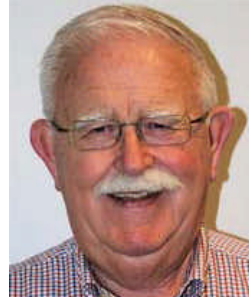


## BEPALEN VAN HET VERMOGEN VAN EEN SCHEEPDIESELMOTOR OP VOLLE ZEE IN DE VIJFTIGER JAREN VAN DE VORIGE EEUW

In mijn eerder in dit blad verschenen "autobiografie" (MIR50) heb ik al eens uit de doeken gedaan hoe ik als afgestudeerd HTS-er Werktuigbouw in 1957 als assistent-werktuigkundige bij de koopvaardij (onder insiders ook bekend als De Christelijke Zeevaart) terechtkwam.

Mijn eerste schip in die functie was het M.S. Stentor van de KNSM (Koninklijke Nederlandse Stoomboot Maatschappij), een mooi schip (**figuur 1**) van 2200 BRT met een door de Fa. STORK in Hengelo (Ov) gebouwde 2-tact hoofdmotor. Dit was een 7-cilinder STORK-HESSLMANN trunkzuigermotor met als maten: zuigerdiameter 540 mm, slag 900 mm, 155 omw/min, vermogen 2200 pk. Ik kwam daar de 4-8-wacht te lopen, onder leiding van de tweede WTK en buiten dat wachtlopen werden er verder ook nog andere werkzaamheden verricht tijdens het z.g. "Torn Toe" van 09.00 uur tot 12.00 uur.



Die eerste reis ging van Amsterdam via Funchal (Madeira), Georgetown (Barbados). Port of Spain (Trinidad) naar Paramaribo. En dus behelsde die reis een oversteek, waarin die motor onafgebroken een dikke week in bedrijf was, waardoor een stabiele bedrijfstoestand werd bereikt.

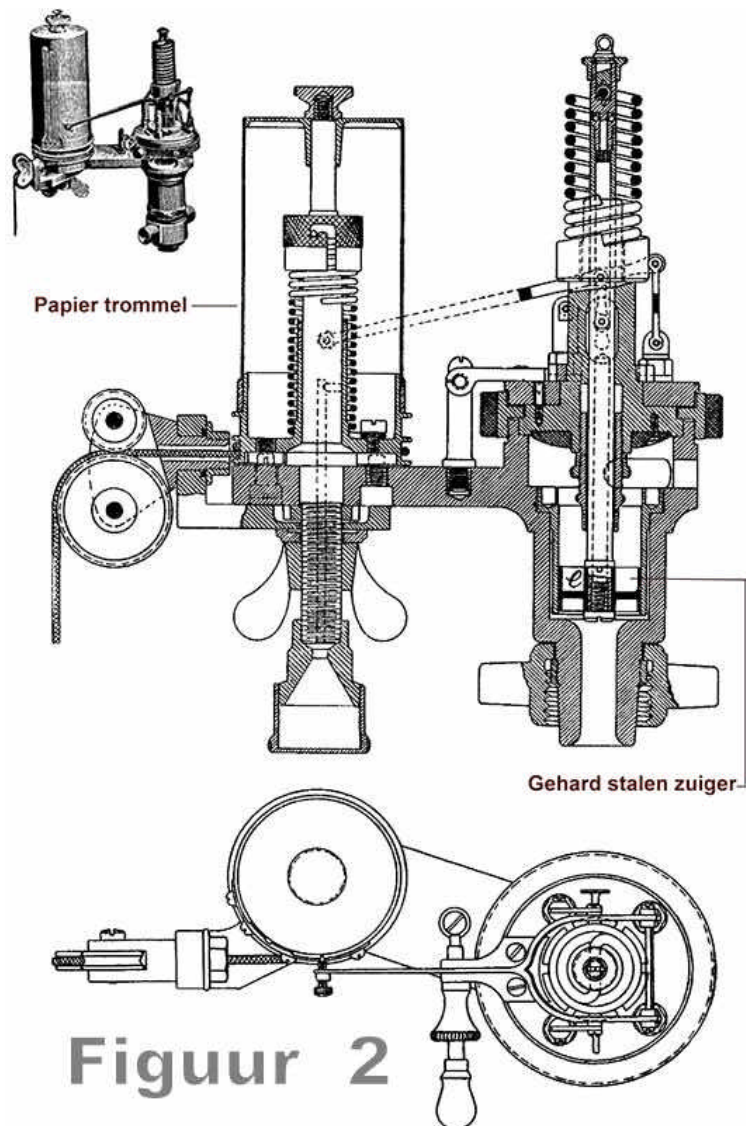
Midden op die oversteek op een dag met mooi weer en een vlakke zee met weinig of geen wind moest ik 'smorgens de derde WTK assisteren bij het nemen van indicateurdiagrammen van de hoofdmotor. Dat moet bij mooi weer en rustige zee gebeuren, want dan is de belasting van de hoofdmotor zo gelijkmatig mogelijk.

Om dit duidelijk te maken moet ik eerst een klein stukje praktische informatie over dit fenomeen geven. Bij zo'n grote, langzaamlopende scheepsmotor zit er op elk cilinderdeksel een indicateurkraan of -afsluiter. Als die geopend is, bestaat er een open verbinding tussen de betreffende verbrandingsruimte en de buitenlucht. Tevens vind je bij elk cilinderdeksel een met de zuiger op en neer bewegend stangetje o.i.d., maar met een veel kleinere slag dan de zuiger zelf. Op de indicateurkraan kan een z.g. indicateurtoestel (**figuur 2**) worden aangesloten, dat in principe uit de volgende delen bestaat: Een op de indicateurkraan passende wartelaansluiting, een cilinder met een zuigertje erin dat op en neer kan bewegen, een veer die bij het bewegen van dat zuigertje ingedrukt wordt, een schrijfstift die nauwkeurig de beweging van het zuigertje volgt en een draaibare

rechtopstaande cilindervormige trommel waarop een blaadje papier kan worden geklemd. De veer is verwisselbaar; er worden namelijk verschillende veren met het indicateurtoestel meegeleverd, zodat je de veer kunt gebruiken welke hoort bij het betreffende drukgebied. Deze hele winkel zit in een mooi houten kistje (**figuur 3**) en dient voor het nemen van een indicateurdiagram, een diagram van het drukverloop van het arbeidsproces in de cilinder als functie van de slag.

Hoe ging dat nu in zijn werk? Allereerst was het altijd bloedheet op de top van de motor bij die cilinderdeksels, dus zweten geblazen, zeker in de tropen. Het indicateurtoestel werd op de indicateurkraan van het betreffende cilinderdeksel geplaatst, nadat de kraan eerst gedurende een paar verbrandingen doorgeblazen was, waarbij elke keer een steekvlam uit die kraan kwam. Met speciaal gereedschap werd daarna het indicateurtoestel vastgezet op de indicateurkraan, want het was ondertussen te heet geworden om met blote handen aan te pakken. Vervolgens werd er een speciaal indicateurpapiertje om de trommel geklemd. Dit papiertje was dusdanig geprepareerd dat je er met de messing schrijfstift van het indicateurtoestel op kon schrijven. Daarna werden de volgende handelingen verricht, waarbij indien vereist de schrijfstift tegen het papier gedrukt werd:

1. Het trekken van de atmosferische lijn met de hand.
2. Het openen van de indicateurkraan.
3. Het trekken van een paar verbrandingslijntjes. Hierbij wordt de trommel met de hand telkens een heel klein stukje verder gedraaid.
4. Het trekken van een paar compressielijntjes, waarbij de trommel op dezelfde manier als in het vorige punt wordt bewogen. Bij het trekken van de compressielijntjes wordt de brandstof toevoer naar de betreffende cilinder tijdelijk even onderbroken, zodat er geen verbranding optreedt.



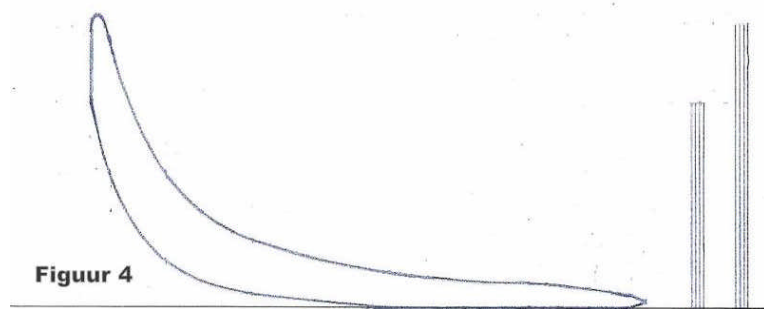
**Figuur 2**



**Figuur 3**

5. Het verbinden van het indicateurtoestel met het reeds genoemde op en neer bewegende stangetje, door middel van een niet rekbaar koord dat over een paar rolletjes wordt geleid (zichtbaar in de figuren 2 en 3), zodanig dat de trommel met papier synchroon met de slag van de motorzuiger heen en weer draait.
6. Het trekken van een compleet indicateurdiagram.
7. Het sluiten van de indicateurkraan, het losmaken van het koord en het verwijderen van het diagram.
8. Het afnemen van het indicateurtoestel en dit gereedmaken voor het nemen van een diagram van de volgende cilinder.

Het resultaat was dan een aantal papiertjes die er ongeveer uitzagen als op figuur 4. Meestal werden



er twee sets van dergelijke papiertjes gemaakt en die werden dan bij de hoofdwerktuigkundige afgegeven en verder hoorde je er dan nooit meer wat van, zoals de oude rotten aan boord mij wisten te vertellen. Ik kan me voorstellen dat u zich nu afvraagt wat het belang van dit relaas voor een verzamelaar van reken- en tekentuig is, maar dan moet u eerst het vervolg maar eens lezen.

De volgende dag werd ik ontboden bij de HWTK en bij die gelegenheid werden het kistje met de indicateur en toebehoren, een tekenplank, een doosje punaises, een dik boek en nog een andere zwarte doos in mijn handen gedrukt met als opdracht: Reken jij die diagrammen even uit en vul dan gelijk dat boek even in. Hij voorzag me nog van een aantal andere gegevens, zoals trim- en diepganggegevens, de werkelijke vaart van het schip (allemaal afkomstig uit het dekjournaal) en ook nog van het machinekamerjournaal. Hij zei dat het een heel speciaal karweitje was en dat hij dat aan mij gaf, omdat ik een HTS-er was en het voor mij gesneden koek zou zijn, want alles wees zich vanzelf.

Ik met de hele santenkraam terug naar mijn hut en daar eens gekeken wat voor vlees ik in de kuip had. Dat boek stond vol met blanco pagina's waarop ruimte was om een complete set indicateurdiagrammen netjes in te plakken. Er stond reeds een behoorlijk aantal in, maar er was genoeg ruimte voor nog meer. Verder was het boek achterin nog voorzien van een uitklapgedeelte van stevig papier vol met kolommen waarin gegevens moesten worden ingevoerd die ik deels van de HWTK gekregen had en deels moest opscharrelen uit het machinekamerjournaal. Het ging hier om gegevens zoals, in volkomen willekeurige volgorde: datum en tijd, windrichting, windkracht, toestand van het zeeoppervlak, snelheid, spoed van de schroef, slip van de schroef, koers, diepgang en trim, luchttemperatuur, zeewatertemperatuur, uitlaatgassentemperaturen, zoetwatertemperaturen voor en na de zoetwaterkoeler, smeerolietemperaturen voor en na de smeeroliekoeler, zoutwatertemperatuur voor en na de koelers, stand van het brandstofhendel, spoelluchtdruk, toerental, brandstofverbruik, en wat al niet meer. Uit een aantal van die gegevens moesten weer heel wat andere gegevens worden berekend en dat moest allemaal netjes in de bijbehorende kolommen worden opgeschreven. Maar het allerbelangrijkste was natuurlijk, dat het ontwikkelde vermogen in de afzonderlijke cilinders van de hoofdmotor moest worden bepaald. Voor dat laatste had je dan die indicateurdiagrammen nodig, want uit die diagrammen werden de volgende gegevens bepaald:

1. De compressie-einddruk per cilinder
2. De maximum verbrandingsdruk per cilinder
3. De gemiddelde effectieve druk per cilinder

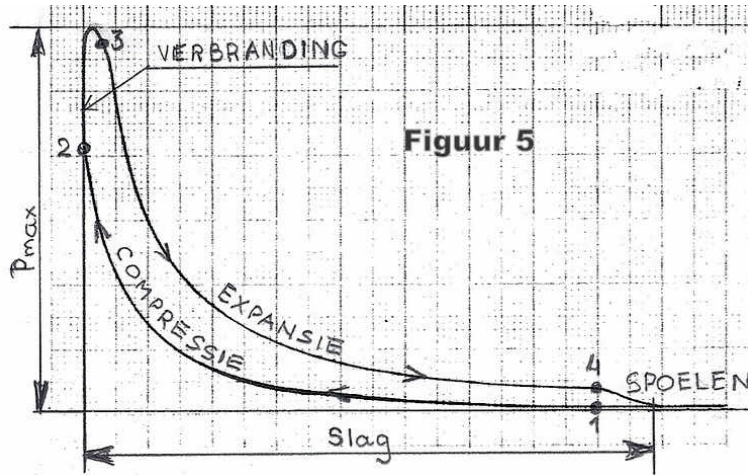
Nu wordt het weer even tijd om eens wat nader te kijken naar onze indicateurdiagrammen, en dan zien we in figuur 4 dat we de compressie-einddruk en de maximum verbrandingsdruk eenvoudig kunnen opmeten met behulp van een liniaaltje dat hoort bij de toegepaste indicateurveer. Bij elke aanwezige veer behoort een apart liniaaltje. We leggen het liniaaltje bij de getrokken compressie- en verbrandingslijntjes en lezen de bijbehorende drukken direct af en noteren die per cilinder.

En daarna moeten we ook eens kijken naar de wijze van berekenen van het vermogen. Uit onze schooltijd herinneren we ons nog wel:

$$\text{VERMOGEN} = \text{ARBEID} / \text{TIJD}$$

Om de in een cilinder ontwikkelde arbeid per omwenteling te bepalen hebben we nu de beschikking over het indicatordiagram. Laten we zo'n diagram eens wat uitgebreider bekijken.

Zoals bekend doorloopt een 2-tact verbrandingsmotor gedurende 1 omwenteling 2 slagen, een compressieslag en een arbeidsslag.



In figuur 5 zien we de verschillende stadia van dit 2-tact-proces aangegeven d.m.v. de volgende punten:

1. Einde van het SPOELEN ( het uitdrijven van de verbrandingsgassen en het vullen van de cilinder met verse lucht), begin van de COMPRESSIE
2. Einde van de COMPRESSIE, begin van de inspuiting/VERBRANDING
3. Einde van de VERBRANDING, begin van de EXPANSIE
4. Einde van de EXPANSIE, begin van het SPOELEN

In figuur 6 zien we dat er bij de compressieslag arbeid nodig is om de zuiger omhoog te duwen (het gaat hier om een verticale scheepsmotor). Deze arbeid wordt voorgesteld door het **BLAUW** gekleurde vlak.

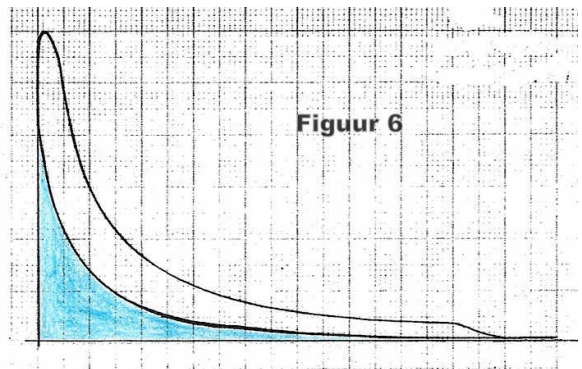
In figuur 7 zien we dat er bij de arbeidsslag arbeid aan de zuiger afgegeven wordt om de zuiger naar beneden te drijven. Deze arbeid wordt voorgesteld door het **ROOD** gekleurde vlak.

In figuur 8 zien we dat het verschil tussen de beide hoeveelheden de nuttige arbeid is die aan de zuiger wordt afgegeven en die de motor doet draaien. Deze arbeid wordt voorgesteld door het banaanvormige **GROEN** gekleurde vlak.

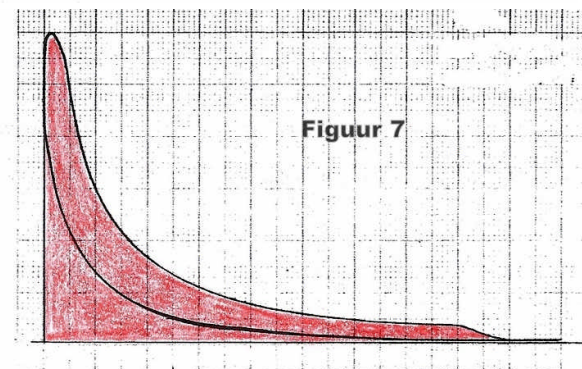
Het moeilijke is nu, dat we tijdens elke slag van de motor te maken hebben met een continu veranderende druk in de cilinder. We zouden liever hebben, dat die druk constant was: een constante gemiddelde effectieve druk gedurende de hele arbeidsslag.

We weten van onze diagrammen de lengte van de slag, dus als we het oppervlak van de "banaan" zouden weten, dan kunnen we de banaan vervangen door een eveneens **GROEN** gekleurde rechthoek (figuur 9) met een hoogte van de gemiddelde effectieve druk, die dus eveneens de nuttige aan de zuiger afgegeven arbeid voorstelt en waarmee we dan verder zouden kunnen rekenen.

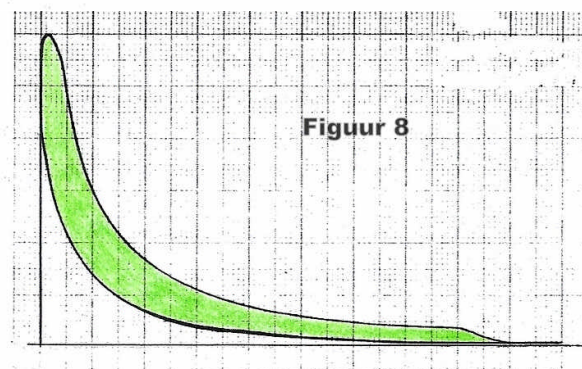
Nu wordt het tijd om de in het begin genoemde zwarte doos eens open te maken en dan blijkt er een poolplanimeter in te zitten. Dat is een meetinstrument waarmee het oppervlak van een gebied kan worden bepaald door met een volgstaaf de omtrek van dit gebied af te tasten. Deze planimeter (**figuur 10**) bestaat uit een nauwkeurig



Figuur 6



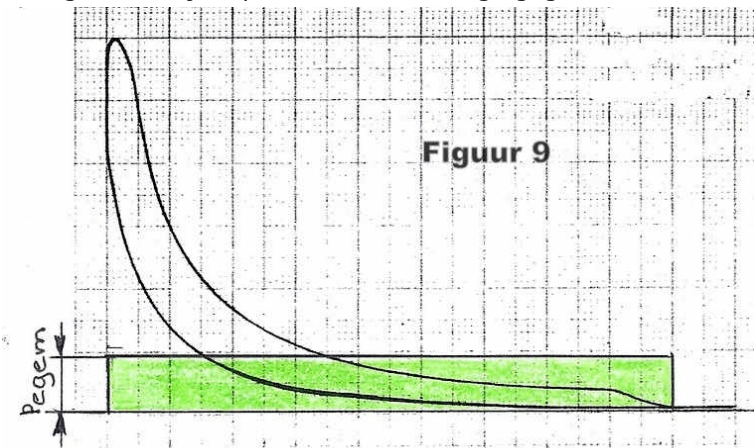
Figuur 7



Figuur 8

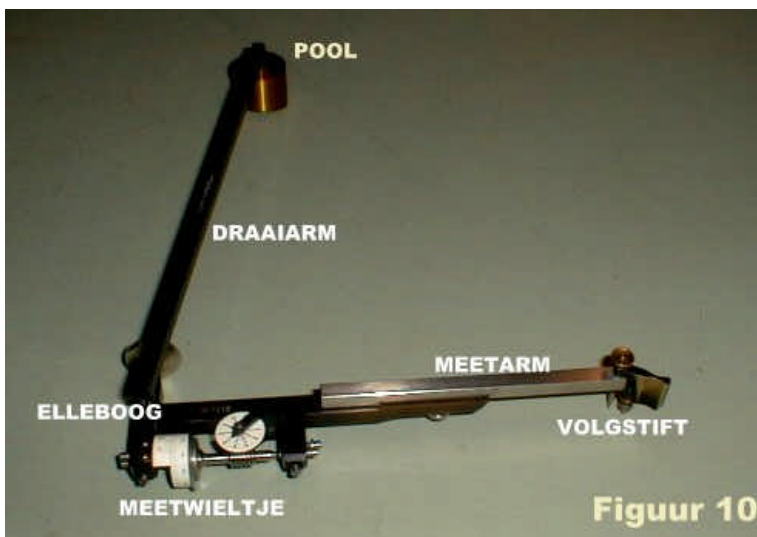
in de lengte verstelbare meetarm, die aan de ene kant voorzien is van een meetwiel met telwerk en aan de andere kant van een volgstift. Deze volgstift raakt het onder de planimeter liggende papier waarop het te meten gebied is afgebeeld net niet. Aan de andere kant is de meetarm in de elleboog scharnierend verbonden met de draaiarm, die zelf weer om de vaste pool kan draaien. De as van het meetwiel loopt evenwijdig aan de meetarm, zodat het wiel alleen maar kan draaien in de richting haaks op de arm. Het wiel meet de totale verplaatsing van de arm in de richting haaks op de arm en die verplaatsing is een maat voor de oppervlakte. Voor de liefhebbers: De werking van een poolplanimeter berust op de stelling van GREEN.

Volgens de bij de planimeter aanwezige gegevens wordt de lengte van de meetarm nauwkeurig



gecalibreerd en daarna wordt er op de tekenplank een indicateurdiagram onder de planimeter gelegd en gefixeerd met punaises. De pool van de planimeter wordt gefixeerd op de tekenplank en de volgstift wordt daarna op een "beginpunt" van het diagram gezet en de beginstand van het telwerk wordt opgeschreven.

Met de volgstift wordt de omtrek van het diagram zo nauwkeurig mogelijk gevolgd tot het "beginpunt" weer bereikt is. De eindstand van het telwerk wordt genoteerd. De begin- en eindstand worden van elkaar afgetrokken en dat was dan op de STENTOR het oppervlak van het diagram in vierkante millimeters. Om de meting zo zuiver mogelijk te maken werd dit drie keer gedaan en werd daarvan het gemiddelde genomen.



We weten nu van de in figuur 10 genoemde rechthoek het oppervlak en de lengte, dus we kunnen de hoogte bepalen en met het veellijniaaltje vertalen naar de gemiddelde effectieve druk. Nu nog eens:

We hebben nu alle informatie om de eerder genoemde relatie **VERMOGEN = ARBEID/TIJD** in te kunnen vullen.

Omdat dit verhaal meer dan 50 jaar geleden speelt, zullen we ons hierna bedienen van de destijds gebruikte eenheden, dus:

$$\text{vermogen} = \frac{\text{zuigeroppervlak} \times \text{gemiddelde effectieve druk} \times \text{slag} \times \text{toerental}}{75 \times 60}$$

- waarbij :
- Vermogen in pk (1 pk = 75 kgm/s)
  - Oppervlak in cm<sup>2</sup>
  - Druk in kg/cm<sup>2</sup>
  - Slag in m
  - Toerental in omw/min (rpm)

Omdat er 7 cilinders zijn, wordt op dezelfde manier het vermogen van de andere 6 cilinders berekend en worden alle 7 vermogens bij elkaar opgeteld om het totale vermogen te bepalen.

Natuurlijk is dit vermogen niet het effectieve vermogen, maar het z.g. indicateurvermogen, waarbij nog geen rekening is gehouden met allerlei rendementen, waardoor het effectieve vermogen kleiner uitvalt. Het effectieve vermogen werd echter in de berekeningen achterin het boek op uitgebreide wijze bepaald.

Om een lang verhaal kort te maken en tot de clou van dit verhaal te komen wil ik u het vervolg van mijn avonturen niet onthouden. Ik ben met het hierboven omschreven reken- en schrijfwerk precies twee ochtenden (09.00 - 12.00 uur) bezig geweest en toen was het klaar. Daarna ging ik toch wel een beetje trots naar de HWTK om hem het ingevulde diagrammenboek en zijn spullen terug te geven. Reactie: "Ben je nu al klaar? Dat kan nooit van zijn leven niet". Maar ik zei dat het toch wel zo was. Hij wilde toen wel erg graag weten hoe ik dat in vredesnaam zo gauw klaargespeeld had. Ik hielp hem uit de droom door hem te vertellen dat ik alles uitgerekend had met mijn ouwe trouwe NESTLER 23R (die overigens nog steeds in mijn bezit is) en dat dat wel even sneller ging dan al dat gecijfer met de hand, zoals het voorheen gedaan werd en tot slot vertelde ik hem ook nog dat ik voor geval van nood ook nog wel een logaritmentafel bij me had. Dat was trouwens wel een kwestie van puur geluk, want bij het pakken van mijn koffer had ik op het punt gestaan om lat en tafel toch maar thuis te laten. Gelukkig maar dat ik dat niet gedaan had. U mag raden wie in het vervolg op die boot als vaste prik de diagrammen uit mocht rekenen.

De moraal van dit verhaal, althans voor die tijd:

**GA NOOIT OFTE NIMMER DE ZEE OP ZONDER JE REKENLINIAAL EN JE LOGARITMENTAFEL!**