuwten. Een reliëf uit Egypte (2500 jaar v. Chr.) toont tamelijk gedetailleerd een schip met één mast, voorzien van een dwarsscheepse ra, waaraan een rechthoekig zeil is bevestigd, een zgn. dwarsgetuigd schip (zie de tekening rechts). De ra en daarmee het zeil, kon door de man op het achterdek enigszins gedraaid (gebrast) worden, om zó een gunstige stand ten opzichte van de windrichting te krijgen. Het schip was uitgerust met roeiriemen, voor het geval dat er onvoldoende wind was of dat de windrichting ongunstig was.

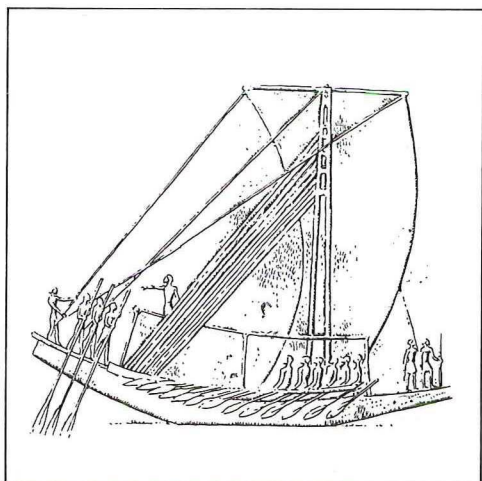
In principe vindt men deze zeilvoering vele eeuwen later ook op afbeeldingen van Griekse oorlogsschepen (500 jaar v. Chr.) en van Romeinse koopvaarders (200 jaar n. Chr.). Deze schepen konden waarschijnlijk alléén zeilen als de wind min of meer van achteren inviel; men kon nog niet tegen de wind in varen. Latere zeilschepen konden dat wel.

West-Europese zeevaarders ontdekten in het Middellandse-Zeegebied het 'Latijnse' zeil, dat waarschijnlijk in de vroege Middeleeuwen is ontstaan (zie de tekening geheel rechts). Sommigen nemen aan dat dit langsscheepse driehoekige zeil veel eerder in Indonesië gebruikt

werd, anderen zien verwantschap met het Chinese jonkzeil. Met dit zeil kon vrij goed aan de wind gezeild worden, zodat het mogelijk was om bijvoorbeeld een rivier tegen de wind in op te kruisen. Vóór de wind is het Latijnse zeil minder effectief; dwarsgetuigde schepen zijn dan wel in het voordeel.

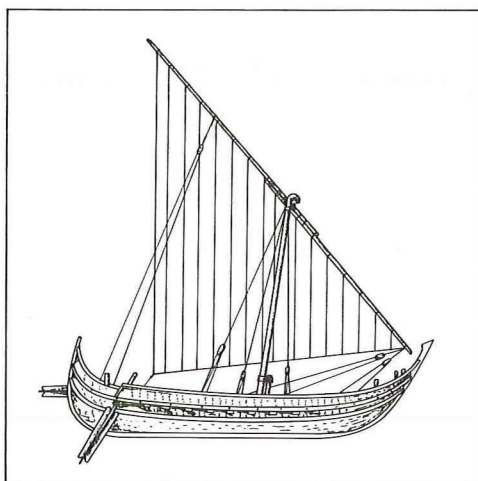
In de 15e en 16e eeuw ontstonden combinaties van dwarsscheeps en langsscheeps getuigde schepen. Deze schepen konden geleidelijk aan hoger aan de wind zeilen dan schepen met uitsluitend dwarsscheepse zeilen. Een indruk van de scheepssnelheid in die dagen geeft de oversteek van Columbus (1492). Zijn 'Santa Maria' haalde gemiddeld vier knopen (één knoop is 1,852 km per uur). In de 17e en 18e eeuw werden de schepen groter, sneller en werden met meer masten en meer ra's per mast uitgerust. Bovendien was er een grotere verscheidenheid van dwarsscheepse en langsscheepse zeilen beschikbaar. In het midden van de 19e eeuw bereikte het zeilschip tenslotte zijn hoogtepunt in de Amerikaanse en Engelse klipperschepen. Deze schepen waren bestemd voor het vervoer van thee en wol en haalden met ruime wind soms wel snelheden van 18 knopen. Van de ijzeren klipper 'Storm Cloud' (1854) werd gezegd dat zij bij 60 graden aan de wind 12 knopen haalde (zie de tekening rechts-onder). Enkele decennia later ging het slecht



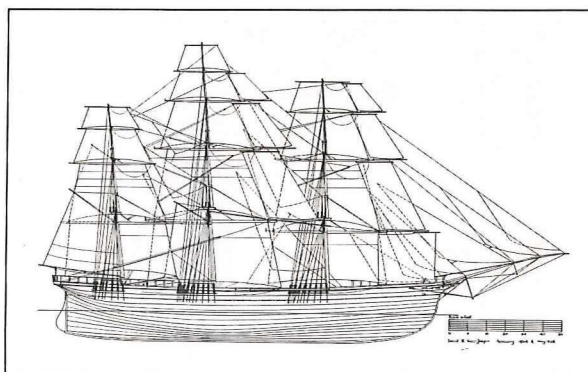
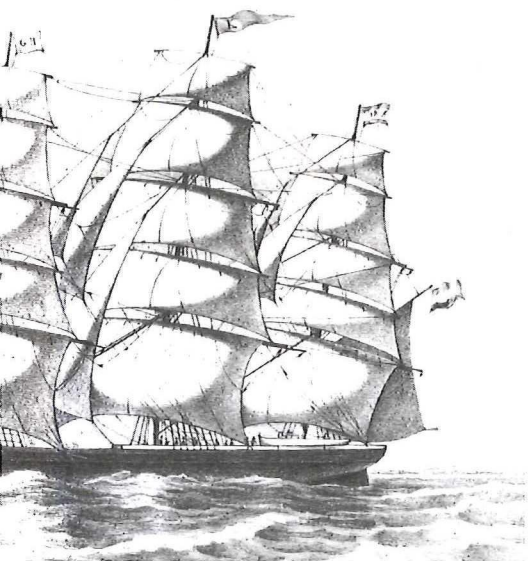


Hierboven: Een Egyptisch zeilschip met één dwarscheeps zeil (2500 jaar v. Chr.). De man op het achterdek bediende de 'schoten', waarmee het zeil een gunstige stand ten opzichte van de windrichting gegeven kon worden. De stand van het zeil kon overigens maar over een klein gebied gevarieerd worden.

Rechtsboven: Een Middeleeuws schip met een 'Latijs' zeil. De vóór-de-windse eigenschappen waren matig maar het schip kon enigszins tegen de wind in kruisen. Het overstag gaan (kruisen) was niet eenvoudig doordat het lange rondhout, waaraan het zeil bevestigd is, achter de mast om naar de andere kant gebracht moest worden.



met de klippers. De gecompliceerde tuigage en de talrijke bemanning waren mede oorzaak dat zij economisch gezien ten onder gingen tegenover schepen met mechanische voortstuwing, die bovendien minder afhankelijk waren van windsterkte en windrichting. Er zijn daarna wel grotere vier- en vijfmast zeilvrachtschepen gebouwd, maar zeiltechnisch gezien brachten deze 'windjammers' geen vernieuwing van de zeilvoortstuwing.



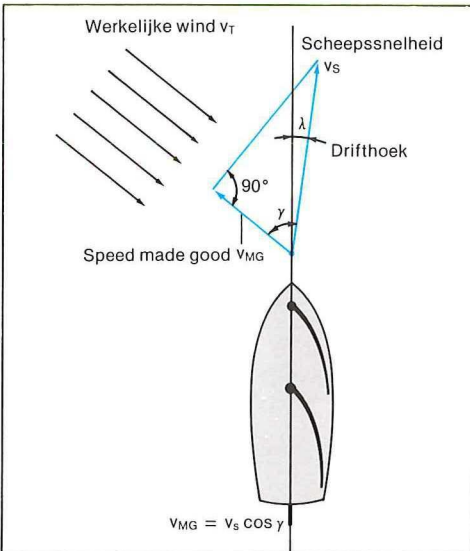
Links: Twee klipperschepen, de 'Kosmopoliet I' en 'Kosmopoliet II', van de reders Gebr. Blussé te Dordrecht.

Boven: Het zeilplan van de klipper 'Storm Cloud' (1854) toont een combinatie van langsscheepse en dwarsscheepse zeilen. Het ijzeren schip was bekend om zijn zeer goede zeileigenschappen: op haar tweede reis haalde zij snelheden van 17 knopen (ruim 31 km/uur) en legde 370 zeemijl (686 km) per dag af.

Bij de zeilschepen die tegen de wind in konden zeilen, hanteert men in dit verband de uitdrukking ‘speed made good’; dit is de component van de sloopssnelheid tegen de windrichting in (zie Fig. 1). Uit deze figuur blijkt dat de speed made good  $v_{MG}$  alleen positief kan zijn als de werkelijke wind  $v_T$  voorlijker dan dwars invalt ( $\gamma < 90^\circ$ ). Men zeilt hoger ‘aan de wind’ naarmate de hoek  $\gamma$  kleiner is.

De snelheidsvector  $v_S$  van het schip ligt niet in het symmetrievlak ervan. Er is een (tamelijk kleine) drifthoek  $\lambda$  nodig om weerstand te geven tegen het zijdelings verplaatsen van het schip door de windkracht, zoals nog besproken zal worden. Een schip met een positieve speed made good kan dus tegen de wind in vooruit komen, maar om een bovenwinds doel te bereiken moet dan wel een zigzag koers gevaren worden, anders gezegd: het schip moet kruisen.

Op het ogenblik worden zeilen hoofdzakelijk op pleziervaartuigen gebruikt. De ontwikkeling van het zeiltuig heeft niet stilgestaan en dat heeft voor de jachten geleid tot relatief ho-



Boven: Fig. 1. De bepaling van de speed-made-good. In deze figuur is voor een windrichting de snelheidscomponent van het schip tegen die richting in geconstrueerd.

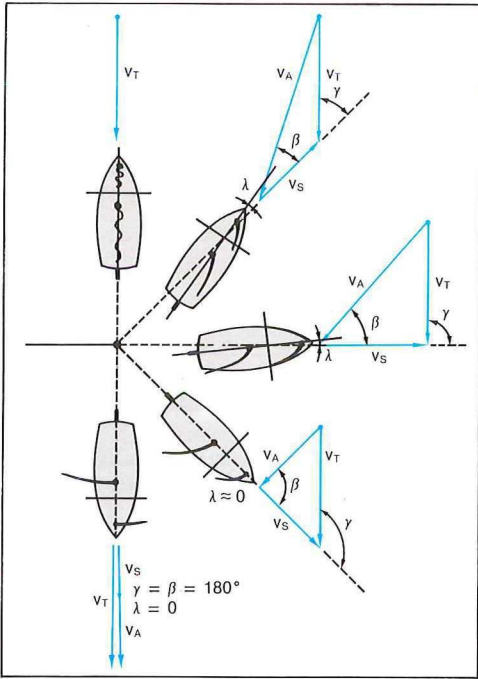
Rechts: Door een spinnaker (het gestreepte, gekleurde zeil) te voeren zal de snelheid bij dwarswind en ruime wind aanzienlijk toenemen.

ge snelheden en de mogelijkheid om zéér hoog aan de wind te varen (tot wel 35 graden). Niet alleen de vorm van de zeilen, maar ook die van het onderwaterschip, de kiel en het roer hebben daartoe bijgedragen. In het volgende wordt de theorie van het zeilen behandeld, waarmee deze ontwikkeling verduidelijkt kan worden.

### Het polaire snelheidsdiagram

Aan boord van een zeilschip voelt men de schijnbare wind  $v_A$  die de resultante is van de werkelijke wind  $v_T$  en de wind veroorzaakt door de sloopssnelheid  $v_S$ . Deze schijnbare wind kan voor een aantal windrichtingen geconstrueerd worden (Fig. 2). Daarbij valt op dat de snelheid van het zeiljacht, bij constante windsnelheid, niet op elke koers even groot is. Dit komt het beste tot uiting in het polaire snelheidsdiagram, waarin het verband tussen de snelheid en de bijbehorende hoek ten opzichte van de werkelijke wind in poolcoördinaten is uitgezet (Fig. 3). De grootste snelheid in

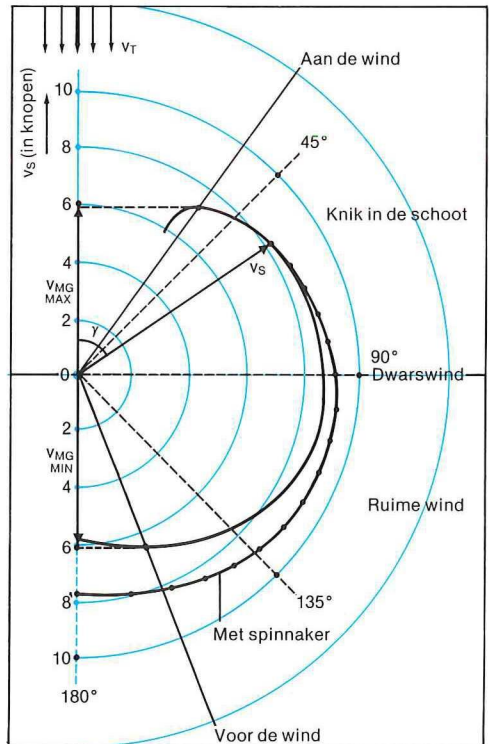
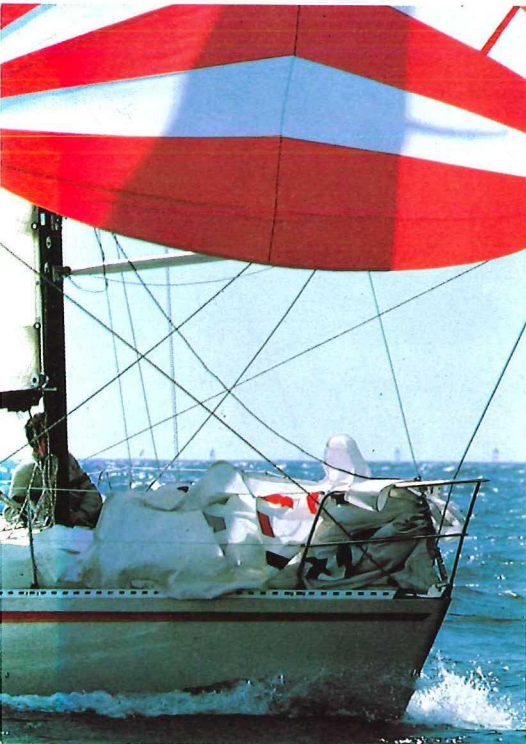




de wind,  $V_{MGMAX}$ , wordt gevonden door de raaklijn aan de polaire (snelheidskromme) loodrecht op de richting van de werkelijke wind te tekenen. De voerstraal naar het raakpunt geeft de optimale hoek (aan de wind); dit is de hoek die de grootste snelheid tegen de wind in oplevert. Uit de figuur blijkt dat hoger aan de wind zeilen geen zin heeft omdat de speed made good dan sterk vermindert. Goede zeilers bereiken intuïtief de optimale snelheid bij het aan de wind zeilen. Bij het vóór de wind zeilen is op dezelfde wijze de grootste snelheid in de windrichting te construeren; vóór de

Links: Fig. 2. Het verband tussen werkelijke wind, schijnbare wind en scheepssnelheid voor verschillende windrichtingen ten opzichte van de koers van het schip. De schijnbare wind  $v_A$  is het grootst bij het aan de wind varen. Vóór de wind 'zeilt men de wind dood'; de schijnbare windsnelheid is dan het kleinste.

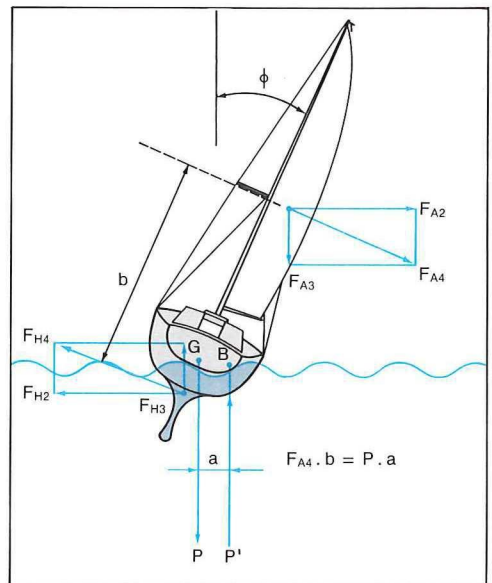
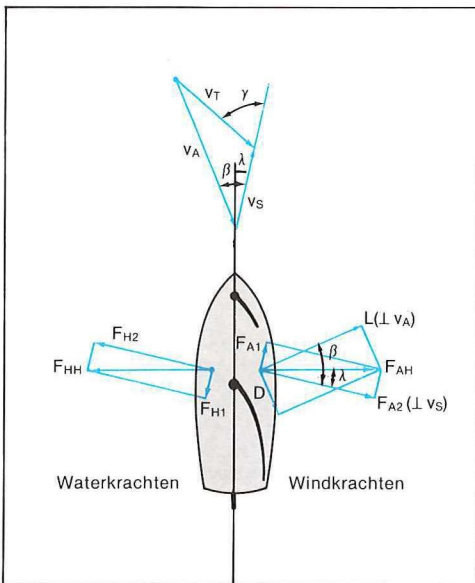
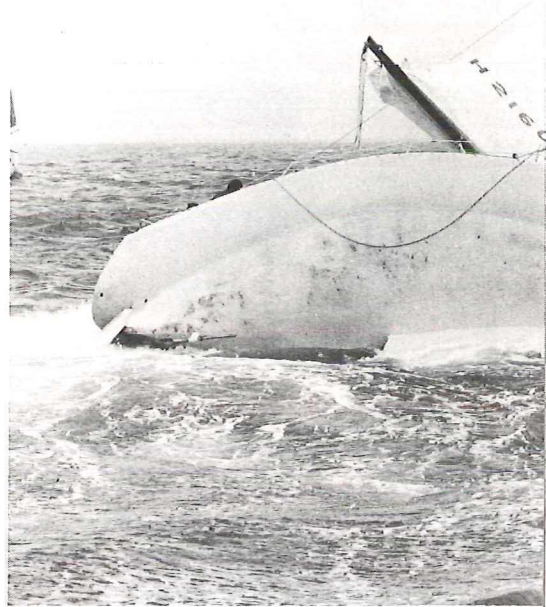
Onder: Fig. 3. De snelheidspolaire van een zeiljacht. De polaire is getekend voor één bepaalde windsnelheid  $v_T$ . Een meer volledig beeld van de prestatie van het zeiljacht wordt verkregen door dergelijke polaires voor een aantal windsnelheden te bepalen.



wind kruisen geeft  $v_{MGMIN}$  vaak meer snelheid dan 'plat' voor de wind varen ( $\gamma = 180^\circ$ ). Het vinden van  $v_{MGMIN}$  is in de praktijk van het zeilen moeilijker. Het beschikbaar zijn van de snelheidspolaire kan in dat geval een nuttig hulpmiddel zijn.

Met een andere zeilvoering, bijvoorbeeld door een spinnaker toe te voegen, zal de snelheid bij dwarswind en ruime wind aanzienlijk toenemen (zie de gestippelde polaire in figuur 3, waarin tevens de gebruikelijke benamingen van de diverse koersen ten opzichte van de wind zijn aangegeven). Bij een iets ruimer invallende wind dan bij de optimale koers 'aan de wind' spreekt men van een 'knik in de schoot'. Dwarswind, ruime wind en vóór de wind zijn situaties die wel voor zich spreken, maar waarvan de grenzen niet scherp gedefinieerd zijn.

De schijnbare windsnelheid kan met een windsnelheidsmeter aan boord gemeten worden. Het meten van de schijnbare windhoek is moeilijker. De windhoekmeter meet ten opzichte van de symmetrie-as van het schip en meet dus (volgens Fig. 2) de hoek  $(\beta - \lambda)$ . De drifthoek  $\lambda$  is mede afhankelijk van de koers van het schip t.o.v. de wind en dus moeilijk te bepalen. Uit modelexperimenten is gebleken dat de drifthoek  $1/5$  à  $1/4$  van de hellingshoek  $\varphi$  van het jacht bedraagt (zie Fig. 5).





## Het evenwicht van krachten en momenten

Als een zeiljacht met constante snelheid vaart, dan zijn de windkrachten op de zeilen in evenwicht met de krachten die het water op kiel, roer en romp uitoefent. In figuur 4 is die evenwichtstoestand getekend bij het aan de wind zeilen. Met voldoende nauwkeurigheid kan aangenomen worden dat de resultante van de zeilkrachten loodrecht op de mast staat, met als horizontale componenten  $F_{A1}$  (de voortstuwende kracht in koersrichting) en  $F_{A2}$  de component die daar loodrecht op staat. In de evenwichtssituatie zijn de horizontale component en van de waterkracht even groot, doch tegengesteld gericht aan die van de windkracht; de component  $F_{H1}$  is de weerstand van het schip, die evenwicht maakt met de voortstuwende zeilkracht  $F_{A1}$  en de component  $F_{H2}$  (dwarskracht die het zijdelings afdrijven belet) maakt evenwicht met de dwarskracht op het zeil  $F_{A2}$ . Een dergelijk evenwicht bestaat alléén als de beschouwde toestand van het jacht stationair is, dat wil zeggen als de windsnelheid en de snelheid van het jacht beide constant zijn. In werkelijkheid is dat nooit het geval, maar moet rekening gehouden worden met krachten en versnellingen die het gevolg zijn van fluctuaties in wind- en scheepssnelheid. Deze 'correcties' zijn voor het begrip niet nodig en zijn daarom in dit artikel niet beschouwd.

Wanneer wij een jacht van achteren bekijken in een projectie loodrecht op  $v_s$  (Fig. 5) dan zien we dat de water- en windkrachten een koppel vormen waardoor het jacht een hellingshoek  $\varphi$  aanneemt, waarvan de grootte afhangt van de stabiliteit van het jacht\*. Bij zeilschepen heeft dit momenten-evenwicht altijd een grote rol gespeeld. De beoordeling van de stabiliteit in het ontwerp stadium van een zeilschip werd min of meer gebruikelijk nadat de 'Captain', een Brits marinevaartuig, in 1870 kapseisde door een windstoot, een ramp waarover in het Britse Lagerhuis uitvoerig werd gediscussieerd. Die stabiliteit is als volgt te verklaren: het gewicht  $P$  van het jacht grijpt aan in het gewichtszwaartepunt  $G$ . De resultante van de oprijvende kracht  $P'$  is daaraan gelijk doch tegengesteld gericht. De werklijn van deze resultante gaat door het zogenaamde drukingspunt  $B$ , dat is het zwaartepunt van het onderwatervolume van het schip. Het punt  $B$  is



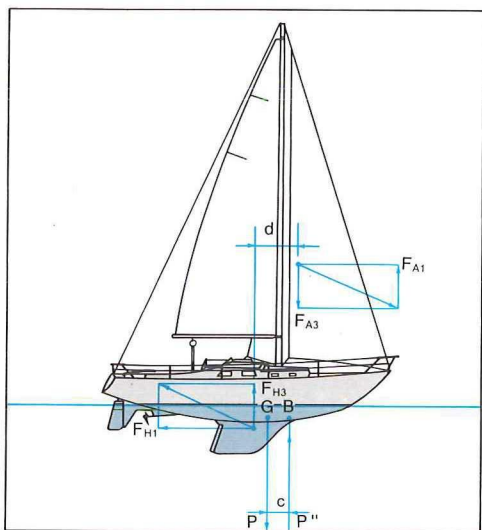
Boven: 'Broaching' is het verschijnsel waarbij een zeiljacht (bijv. met spinnaker) uit het roer loopt. Onder invloed van dynamische verschijnselen (wind, golven) kan het jacht een heftige slingerbeweging uitvoeren met zeer grote hellingshoeken. Mede daardoor loopt het jacht uit het roer en gaat het jacht 'plat'. Als gevolg van de stabiliteit komt het daarna vanzelf weer overeind, maar niet-zeevaste inventaris kan her en der in de kajuit verspreid liggen.

Geheel links: Fig. 4. Het evenwicht van water- en windkrachten. De krachten in deze figuur zijn geprojecteerd op een horizontaal vlak.

Links: Fig. 5. Het evenwicht van de krachten is hier geprojecteerd op een verticaal vlak dat loodrecht staat op  $v_s$ , de scheepssnelheid.

\* Hoewel dat ook niet geheel juist is nemen wij eenvoudigheidshalve aan dat de resulterende waterkracht óók loodrecht op de mastrichting staat. In dat geval is de grootte van  $P$  gelijk aan die van  $D$ .

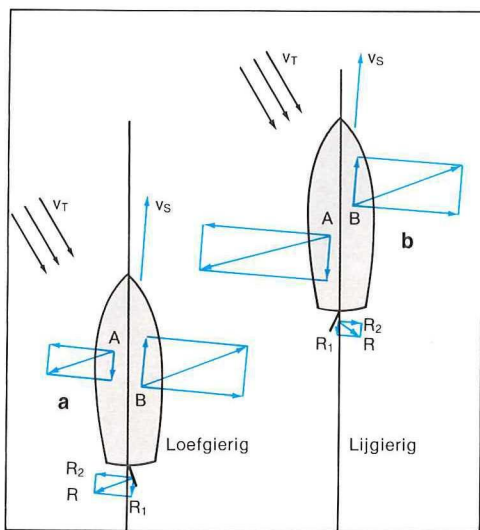




Boven: Fig. 6. Voor de beschouwing van het langsscheeps evenwicht zijn de water- en windkrachten geprojecteerd op een verticaal vlak dat evenwijdig is aan de scheepssnelheid  $v_s$ .

Links: Wind-surfen is de laatste tijd een zeer populaire sport geworden. Aangezien de zeilplank geen roer heeft, kan de surfer alleen sturen door het zeil naar voren (afvallen) of naar achteren (oploeven) te bewegen.

Onder: Fig. 7. Een jacht kan loefgierig zijn (a); het roer moet een zodanige uitslag hebben dat oploeven of opdraaien tegen de windrichting in verhinderd wordt. Een jacht kan ook lijgierig zijn (b); hierbij moet de uitslag van het roer het afvallen van het jacht voorkomen.



door de helling  $\varphi$  ten opzichte van het gewichtszwaartepunt in dwarsrichting over een afstand  $a$  verplaatst. Daardoor ontstaat het stabiliteitsmoment  $P.a$ , dat in de getekende situaties evenwicht maakt met het hellende moment  $F_{A4}.b$ . Als de windsnelheid toeneemt en het hellende moment daardoor groter wordt, dan neemt de helling  $\varphi$  van het jacht toe totdat het toegenomen stabiliteitsmoment weer evenwicht maakt met het hellend moment.

In langsricting is er een vergelijkbare situatie (zie Fig. 6). De koppels  $F_{A1}$  en  $F_{H1}$  en  $F_{A3}$ ,  $F_{H3}$  doen het jacht iets voorover hellen totdat evenwicht ontstaat met het zogenaamde langsscheepsstabiliteitsmoment  $P.c$ . In de situaties van de figuren 5 en 6 stelt het evenwicht zich zelf in; voor het geval van figuur 4 is een dergelijk automatische niet aanwezig. Daar speelt het roer een belangrijke rol.

## De balans

Een bovenaanzicht van een jacht levert figuur 4, waar het in een evenwichtstoestand is getekend; het totale moment van alle water- en windkrachten is nul. Verder is aangenomen dat de krachten op het roer verdisconteerd zijn in de getekende waterkrachten. We kunnen de krachten op het roer afzonderlijk weergeven (Fig. 7a) en daar blijkt dat de roerkracht belangrijk kan zijn voor het krachten-evenwicht. Verder heeft  $R_2$  een overeenkomstige functie als de kiel. Deze roerkrachtcomponent helpt de kiel zijdelings afdrijven tegen te gaan.

De onderlinge ligging van A en B, de aangrijppingspunten van de waterkracht en windkracht, is bepalend voor de zogenaamde balans van het jacht. Een jacht kan loefgierig zijn (Fig. 7a), wanneer het jacht zonder de invloed van het roer tegen de wind in zal willen draaien (oploeven). Een jacht kan echter ook lijgierig zijn (Fig. 7b). Zonder de invloed van het roer wil het jacht van de wind afdraaien (afvallen). De reactiekracht  $R_2$  op het roer is bij een lijgierig jacht anders gericht dan bij een loefgierig jacht. Bij het lijgierig jacht bevordert  $R_2$  het zijdelings afdrijven zodat de kiel méér dwarskracht moet leveren om het evenwicht te herstellen. Dat gaat gepaard met méér weerstand, zodat lijgierigheid vermeden moet worden. Meestal wenst men een geringe mate van loefgierigheid, waarmee bij het jachtontwerp dan ook rekening gehouden wordt.

Ontwerpers van zeiljachten bepalen de lengteligging van de punten A en B (respectievelijk het 'lateraalpunt' en het 'zeilpunt') door het zwaartepunt van het lateraalplan (de projectie van het onderwaterschip op het langsscheepssymmetrievlak) en van het zeilplan te berekenen. De onderlinge afstand van die punten (5 tot 20% van de waterlijnlengete) hangt af van het type jacht.

Een verdere beschouwing leert ons dat ook de dwarsscheepse helling (dus de stabiliteit) een rol speelt bij de balans (Fig. 7a). Immers door helling van het jacht zal de dwarsscheepse afstand van A en B groter worden en daarmee het oploevende moment. Bij grote hellingshoeken blijkt dit zelfs een grotere invloed te hebben dan de onderlinge langsscheepse ligging van A en B. Dwarsscheepse stabiliteit is dus belangrijk voor de balans van een jacht.

Door de plaats van het zeilpunt ten opzichte van het lateraalpunt te veranderen kan een jacht min of meer gestuurd worden. Een voorbeeld hiervan is de zeilplank waarbij door kantelen van de mast de plaats van het zeilpunt naar voren of naar achteren gebracht kan worden (Fig. 8). Daarmee wordt gestuurd, want een zeilplank heeft geen beweegbaar roer.

Rechts: Het strijken van de spinnaker, een relatief groot zeil, dat vooral met wind achterlijker dan dwars, de snelheid van een zeiljacht aanzienlijk vergroot.

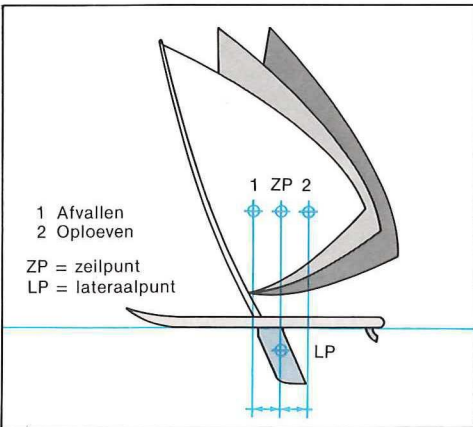


Fig. 8. Een zeilplank wordt gestuurd door de langsscheepse afstand van lateraalpunt en zeilpunt (resp. LP en ZP) ten opzichte van elkaar te veranderen, waardoor de zeilplank zal afvallen (1) of oploeven (2). Op deze manier stuurt men de zeilplank.

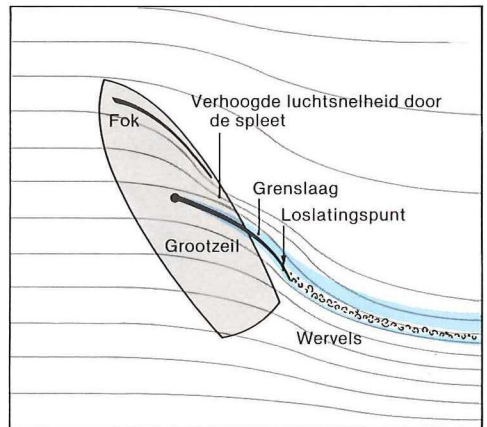


Fig. 9. De luchtstroming bij één enkel zeil. Volgens de Wet van Bernoulli zal de luchtsnelheid aan de lijzijde van het zeil groter zijn dan aan de loefzijde. Hierdoor is de druk aan de lijzijde kleiner waardoor het zeil als een lift producerend draagvlak werkt.

## De windkrachten

De resulterende horizontale windkracht  $F_{AH}$  maakt een grote hoek ( $90^\circ + \beta - \lambda$ ) met de schijnbare wind  $v_A$  (Fig. 4). De component  $L$  (lift) staat loodrecht op de schijnbare wind en de weerstand  $D$  is evenwijdig aan en heeft dezelfde richting als  $v_A$ . Bij een willekeurig gevormd lichaam, bijvoorbeeld een auto, zal de verhouding tussen lift en weerstand heel anders zijn. Bij het aan de wind zeilen is de lift over het algemeen enige malen groter dan de weerstand. Voor de wind zeilend is de weerstand verreweg de grootste component. In die toestand werkt het zeil als een weerstandselement terwijl bij het aan de wind zeilen het zeil als een lift producerend draagvlak werkt. Het zeil is in dit opzicht te vergelijken met de vleugel van een vogel of van een vliegtuig.

Een (geïdealiseerd) beeld van de luchtstroming geeft figuur 9. De aanwezigheid van het zeil veroorzaakt een verandering van de lichtsnelheid in zowel richting als grootte ten opzichte van de ongestoorde stroming. Er ontstaat een vergroting van de lichtsnelheid aan de lijzijde van het zeil, waardoor de druk daar daalt in overeenstemming met de Wet van Bernoulli (Tennekes, 1979). Aan de loefzijde is de lichtsnelheid minder en de druk is daardoor hoger dan bij de ongestoorde stroming. De verdeling van de luchtkrachten aan beide zij-

den van het zeil is in figuur 9 getekend, waarbij tot uiting komt dat de krachten als gevolg van de onderdruk groter zijn, dan die veroorzaakt door de overdruk.

Het beeld is geïdealiseerd omdat langs het zeil als gevolg van wrijvingsverschijnselen wervelingen optreden. Wrijving en wervelingen zijn voor een groot deel verantwoordelijk voor de weerstand. Ook kan loslating, gepaard gaande met wervelende luchtstroming, optreden (Fig. 10). De effectiviteit van het zeil kan daardoor afnemen, o.a. door de verhoogde weerstand.

Een combinatie van fok en grootzeil veroorzaakt een verhoogde lichtsnelheid in de spleet tussen fok en grootzeil en daardoor worden loslatingsverschijnselen aan het grootzeil verminderd (Fig. 10). De effectiviteit van de combinatie fok-grootzeil neemt daardoor toe. Als gevolg van de over- en onderdruk vindt omstroming plaats aan de boven- en onderzijde van het zeil wat aanleiding geeft tot tipwervels (Fig. 11). Deze wervels in de luchtstroming kunnen geïnterpreteerd worden als een vergroting van de weerstand: de zogenaamde geïnduceerde weerstand.

De grootte van de geïnduceerde weerstand hangt af van de slankheid van het zeil, die gedefinieerd wordt door de aspectverhouding (de verhouding hoogte/gemiddelde breedte van het zeil). Zeilen met een grote aspectverhou-

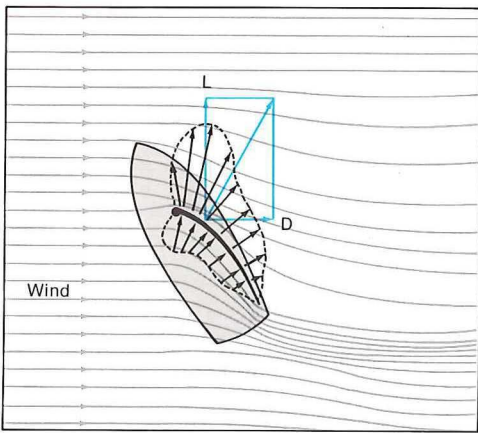


Fig. 10. Dicht langs het grootzeil treden grenslaag- en loslatingsverschijnselen op, waardoor het stromingsbeeld niet 'ideaal' is. Bij de combinatie van fok en grootzeil kunnen deze verschijnselen worden verminderd: de effectiviteit neemt door deze combinatie toe.

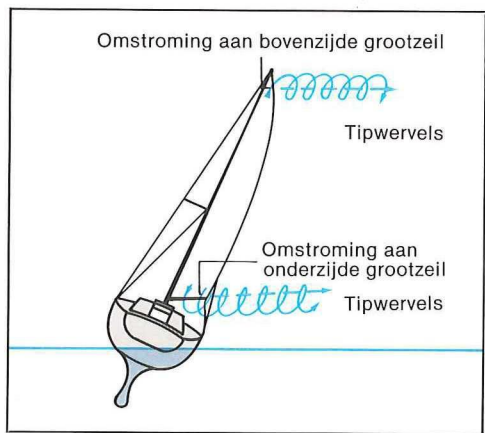


Fig. 11. Door de over- en onderdruk vindt omstroming plaats aan de bovenzijde en onderzijde van het grootzeil. Dit geeft aanleiding tot tipwervels, die als een vergroting van de weerstand beschouwd kunnen worden: de zgn. geïnduceerde weerstand.

ding hebben relatief minder last van de omstroming van boven- en onderzijde, omdat het gebied waar de omstroming invloed heeft relatief klein is. Zulke zeilen leveren daardoor bij hetzelfde zeiloppervlak een grotere voortstuwende kracht, dan zeilen met een kleine aspectverhouding. Daarom is bij moderne wedstrijdzeiljachten de tendens naar een hoog en slank zeilplan ontstaan (zie foto onder).

Andere belangrijke factoren zijn de vorm van horizontale doorsneden van het zeil en daarbij de toegepaste bolling van het zeil. In verband hiermee worden vaak horizontale, donker gekleurde banden op de zeilen aangebracht, waardoor de zeiler een indruk kan krijgen van de vorm en de stand van het zeil onder verschillende omstandigheden (windsnelheid, koers).

### Kiel, roer en onderwaterschip

De werking van kiel en roer als elementen die het zijdelings afdrijven tegen gaan, is in zekere zin te vergelijken met die van de zeilen. De drifthoek is ruwweg een factor zes kleiner

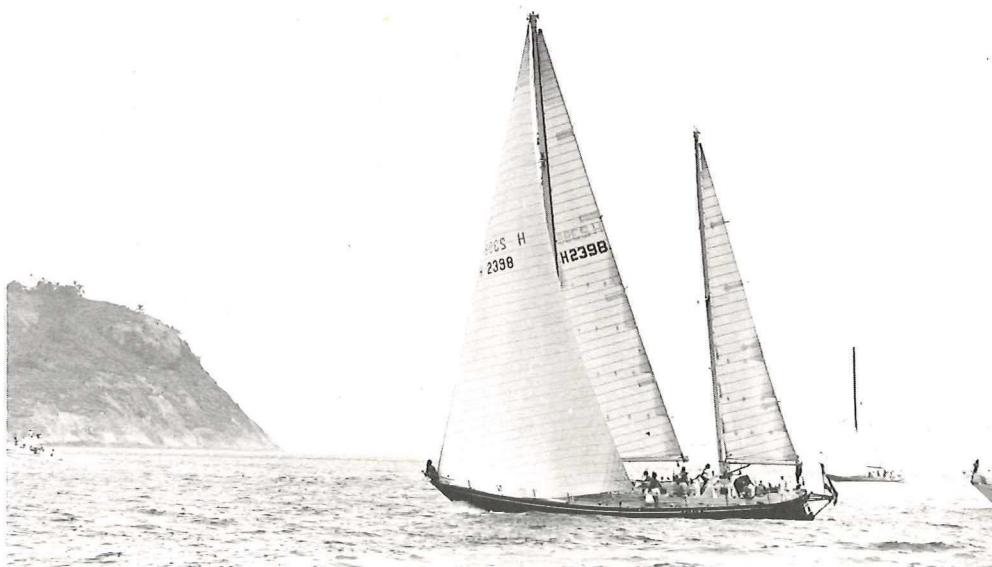
dan de invalshoek van de wind op de zeilen, de dichtheid van water is ongeveer 800 maal zo groot als die van lucht en de verhouding scheepssnelheid/windsnelheid is bij het aan de wind zeilen ongeveer 0,5.

Omdat de reactiekrachten evenredig zijn met de dichtheid, de invalshoek en het kwadraat van de instroomsnelheid moet het zijoppervlak van kiel en roer ongeveer drie à vier procent van het zeiloppervlak bedragen. Dit percentage is uiteraard slechts een grove indicatie, omdat bijvoorbeeld óók de *vorm* van de kiel en het roer belangrijk zijn. Voorts is aangenomen dat de romp een te verwaarlozen aandeel in de dwarskracht levert. De romp is een slecht 'draagvlak' dat relatief veel weerstand heeft en weinig lift levert. Bij moderne zeiljachten is dit opvallend omdat romp, kiel en roer duidelijk van elkaar gescheiden zijn, en waarbij kiel en roer een grotere aspectverhouding hebben dan andere oudere typen.

Wanneer we een modern wedstrijdjacht vergelijken met een veel ouder type dat voorzien is van een lange met de romp geïntegreerde kiel, dan blijkt dat de 'oude' kiel ondanks het grote

Onder: Het succesvolle zeewedstrijdijacht 'Flyer', van jachtontwerper Huisman te Vollenhove, heeft een hoog en slank zeilplan om de geïnduceerde luchtweerstand gering te houden.

Rechts: Het zeilplan van de 'Chief Aptakisis' van de Bermuda vertoont langsscheepse en dwarscheepse zeilen, om zowel vóór de wind als aan de wind redelijke zeileigenschappen te garanderen.





lateraaloppervlak door de geringe slankheid veel minder effectief is. Dit wordt veroorzaakt door de grote geïnduceerde weerstand en door het grote 'natte' oppervlak dat een grote wrijvingsweerstand veroorzaakt. (Zowel het zeil, als kiel en roer veroorzaken alle een geïnduceerde weerstand). Het moderne jacht kan veel hoger aan de wind zeilen en een veel hogere snelheid bereiken. Ook voor kiel en roer geldt, dat de geïnduceerde weerstand mede bepaald wordt door de aspectverhouding. Dit heeft aanleiding gegeven tot slanke roeren en kielen, terwijl het natte oppervlak in de loop der jaren drastisch verminderd is.

Kielen en roeren lijken veel op vleugels en staartvlakken van moderne vliegtuigen en het is dan ook niet verwonderlijk dat de vormgeving ervan (vorm, profieldoorsneden) onder andere steunt op gegevens van vliegtuigvleugels.

### De weerstand van een jacht

De romp van een jacht levert maar weinig lift; in hoofdzaak nemen kiel en roer die rol voor hun rekening ten koste van betrekkelijk weinig weerstand (wrijvingsweerstand en geïnduceerde weerstand). De weerstand van de romp is van groot belang voor de te behalen snelheid, zowel aan de wind als op ruimere koersen. De weerstand bestaat ruwweg uit de wrijvingsweerstand, de restweerstand en de geïnduceerde weerstand.

De wrijvingsweerstand is vrijwel evenredig met het natte oppervlak, de restweerstand bestaat hoofdzakelijk uit de golfweerstand, die afhankelijk is van de vorm van het onderwaterdeel van het jacht. De geïnduceerde weerstand houdt verband met de effectieve aspectverhouding van de combinatie romp, kiel en roer en ontstaat bij het varen met een drifthoek. Bij de maximale snelheid aan de wind geldt ruwweg dat de wrijvingsweerstand, de restweerstand en de geïnduceerde weerstand ongeveer even groot zijn (zie Fig. 12).

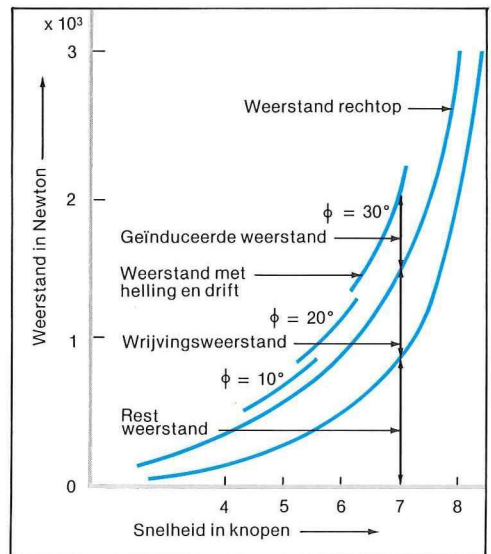
De golfweerstand houdt verband met het golfsysteem dat door het jacht wordt opgewekt. Als de snelheid toeneemt dan neemt niet alleen de hoogte maar ook de lengte van de opgewekte golven toe. De scheepssnelheid waarbij de lengte van de opgewekte golf gelijk is aan de waterlijn-lengte van het jacht noemt men de rompsnelheid, waarvoor geldt:

$$v_s = 0,40 \sqrt{gL}$$

waarin  $v_s$  de scheepssnelheid in m/s,  $L$  de lengte op de waterlijn in meter en  $g$  de versnelling van de zwaartekracht in  $m/s^2$  is.

Bij hogere snelheid neemt de golfweerstand heel sterk toe. Hogere snelheden zijn met ruime wind en voor de wind wel te bereiken door een zeer grote voortstuwende kracht (groot zeiloppervlak door toepassing van bijvoorbeeld een spinnaker) en/of door het 'surfen' (planeren) het afglijden van een golfhelling bij het voor de wind varen. In extreme gevallen wordt wel twee maal de rompsnelheid mogelijk geacht. Aan de wind bereikt een modern zeiljacht maximaal 90% van de rompsnelheid.

De ontwerper tracht door de vormgeving van het jacht de weerstand zo klein mogelijk te houden. De huidige tendens is gericht op zeer lichte constructies, waardoor eveneens de weerstand wordt beperkt. Tevens tracht men de surfeigenschappen te bevorderen door het achterschip een vlakke vorm te geven. Ook in de jachtbouw blijft men streven naar een verbetering van de prestaties. Uiteraard is dat niet beperkt tot de snelheid die een jacht kan bereiken. Stabiliteit, gedrag in zeeegang, stuur- en manoeuvreereigenschappen zijn óók van belang en ook daar kan de technische wetenschap een handje helpen om betere zeiljachten te kunnen ontwerpen en te produceren.





## Modelonderzoek

Evenals voor koopvaardij- en marineschepen zijn proeven met modellen van zeiljachten een nuttig hulpmiddel gebleken. De pionier van het modelonderzoek ten behoeve van zeiljachten was ongetwijfeld de Amerikaanse professor Kenneth Davidson, die in het begin van de jaren dertig sleepproeven uitvoerde in het zwembad van het Stevens Institute of Technology te Hoboken in New Jersey. De proeven, onder andere op verzoek van de beroemde jachtontwerper Olin Stephens, bleken goede resultaten op te leveren en werden voortgezet in de sleeptank van het instituut, welke spoedig daarna gebouwd werd.

Men voert sleepproeven met jachten uit met diverse combinaties van helling en drifthoek. Men meet in die verschillende toestanden de weerstand  $F_{H1}$ , de dwarskracht  $F_{H2}$ , de hellingshoek  $\varphi$  en de drifthoek  $\lambda$ , (zie Fig. 4, 5 en 6). Ook geven de proeven het effectieve lateraalpunt en gegevens over de stabiliteit in varende toestand. Met in achtname van de zogenaamde modelwetten (zie Blok en Dekker, 1980) kunnen deze gemeten krachten en momenten overgeschaald worden naar het prototype (zie de foto's hieronder).

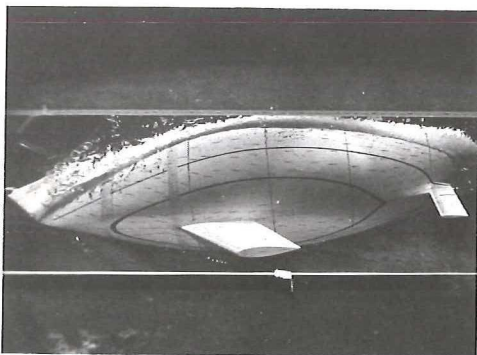
De resultaten van de metingen worden gebruikt om de invloed van de vorm van het jacht en van de kiel-roer configuratie op de te

behalen snelheid vast te stellen. Onderlinge vergelijking van de merites van alternatieve ontwerpen is mogelijk en een toetsing aan eerder beproefde modellen is een voortdurende opbouw van de reeds bestaande kennis.

Bij de bepaling van de te verwachten prestaties van een jacht wordt gebruik gemaakt van standaard zeilkrachtcoëfficiënten, zoals die door Davidson op ware grootte met het jacht 'Gimcrack' zijn bepaald. De 'Gimcrack'coëfficiënten blijken ook nu nog bruikbaar te zijn (Davidson, 1936).

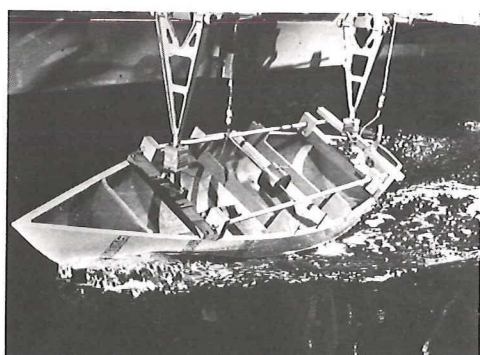
Het onderzoek naar de eigenschappen van de zeilen kan óók op modelschaal uitgevoerd worden. In een windtunnel kan men met een schaalmodel van de zeilen de windkrachten meten als functie van de windsnelheid, de invalshoek van de wind en de vorm van de zeilen. Dergelijk onderzoek heeft incidenteel plaats gevonden. Het bekende boek van Marchaj geeft daarover veel bijzonderheden, onder andere over het werk dat in de windtunnel van de Universiteit van Southampton in Engeland werd uitgevoerd.

In het Laboratorium voor Scheepshydromechanica van de Technische Hogeschool te Delft wordt onderzoek op het gebied van zeiljachten uitgevoerd, onder andere in samenwerking met een werkgroep bestaande uit een aan-



Links: Fig. 12. De onderverdeling van de weerstandscomponenten van een zeiljacht dat onder helling en met een drifthoek vaart. In de figuur zijn drie hellingshoeken ingetekend, namelijk  $\varphi = 10^\circ, 20^\circ$  en  $30^\circ$ .

Hierboven: Een onderwaterfoto (fish eye view) van een model van een zeiljacht dat met een helling en drifthoek vaart. Op de romp zijn wollen draadjes geplakt



om de stroomrichting langs de huid zichtbaar te maken. Op de rechter foto hetzelfde model maar dan boven water gefotografeerd. De bevestiging aan de sleepwagen is zodanig dat géén verticale krachten op het model worden uitgeoefend. Deze foto's werden gemaakt in de sleeptank van het Laboratorium voor Scheepshydromechanica van de Technische Hogeschool te Delft.

tal bekende Nederlandse jachtontwerpers en -onderzoekers. In 1966 startte deze groep met veel interessant onderzoek.

Een belangrijk object is een systematisch gevarieerde serie zeiljachtmodellen, die alle zijn afgeleid van één moedermodel, de Standfast 43 van de ontwerper Frans Maas. In totaal zijn 22 modellen beproefd; de resultaten van de eerste negen modellen zijn reeds gepubliceerd (HISWA Symposium, 1977), ten dienste van de jachtarchitecten (zie de tekeningen rechts-onder). Voor een individueel jachtontwerp kan door interpolatie een equivalent model uit de serie bepaald worden. Hierdoor zijn de prestaties van het ontwerp met redelijke nauwkeurigheid te schatten.

De Amerikanen gebruiken deze mogelijkheid als proef om de handicap voor zeezeilwedstrijden vast te stellen, als onderdeel van het H. Irving Pratt Ocean Race Handicapping Project uitgevoerd door het Massachusetts Institute of Technology. Dit Amerikaanse project is geheel gebaseerd op de eerste negen modellen van de Delftse Systematische serie (Kerwin en Newman, 1979).

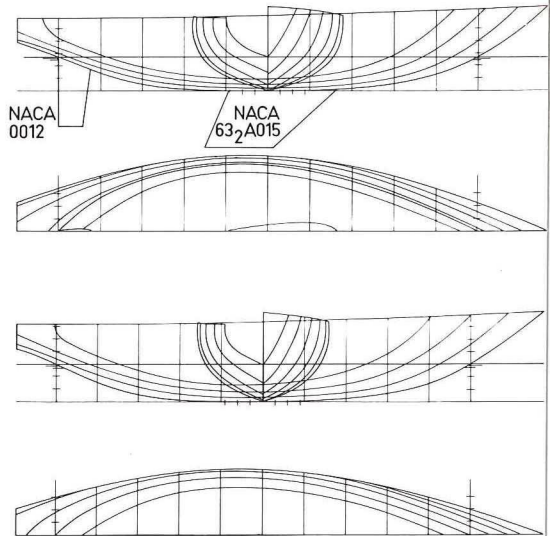
### Zeilende vrachtschepen?

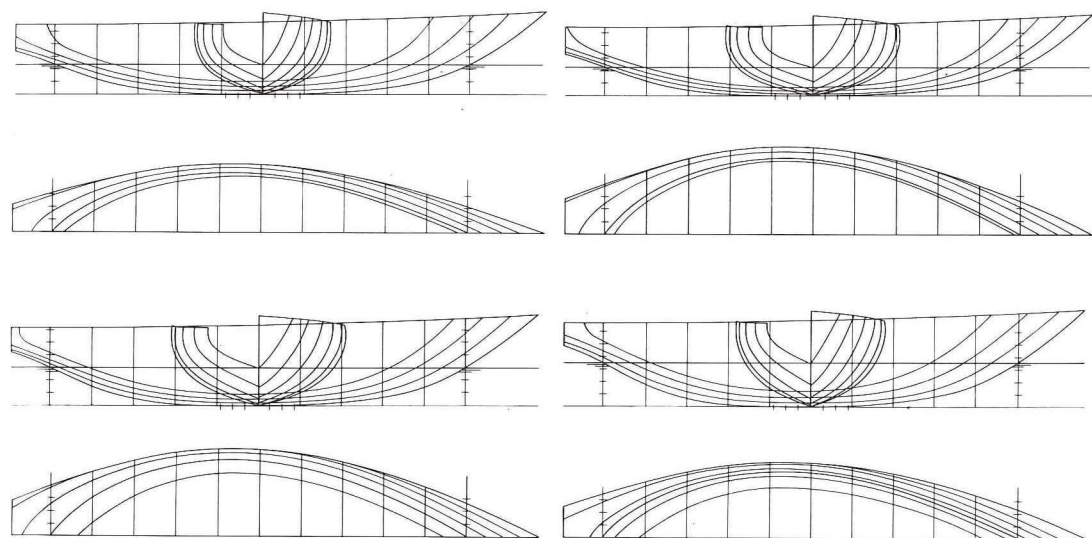
In 1979 organiseerde de Royal Institution of Naval Architects in Londen een symposium over de toepasbaarheid van zeilvoortstuwing

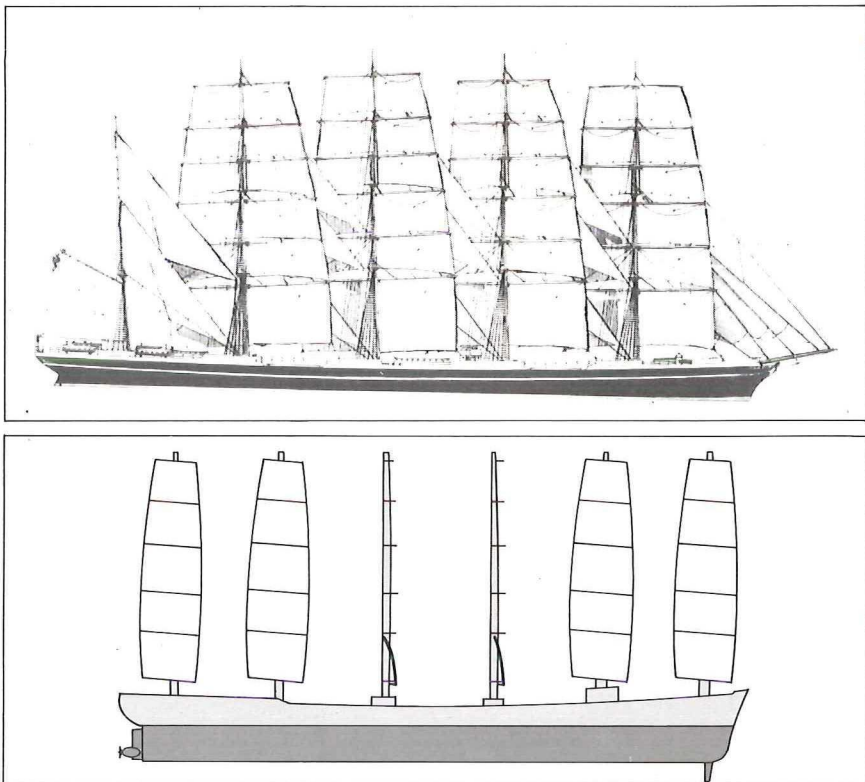


Rechtsboven: Vóór de wind geeft een spinnaker een aanzienlijk hogere snelheid dan alléén met langsscheepse zeilen (fok of gena, grootzeil) mogelijk is.

Rechts: De lijnenplannen van enkele rompvormen van de systematische modelserie, die in het Laboratorium voor Scheepshydronechanica van de Technische Hogeschool te Delft zijn onderzocht. Dit zijn vijf voorbeelden van de twee-en-twintig modellen, waaruit de serie bestaat. Alle modellen zijn van één moedermodel afgeleid door middel van 'computer graphics'. De weerstand en de dwarskracht zijn gemeten bij een aantal combinaties van snelheid, hellingshoek en drifthoek (zie de foto's op pag. 419). Deze gegevens kunnen gebruikt worden om de prestatie van een bepaald ontwerp te berekenen. Dergelijke gegevens zijn van belang voor de jachtontwerper die in een vroeg stadium een idee wil hebben van de eigenschappen van zijn ontwerp en géén kostbare modelproeven kan laten uitvoeren.





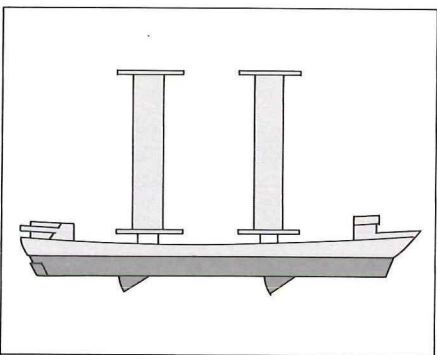
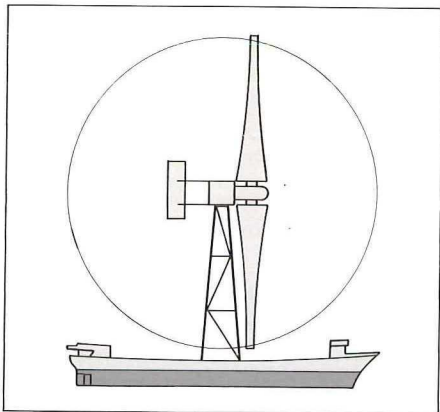


op vrachtschepen met het oog op mogelijke energiebesparing. In de discussies over dit onderwerp waren drie meningen. Er was een stroming die de technologie van grote zeilschepen in de 19e eeuw weer wilde oppakken en moderniseren met moderne ontwerptechnieken, materialen, navigatie-hulpmiddelen, etc. Een voorbeeld daarvan is het ontwerp van het 12 000 tons 'Windrose Ship' met een lengte van 137 meter en 6000 m<sup>2</sup> zeiloppervlak. Het ontwerp voorziet in een hulpmotor die het schip zonder zeilvoorstuwning een dienst snelheid van 12 knopen kan geven. De maximum snelheid onder zeil zou 22 knopen zijn (zie de tekening geheel boven).

Daarnaast werd een geheel nieuwe aanpak gepropageerd, bijvoorbeeld het toepassen van windmolen of windturbine schepen, waarvan de principeschets geheel rechtsboven is gegeven of het 'Flettner Rotor' schip (rechtsboven)

waarbij lift en daarmee stuwkracht geproduceerd wordt als draaiende verticale cilindervormige cilinders door de wind aangestroomd worden (reeds in 1925 op de 'Buckau' toegepast). Ook werd voorgesteld zeilen met een meer efficiënte vorm of gemakkelijker te hanteren zeilen toe te passen, zoals op het 160 meter lange 'Dynaship', ontworpen door Wilhelm Proels van de Universiteit van Hamburg (tekening hierboven). Uit de berekende prestaties van dergelijke zeilschepen in vergelijking met de 'Pamir' blijkt, dat ze sneller en hoger aan de wind kunnen varen.

De dwarsgetuigde schepen hebben het bekende nadeel van de beperkte mogelijkheid om aan de wind te varen. Langsgetuigde schoeners zijn in dat opzicht beter maar zijn voor de wind minder effectief. Het windturbine schip heeft goede prestaties op alle koersen ten opzichte van de windrichting en dat heeft uiter-



Links: Een viertal voorbeelden van scheepsontwerpen welke (in de toekomst) hun voortstuwing aan de wind zouden kunnen ontleneren.

Geheel links: Het 'Windrose' schip is een verdere ontwikkeling van de grote zeilschepen van de 19e eeuw. Het schip heeft een lengte van 137 meter en een zeiloppervlak van 6000 m<sup>2</sup>.

Hiernaast: Een principeschets van een windturbineschip. Het schip kan recht tegen de wind in varen.

Geheel links, onder: Het 'Dynaship' heeft een tuigage die met een véél kleinere bemanning bediend kan worden dan bij de 19e eeuwse zeilvrachtschepen het geval was. Mechanische kracht bij het strijken en zetten van de zeilen vervangt hier 'ellebogenstoom'.

Linksonder: Bij het 'Flettner Rotor' schip wordt een bekend principe uit de stromingsleer toegepast: een roterende cilinder ondervindt in een stroming (de wind) een kracht die loodrecht op die stroming is gericht (vergelijk hiermee de liftkracht L in Fig. 9). Daardoor werkt zo'n roterende cilinder net als een zeil.

#### Bronvermelding illustraties

Alistair Black, Lee on Solent, Engeland: pag. 404-405, 417. Vereniging Nederlandsch Historisch Scheepvaart Museum, Amsterdam: pag. 406-407 onder.

Uit: B. Landström, *Het schip*. Gaade, Amerongen: pag. 407 boven.

Uit: D. MacGregor, *Fast Sailing Ships*. Nautical Publishing Co. Ltd, Lymington, Hampshire: pag. 407 rechtsonder.

Reklamebureau P. Hardam, Krimpen aan de Lek: pag. 408-409.

Theo Kampa, Bloemendaal: pag. 410-411, 414, 420-421.

Reklamebureau Paul Knoop, Vinkeveen: pag. 412.

Jachtwerf Huisman, Vollenhove: pag. 416.

Afd. Scheepsbouw en Scheepvaartkunde, TH Delft: pag. 419.

Uit: Journal of the Royal Institution of Naval Architects, sept. 1979: pag. 422-423.

aard grote voordelen. De Engelsen hebben daarom een groot ingenieursbureau opgedragen de mogelijkheden van dit type grondig te onderzoeken.

Een derde groep stelde voor energie te besparen door hulpzeilvermogen op bestaande vrachtschepen toe te passen. Men verwacht daarmee 10 procent brandstofbesparing voor een reeks van scheepstypen te kunnen bereiken. Een merkwaardig hulpzeil van 600 m<sup>2</sup> werd gebruikt om brandstof te besparen bij het slepen van een booreiland. Dit is waarschijnlijk het grootste zeil dat ooit gemaakt werd. Met de aanwezige hijswerktuigen van het booreiland kon men het gigantische zeil in 70 seconden strijken. De energiebesparing was in dit geval zeer de moeite waard. De gezagvoerder van het booreiland die het idee opperde, is in zijn vrije tijd een zeiler; een ander zou misschien niet op het idee gekomen zijn.

#### Literatuur

Blok, J. J., Dekker, J. N., (1980). *Afmeren en olie-laden op volle zee - Modelonderzoek en toepassing van één-punts-meersystemen*. Natuur en Techniek 48, 2, pag. 138-157, Cat. nr. 580.

Davidson, K. S. M., (1936). *Some Experimental Studies of the Sailing Yacht Transactions*. Society of Naval Architects and Marine Engineers.

*Groot Vaarboek*, (1979). De Boer Maritiem.

Hammit, A. G., *Technical Yacht Design*. Adlard Coles Limited.

Kampen, H. C. A. van, *De Zeilsport*. P. N. van Kampen en Zoon, Amsterdam.

Kerwin, J. E., Newman, J. N., (1979). *A summary of the H. Irving Pratt Ocean Handicapping Project*. Society of Naval Architects and Marine Engineers, Chesapeake Sailing Yacht Symposium 1979.

Landström, Björn, (1961). *Het Schip*. W. Gaade, Den Haag.

Marchaj, C. A. *Sailing Theory and Practice*. Adlard Coles Limited.

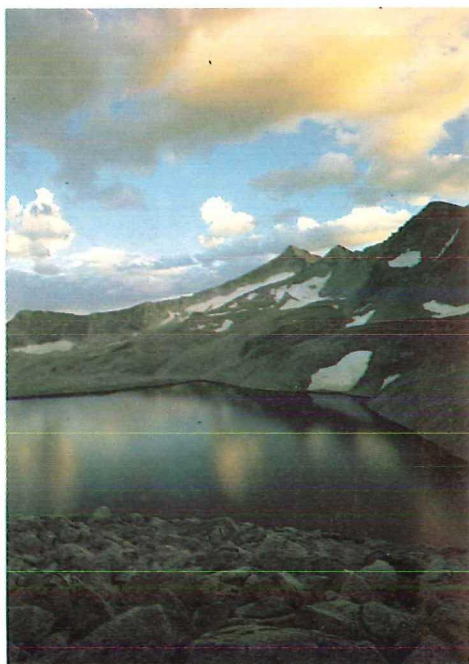
*Skene's Elements of Yacht Design*, revised by F. S. Kinney. Adam & Charles Black, London.

Verslagen van de HISWA Symposia, 1969, 1971, 1973, 1975, 1977, 1979.

Tennekes, H., (1979). *Schaalregels in de vliegekunst*. Natuur en Techniek 47, 3, pag. 180-199.

# De Aarde

De Aarde is meer dan de andere binnenplaneten aan voortdurende veranderingen onderhevig. Deze veranderingen zijn tweeledig. Aan de ene kant staan de processen die zich binnen de Aarde afspelen, welke aanleiding geven tot gebergtevorming en vulkanisme. De 'motor' voor deze inwendige veranderingen is de warmte die vrijkomt bij natuurlijke radioactieve vervalsprocessen. De radioactieve isotopen zijn sterk geconcentreerd in de continentale korst. Deze ongelijke verdeling leidt tot een opdeling van de aardkorst in een aantal continentale en oceanische platen die onafhankelijk van elkaar bewegen. De processen die zich anderzijds aan het aardoppervlak afspelen, hebben te maken met de aanwezigheid van grote hoeveelheden water; hierdoor verjongt zich voortdurend het aardoppervlak en worden de sporen van de vroegere aardgeschiedenis geleidelijk uitgewist.



Boven: Water in de vorm van ijs, regen of stromend water bepaalt het gezicht van de Aarde en maakt deze tot een unieke planeet. Op de foto het Pierre Lake in de Rocky Mountains, Colorado, USA.

Rechts: De Aarde bestaat uit 'schillen' van verschillend soortelijk gewicht. De korst (1) is meestal 10-50 km dik en grotendeels van graniet en basalt. De korst wordt door de Moho (2) gescheiden van de mantel (3), die 2900 km dik is. Er vinden hier convectiestromingen (6) plaats. De buitenkern (4) is vloeibaar door de hitte; de binnenkern (5) is door de hoge druk weer vast.