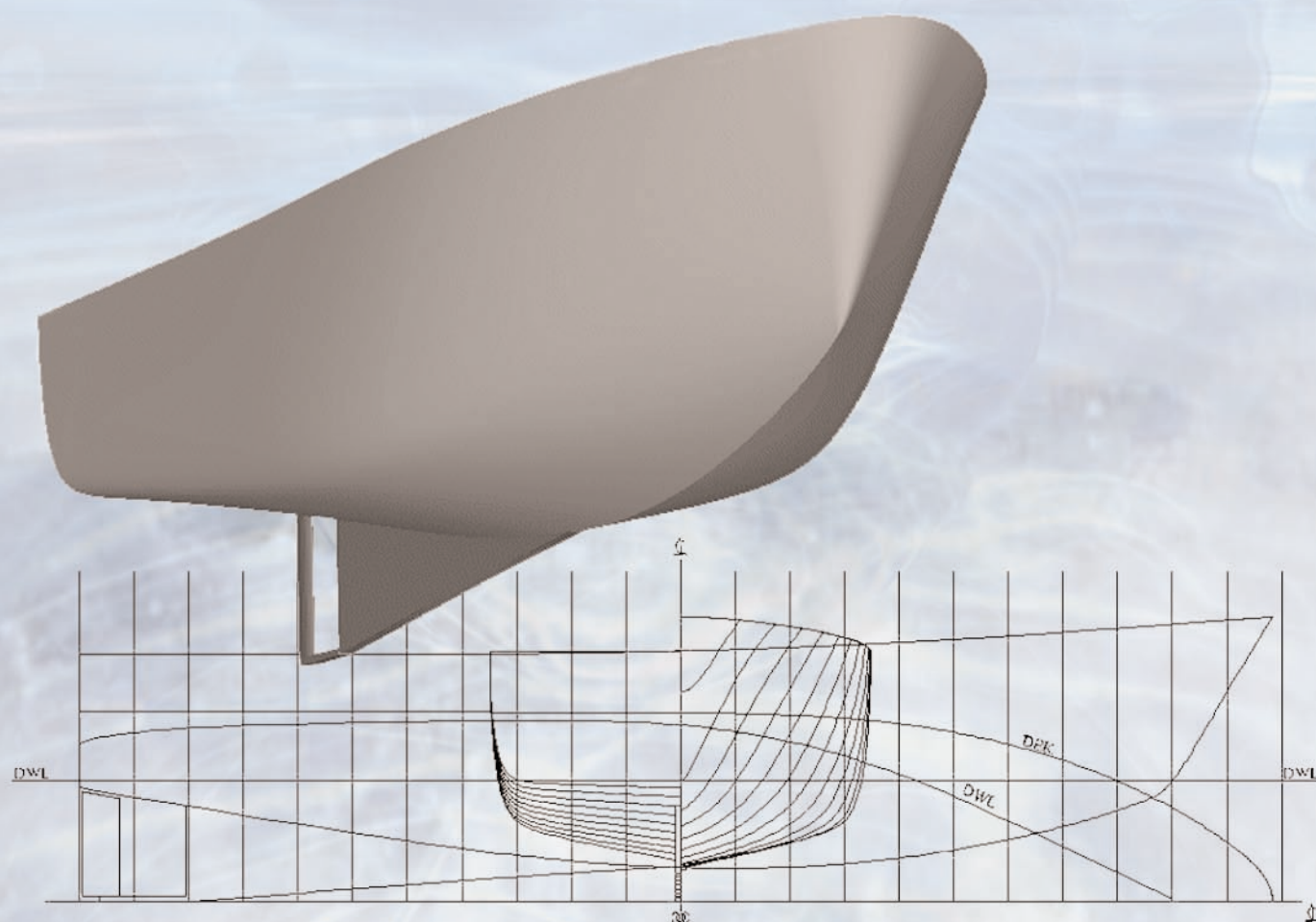
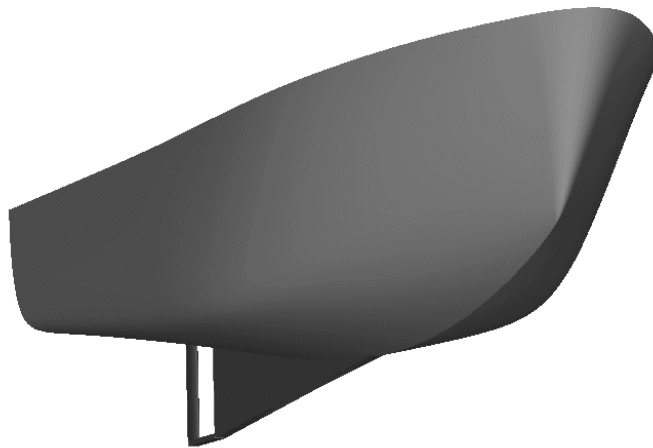
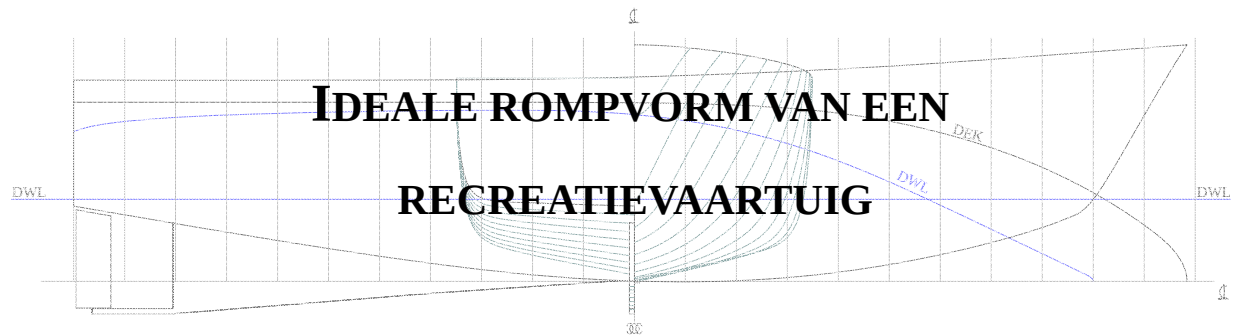


Ideale rompvorm van een recreatievaartuig

RIZA werkdokument 2003.181X



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat





Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat

Van Oossanen & Associates bv

IDEALE ROMPVORM VAN EEN RECREATIEVAARTUIG

In opdracht van:

Rijkswaterstaat/RIZA
Postbus 17
8200 AA LELYSTAD

Contactpersoon: Ing. G.B.J. Rijs

RIZA-werkdocument: 2003.181x

www.riza.nl

Uitgevoerd door:

Van Oossanen & Associates b.v.
Costerweg 1G
6702 AA WAGENINGEN

Auteurs: Ing. P.G. van Oossanen
Dr. Ir. P. van Oossanen

Projectnr: 02-096-05

www.oossanen.nl

April 2006

Samenvatting

In dit rapport worden de voornaamste resultaten gegeven van een studie naar de ideale rompvorm voor motorboten met een lengte tot ca. 15 m op de waterlijn. De doelstelling van de studie was het identificeren en kwantificeren van de onduurzaamheidsfactoren (brandstofgebruik, motoremissie, golfslag en geluid) die veroorzaakt worden door de niet-ideale rompvorm van de op de markt zijnde en momenteel varende recreatievaartuigen. Tevens werd gevraagd mogelijke oplossingen aan te geven voor het reduceren van deze onduurzaamheidsfactoren.

Een zestigtal bestaande motorboten zijn in dit kader geanalyseerd. Die konden worden opgedeeld in boten van het enkele knikspant principe, gedifferentieerd naar het specifieke type dat in Nederland wordt geproduceerd voor langzame snelheden, alsook naar het internationaal bekende type van de planerende rompvorm, naast boten met een rompvorm van het multiknikspant type. Slechts enkele rondspantvormen, met goede weerstandseigenschappen, konden worden geïdentificeerd onder deze 60 boten. Het blijkt dat vaak de als zgn. “rondspant” omschreven schepen slechts rompen met afgeronde knikken hebben. Van deze 60 schepen is de hydrodynamische weerstand en het benodigde vermogen, als functie van lengte, waterverplaatsing en snelheid in beeld gebracht.

Voorts is een vergelijkbare rondspantvorm ontworpen, met goede weerstandseigenschappen. Voor dit generieke type romp is ook de weerstand en het benodigd vermogen berekend, eveneens als functie van lengte, waterverplaatsing en snelheid. Vervolgens is een vergelijking gemaakt van de weerstand en het benodigd vermogen van dit “ideale” motorvaartuig met de betreffende cijfers voor elk van de bestaande typen. Daarbij is geconstateerd dat de reductie in het benodigd vermogen voor dit rondspant type ca. 10% tot 30% is bij snelheden rond de zgn. rompsnelheid, oplopend tot ca. 50% bij snelheden van ca. 5 knoop en lager. Circa 1/3 van deze reductie wordt bereikt middels een toename van de schroefdiameter en ca. 2/3 middels een betere rompvorm.

In het rapport wordt voorts een vergelijking gemaakt tussen de bestaande typen motorboten en de “ideale” rondspantboot t.a.v. scheepsbouwkundige eigenschappen, zoals hydrostatica en stabiliteit, zeegangsgedrag en manoeuvreereigenschappen, alsmede de onduurzaamheidsfactoren, te weten brandstofgebruik, motoremissie, golfhoogte en golfslag en geluidsemissie. Hieruit komt naar voren dat de brandstofbesparing voor het vaarprofiel van de gemiddelde motorboot-watersporter in Nederland ca. 60 % bedraagt en dat ook de motoremissie met dit percentage terug gebracht wordt. De golfhoogte en de golfslag wordt met ca. 20% teruggebracht. Over de geluidsemissie wordt geen kwantitatieve voorspelling gedaan aangezien dit niet alleen afhankelijk is van het benodigd vermogen maar tevens van diverse andere factoren, zoals type motor, details van het uitlaatsysteem, enz. De verwachting is echter dat ook het uitgestraald geluid zal afnemen.

Omdat de “ideale” rondspantboot een slanker voorschip heeft en ook een iets grotere lengte-breedte verhouding, is tevens een studie uitgevoerd naar de binnenruimte/indeling en de wijze waarop deze ruimte/indeling, zoals die vaak in de bestaande boten gerealiseerd is, in de rondspantboot bereikt kan worden. Naast het aangeven hoe dit te verwezenlijken is voor de rondspantboot met dezelfde lengte, waarbij er per ruimtelijke eenheid/hut aan boord een netto kleiner vloeroppervlak beschikbaar is, is dit ook gedaan voor een verlengde versie van de rondspant, waarbij de bestaande indeling 1 op 1 overgebracht kan worden. Voor deze verlengde versie van de rondspant zijn eveneens weerstand en benodigd vermogen berekeningen uitgevoerd waaruit blijkt dat het benodigde vermogen van de verlengde versie nog lager is dan voor de gelijkwaardige kortere versie. De verklaringen hiervoor worden in het rapport gegeven.

Tot slot wordt een indicatie gegeven van de extra bouwkosten van de “ideale” rondspant t.o.v. de enkele knikspant en de terugverdiendtijd van die verhoogde kosten op basis van de jaarlijkse besparing in brandstofkosten. Deze terugverdiendtijd is ca. 6.1 jaar voor de rondspant van gelijke lengte als de enkele knikspant en ca. 8.3 jaar voor de verlengde versie, weer voor de gemiddelde motorboot-watersporter.

Inhoud

Samenvatting.....	3
Inhoud	4
Nomenclatuur.....	5
Hoofdstuk 1. Inleiding.....	6
Hoofdstuk 2. Probleemstelling.....	7
2.1 Huidige stand van zaken.....	7
2.2 Stand van de techniek	7
2.3 Opzet en uitvoering van het project.....	8
2.4 Projectorganisatie	8
Hoofdstuk 3. Overzicht van bestaande motorboot ontwerpen	9
3.1 Inleiding.....	9
3.2 Database van bestaande recreatievaartuigen.....	9
3.3 Analyse van hoofdafmetingen en rompcoëfficiënten	10
3.4 Propeller- en vermogensanalyse	12
Hoofdstuk 4. Analyse van bestaande rompontwerpen	15
4.1 Inleiding.....	15
4.2 Enkele knikspant.....	15
4.3 Snelle knikspant.....	16
4.4 Multiknikspant.....	17
4.5 Overige bestaande rompvormen	18
Hoofdstuk 5. Weerstands- en voortstuwingsanalyse van bestaande romptypes	19
5.1 Correlatie studie.....	19
5.2 Eenvoudige knikspant.....	20
5.3 Snelle Knikspant.....	21
5.4 Multiknikspant.....	22
Hoofdstuk 6. Ideale rompvorm van een recreatievaartuig.....	23
6.1 Aandachtspunten en ontwerpcriteria.	23
6.1.1 Langsscheepse prismatische coëfficiënt.....	23
6.1.2 Oppervlak van de ondergedompelde spiegel en ligging van het drukkingpunt.....	24
6.1.3 Vormgeving van het voorschip	24
6.1.4 Schroef en appendage ontwerp.....	24
6.2 Lijnenplan en ontwerpeigenschappen.....	26
6.3 Weerstands- en vermogensanalyse	26
6.4 Weerstands- en vermogensvergelijk met bestaande ontwerpen.	27
Hoofdstuk 7. Nadere beschouwing van de ideale rompvorm	31
7.1 Hydrostatica.....	31
7.2 Brandstofverbruik en motoremissie.....	31
7.3 Golfhoogte en golfslag	32
7.4 Geluidsemissie.....	34
7.5 Stabiliteit, zeegangsgedrag en manoeuvreereigenschappen	34
7.6 Bouw- en brandstofkosten	36
7.7 Binnenruimte	37
Hoofdstuk 8. Conclusies	41
Literatuur.....	42
Bijlage 1 Database van motorboot ontwerpen	43
Bijlage 2 Resultaten weerstands- en vermogensanalyse en vergelijking tussen verschillende romptypes van recreatievaartuigen.....	45

Nomenclatuur

Symbol	Eenheid	Omschrijving
α	-	Schroefvermogenscoëfficiënt
AR	-	Aspectverhouding
A_{TR}	m^2	Oppervlak van de ondergedompelde spiegel
A_X	m^2	Maximum spant oppervlak van de romp
BM	m	Hoogte van het metacenter boven het drukingspunt
B_{OA}	m	Breedte over alles
B_{WL}	m	Breedte op de waterlijn van de romp (zonder appendages)
c	m	Koorde lengte
C_{AD}	-	Admiraliteitsconstante
C_{ATR}	-	Oppervlakte verhouding van de ondergedompelde spiegel tot het grootste spant
C_B	-	Blok coëfficiënt
C_M	-	Grootspant oppervlakte coëfficiënt
C_P	-	Langsscheepse prismatische coëfficiënt
C_{WP}	-	Oppervlakte coëfficiënt van de waterlijn
C_X	-	Oppervlakte coëfficiënt van het grootste spant oppervlak
Δ_{CB}	$kg; ton$	Massa van de romp, zonder appendages
D_{PROP}	m	Diameter van de schroef
Δ_{TOT}	$kg; ton$	Massa van de romp, inclusief appendages
DWL	-	“Design WaterLine”, waterlijn op de ontwerp-beladingsconditie
F_B	m	Vrijboord hoogte
F_N	-	Froude getal, betrokken op de waterlijn lengte van de romp
GM	m	Hoogte van het metacenter boven het gewichtszwaartepunt
GZ	m	Arm van het oprichtende stabiliteitsmoment
I_E	deg	Halve intree hoek van de waterlijn, in bovenaanzicht
KB	m	Hoogte van het drukingspunt boven de basislijn, door het laagste punt van de romp zonder aanhangsels
KG	m	Hoogte van het gewichtszwaartepunt boven de basislijn, door het laagste punt van de romp zonder aanhangsels
L_{CB}	% van L_{WL}	Langsscheepse ligging van het drukingspunt (positief is voor het midden, negatief is achter het midden)
L_H	m	Lengte op de waterlijn van de romp met appendages
L_{OA}	m	Lengte over alles van het jacht
L_{WL}	m	Lengte op de waterlijn van de romp (zonder appendages)
N_{KNIK}	-	Aantal knikken in de romp beplating
N_{MOTOR}	$1/min$	Toerental van de motor
N_{PROP}	$1/min; 1/sec$	Toerental van de schroef
P	m	Spoed van de schroef
P_{INST}	kW	Totaal geïnstalleerde motor vermogen
P_{PROP}	kW	Vermogen afgegeven aan (één)schroef
s	-	Span
S_{CB}	m^2	Nat oppervlak van de romp, zonder appendages
T_{CB}	m	Maximum diepgang van de romp zonder appendages
T_{MAX}	m	Maximum diepgang van de romp met appendages
T_{TR}	m	Diepste punt onder de waterlijn van de ondergedompelde spiegel
u	m/s	Golf snelheid
∇_{CB}	m^3	Volume van de romp, zonder appendages
V_S	knp	Scheepssnelheid
∇_{TOT}	m^3	Volume van de romp, inclusief appendages
δA	-	Oppervlakte eenheid
δt	-	Tijdseenheid
ζ_A	m	Golf amplitude

Hoofdstuk 1. Inleiding

In opdracht van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA, van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Rijkswaterstaat), heeft Van Oossanen & Associates b.v. een studie verricht naar de onduurzaamheidsfactoren die veroorzaakt worden door de “niet-ideale” rompvorm van recreatievaartuigen en die te vertalen naar de gevolgen voor het watermilieu.

De doelstelling van het huidige project kan worden geformuleerd als: het identificeren en verder kwantificeren van de onduurzaamheidsfactoren, die veroorzaakt worden door de niet-ideale rompvorm (met name van de knikspant) van de op de markt zijnde en momenteel varende recreatievaartuigen. Hierbij worden mogelijke oplossingsrichtingen met randvoorwaarden aangegeven.

Het beoogde effect is het verankeren van een model/streefbeeld van een ‘ideale rompvorm van een recreatievaartuig’ bij zowel de jachtontwerpers/bouwers als de watersporters. Het uiteindelijke doel is implementatie van deze streefbeelden in nieuwe ontwerpen van nog te bouwen recreatievaartuigen.

In dit rapport wordt verslag gelegd van de voornaamste resultaten van deze studie. De probleemstelling wordt nader beschreven in Hoofdstuk 2.

Hoofdstuk 3 geeft een samenvatting van dat deel van de studie dat gericht is op het identificeren van de bestaande vloot aan “niet-ideale” recreatievaartuigen.

De analyse van deze bestaande vaartuigen wordt gegeven in hoofdstuk 4. Hierin worden de kenmerkende rompafmetingen en rompvorm coëfficiënten verantwoordelijk voor het niet-ideale gedrag geïdentificeerd.

Hoofdstuk 5 beschrijft het werk dat is uitgevoerd om de juiste berekeningsmethodiek te identificeren voor het voorspellen van de weerstands- en voortstuwingskarakteristieken van de betreffende schepen. Voor een aantal vaartuigtypes worden de resultaten gegeven van vergelijkingen van proeftochtmetingen en berekeningen, ter toetsing van de nauwkeurigheid van de gehanteerde methodiek.

De resultaten van systematische weerstands- en voortstuwingsberekeningen voor een reeks van lengtes, waterverplaatsingen en snelheden, voor de diverse types, zijn eveneens gegeven in hoofdstuk 5.

De uit het oogpunt van weerstand en voortstuwing “ideale” rompvorm die gebruikt zou kunnen worden voor dit type motorboot wordt omschreven in Hoofdstuk 6. Tevens wordt hier een vergelijk gemaakt van het benodigde vermogen voor deze “ideale” type rompvorm met dat van de in hoofdstuk 3 en 4 omschreven bestaande types. Zowel de besparing die een gevolg is van de betere rompvorm als van de grotere schroefdiameter wordt hier geïdentificeerd.

Een bespreking van de verdere eigenschappen van de in Hoofdstuk 6 geïdentificeerde type rompvorm, uit het oogpunt van hydrostatica, brandstofgebruik en motoremissie, golfhoogte en golfslag, geluidsemissie, stabiliteit, zeegangsgedrag en manoeuvreereigenschappen en bouw- en brandstofkosten, worden in Hoofdstuk 7 gegeven.

Conclusies worden gegeven in Hoofdstuk 8.

Hoofdstuk 2. Probleemstelling

2.1 *Huidige stand van zaken*

De kwaliteit van het oppervlaktewater is, na het in werking treden van de *Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren*, aanzienlijk verbeterd. Dit is met name te danken aan de sanering van puntbronnen. Naast deze puntbronnen is ook de diffuse verontreiniging van het water als emissiebron van belang. Voorbeelden van diffuse bronnen zijn emissies uit landbouw, bouwmaterialen, verkeer, atmosferische depositie en scheepvaart. De afgelopen jaren is een groot aantal initiatieven gestart en zijn maatregelen geïntroduceerd om de emissies vanuit deze diffuse bronnen te reduceren. Zo ook voor de recreatievaart. Diffuse emissies naar het water zijn in beeld gebracht, zo mogelijk gekwantificeerd en eventuele vervolgstappen worden besproken in specifieke werkgroepen. Doorgaans wordt voor de bestaande problemen een passend antwoord gevonden met korte termijn maatregelen. Ofschoon deze maatregelen in sommige gevallen zeer effectief kunnen zijn, kan het ook zo zijn dat het probleem daarmee niet geheel wordt opgelost of dat er een afwentelingseffect plaatsvindt naar andere milieuthema's. Voor de wat langere termijn zal naar een meer duurzame oplossing gezocht moeten worden.

Om deze reden hebben RIZA en HISWA in 2002 het initiatief genomen om te komen tot een ontwikkeling van een 'emissieloos schip in de recreatievaart' [RIZA, 2002]. Als eerste aanzet om het proces van een duurzame ontwikkeling te starten is een workshop georganiseerd, waarin naast wetenschappelijke instituten en belangenverenigingen ook jachtbouwers en motorenfabrikanten deelnamen. Tijdens deze workshop zijn de zogenaamde onduurzaamheidsfactoren c.q. de diffuse emissiebronnen van een recreatievaartuig geïdentificeerd en mogelijke oplossingen voor zowel de korte als de lange termijn aangegeven.

Uit de workshop is gebleken dat veel van de huidige milieuproblemen zijn op te lossen met de technische maatregelen die in de huidige nieuw te bouwen recreatievaartuigen worden toegepast. Het ontbreekt evenwel (nog) aan de mogelijkheden om deze technologieën op efficiënte wijze in te passen in de bestaande vloot. Derhalve is aanbevolen om door demonstratieprojecten, voorlichting etc. deze milieuvriendelijke alternatieven bij de watersporters te promoten met als doel de implementatie in de bestaande recreatievloot te bespoedigen. Daarnaast zijn er ook onduurzaamheidsfactoren bij recreatievaartuigen gesignaleerd, waarvoor op korte termijn nog geen oplossing kunnen worden gegeven. Onderwerpen voor deze 'lange termijn'-agenda zijn: een andere voortstuwing (elektrisch varen, brandstofcel), conservering van onderwaterschip en een andere rompvorm van een recreatievaartuig. Aan dit laatstgenoemde aspect van de 'niet-ideale' rompvorm zal in het voorliggende rapport uitgebreid aandacht worden besteed.

2.2 *Stand van de techniek*

De huidige pleziervaartuigen, in het bijzonder de motorboten, bestaan doorgaans uit een zogenaamde 'knikspant'-vorm. Deze rompvorm heeft als grootste voordeel dat deze relatief eenvoudig en goedkoop te bouwen is. Het grote nadeel dat aan deze rompvorm gekoppeld is, is het relatief grote voortstuwingsvermogen dat nodig is om een bepaalde snelheid te kunnen varen. Naast dit grote brandstofverbruik wekt deze ongunstige rompvorm tevens een grote golfslag op met indirect negatieve gevolgen voor het watermilieu door afgassen, resulterend in PAK-emissie naar het oppervlaktewater, de hoeveelheid geluid en afslag van oevers.

De zgn. knikspant rompvorm is oorspronkelijk ontwikkeld t.b.v. snel varende, planerende boten. Slechts voor hoge snelheden (hoger dan ca. 20 knoop voor een boot met een waterlijnlengthe van 10 m) is deze knikspant rompvorm de meest ideale. De in Nederland gebouwde knikspantboten worden daarentegen uitgevoerd met motoren voor een veel lagere snelheid (meestal tot de zgn. rompsnelheid, hetgeen voor dezelfde motorboot met een waterlijnlengthe van 10 m ca. 9 knoop bedraagt). Het is belangrijk op te merken dat er onevenredig veel extra vermogen nodig is om enkele knopen sneller te varen dan de rompsnelheid.

De hydrodynamische weerstand van een goed ontworpen rondspantboot is in dit snelheidsgebied veel lager. De verwachting is dat het brandstofverbruik van een rondspantboot over een belangrijk snelheidsgebied aanzienlijk minder zal zijn dan het brandstofverbruik van het knikspanttype.

Pleziervaartuigen met een rondspant vorm worden voornamelijk ontworpen voor zeilvaartuigen, omdat de zeilprestaties sterk afhankelijk zijn van de hydrodynamische weerstand. Hoe lager die weerstand hoe hoger de snelheid. Er zijn wel voorbeelden van rondspant motorboten (zoals de Nelson-type uit Engeland). Dit zijn in de meeste gevallen serieboten die van kunststofmateriaal worden gebouwd, over (of in) een mal. Hoewel de kosten van het bouwen van een rondspantmal hoger zijn dan die van een knikspantmal, zijn deze kosten echter eenmalig en relatief gering bij serieproductie (de malkosten worden afgeschreven over een groot aantal te bouwen boten). Enkele werven zijn thans doende de rondspantvorm in staal, in de vorm van een multi-knikspant, na te bouwen. Sommige zgn. multiknikspantboten komen in de buurt van een rondspantboot v.w.b. de hydrodynamische weerstand als de ligging van de knikken goed wordt gekozen en de intreehoek van de waterlijn klein is.

Hoewel rondspantboten een aanzienlijke lagere weerstand bezitten, biedt de betreffende rompvorm minder volume in het voorschip. Dit wordt als een nadeel ervaren en ook een reden de huidige knikspantboot te hanteren.

2.3 **Opzet en uitvoering van het project**

De verschillende rompvormen zullen onderling worden vergeleken, waarbij de potentiële onduurzaamheidsfactoren worden geïdentificeerd en waar mogelijk gekwantificeerd aan de hand van berekeningen/brongegevens. Zo is het mogelijk om op basis van computerberekeningen aan te geven het verschil in benodigd vermogen voor diverse typen rompvormen, voor verschillende snelheden. Voortstuwingsrendementen zullen moeten worden gedefinieerd om de vertaling tussen weerstand en benodigd vermogen te kunnen maken. Testresultaten van proefvaarten van motorboten uit diverse watersportbladen kunnen worden gebruikt om de betreffende berekeningen te toetsen. Overzichtelijke grafieken kunnen worden opgesteld waarin, op een systematische manier, rompvorm, snelheid en motorvermogen worden gekoppeld. Dit kan vervolgens weer worden vertaald naar het betreffende brandstofverbruik en, indirect, naar de emissie van verontreinigende stoffen (PAK) naar oppervlaktewater door afgassen, golfslag en geluid.

De werkwijze die voor deze studie is gehanteerd is als volgt:

1. Opzetten van eenvoudige data base van het benodigde vermogen (bij diverse snelheden) van bestaande knikspant boten;
2. Analyse van de geometrie van de bestaande knikspant motorboten;
3. Uitvoeren van berekeningen met het computerprogramma *YachtPower* van Van Oossanen & Associates b.v., t.b.v. het controleren/ijken van de gegevens in de data base;
4. Ontwerp van een “ideale” rondspant rompvorm;
5. Uitvoeren van systematische berekeningen om te komen tot een inzicht in de verschillen in het benodigde vermogen van knikspant- en rondspantboten, als functie van rompvormdetails, en snelheid;
6. Opstellen van een rapport over deze werkzaamheden;

2.4 **Projectorganisatie**

Het project is uitgevoerd door Van Oossanen & Associates b.v. onder begeleiding van de heer Ing. G.B.J. Rijs van RIZA en de heer Ing. J.J. van de Heuvel van HISWA.

De werkzaamheden bij Van Oossanen & Associates b.v. zijn uitgevoerd door de heer Ing. P.G. van Oossanen, onder leiding van Dr. Ir. P. van Oossanen.

Hoofdstuk 3. Overzicht van bestaande motorboot ontwerpen

3.1 Inleiding

Bij het beschouwen van de huidige recreatievloot is een als eerste te maken onderscheid, die op basis van snelheid. Hierbij wordt als markante snelheid de rompsnelheid gebruikt, welke hier gedefinieerd is als die snelheid waarbij het Froude getal gelijk is aan 0.475, zie formule 1. Voor een boot met een lengte van 10 meter op de waterlijn komt dit neer op ongeveer 9.1 knoop.

$$F_N = \frac{V_S}{\sqrt{g \cdot L_{WL}}}$$

formule 1. Froude getal

Rond deze snelheid neemt het benodigde motorvermogen om de snelheid te laten toenemen zeer snel toe. Indien de snelheid hoger wordt dan de rompsnelheid, zal het schip als het ware tegen zijn eigen boeggolf op gaan varen, resulterend in een zeer grote trim achterover en hoge opgewekte golven. Een verdubbeling van het benodigde vermogen om de snelheid slechts een klein aantal procenten te laten toenemen is niet ongewoon.

Schepen waarbij dit effect optreedt, zijn zogenaamde waterverplaatsters of displacementsschepen. Er zijn echter ook schepen die wél voorbij deze rompsnelheid kunnen komen, dit zijn zogenaamde planerende of semi-planerende schepen. Deze schepen (zgn. snelle knikspanten) onderscheiden zich door meestal een lagere verhouding van hun waterverplaatsing ten opzichte van hun lengte en daarnaast hebben ze een knikspant rompvorm, met een zeer vlakke bodem. Op deze vlakke bodem wordt door het langsstromende water zogenaamde hydrodynamische lift opgewekt, een omhoog gerichte kracht, die het schip als het ware optilt en op zijn eigen boeggolf zet. Hierdoor zal de weerstand niet meer zo hard toenemen als bij waterverplaatsters en worden snelheden boven de rompsnelheid wél haalbaar.

In de database besproken in dit hoofdstuk en onderwerp van deze studie, worden alleen de displacementsschepen beschouwd. In een volgend hoofdstuk komt de snelle knikspant echter wel aan bod, als aangetoond zal worden dat deze rompvorm, die misschien voor hogere snelheden wel optimaal is, dat voor lagere snelheden zeker niet is.

3.2 Database van bestaande recreatievaartuigen

Door middel van een literatuur onderzoek in Nederlandse watersport tijdschriften, het internet, en de archieven van Van Oossanen & Associates b.v., is een database opgesteld, met daarin de eigenschappen van typerende motorbootontwerpen. De schepen die in deze database zijn opgenomen zijn te vinden in Bijlage 1.

In de tijdschriften *de Waterkampioen* en *Motorboot*, worden voor de meeste ontwerpen de lengte over alles, diepgang over alles (romp + appendages) en maximum breedte gegeven. Meestal is er ook een grove schatting van de totale waterverplaatsing. Tevens voert *Motorboot* in iedere editie één of meerdere proefvaarten uit en geeft dan meestal ondermeer een toerental-snelheidskarakteristiek van het desbetreffende vaartuig.

De nauwkeurigheid hiervan, en van de andere gegeven data, is beperkt. Voor wat betreft de testvaart gegevens zijn er vaak onduidelijkheden betreffende de weersomstandigheden, golfslag, stroming en waterdiepte van het testwater. Ook de gebruikte meetmethodiek is waarschijnlijk niet van een al te hoge nauwkeurigheid. De gegeven data betreffende de afmetingen en gewichten zijn meestal afgerond op hele getallen.

Er is geprobeerd om ontbrekende gegevens op te sporen op het Internet, via de websites van jachtwerven, jachtontwerpers en motorfabrikanten, en voor een aantal ontwerpen was er tevens in de archieven van Van Oossanen & Associates b.v. gedetailleerde informatie beschikbaar. In de database is opgenomen waar de betreffende informatie gevonden is.

De criteria voor opname in de database zijn vooraf als volgt bepaald:

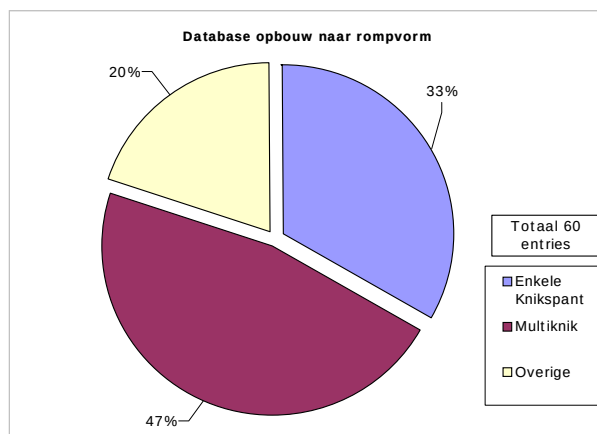
- Lengte op de waterlijn is bekend of moet op een redelijke manier geschat of opgemeten kunnen worden;
- Lengte op de waterlijn is kleiner dan 15 meter;
- Het betreft een displacementsvaartuig (waterverplaatser), dit wil zeggen dat de maximum snelheid niet al te ver boven de rompsnelheid mag liggen.

Tevens zijn alleen de vijf meest recente jaargangen van de tijdschriften doorzocht.

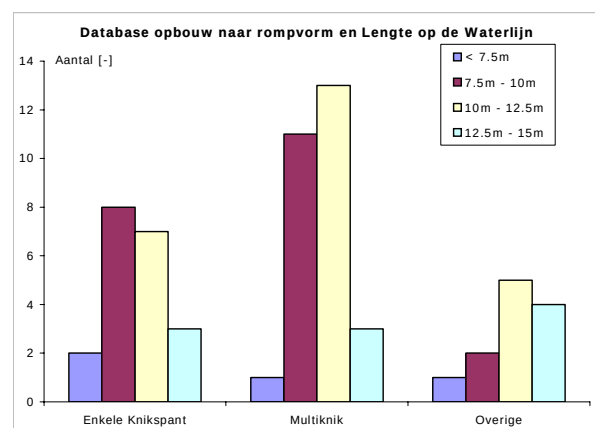
Op deze manier zijn er 60 verschillende ontwerpen opgenomen in de database, van in totaal 48 verschillende werven. Daarvan zijn er 59 van Nederlandse makelij en één is afkomstig uit Noorwegen (de *Skagarak*). De schepen zijn allereerst gecategoriseerd op type rompvorm ('enkele knikspant', 'multiknikspant' of 'overige') en vervolgens op lengte over alles. In figuur 1 is te zien hoe deze zijn vertegenwoordigd in de database in relatief aantal, per rompvorm en ingedeeld op lengte.

In de groep "overige" zijn vertegenwoordigd enkele niet-optimale rondspantvormen, als ook boten met afgeronde knikken, een enkele vlet en een enkele kottervorm.

Voor wat betreft bouw materiaal zijn 56 van de 60 schepen totaal van staal. Er is er één (de *Swin Comfort*) die een stalen romp heeft en een polyester opbouw. De resterende drie schepen, één knikspant en twee niet-ideale rondspanten zijn van polyester vervaardigd.



figuur 1. Opbouw van de database naar rompvorm.



figuur 2. Opbouw van de database naar waterlijnlengte.

3.3 Analyse van hoofdafmetingen en rompcoëfficiënten

Om vergelijkingen te kunnen maken tussen schepen van verschillende afmetingen, snelheden en waterverplaatsing, wordt gewerkt met dimensieloze grootheden. De meest kenmerkende voor motorjachten zijn:

- $\frac{L_{WL}}{B_{WL}}$, de verhouding tussen lengte op de waterlijn en breedte op de waterlijn (zie figuur 3, uitgezet tegen Lengte op de waterlijn);
- $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}$, de lengte-waterverplaatsingsverhouding. Dit is een maat voor de slankheid van de romp (zie figuur 4, uitgezet tegen de lengte-breedte verhouding);
- C_B , de blokcoëfficiënt, gedefinieerd door formule 2. Dit is een maat voor de volheid van de romp. In figuur 5 is deze uitgezet als functie van de lengte-breedte verhouding;

$$C_B = \frac{\nabla_{CB}}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T_{CB}}$$

formule 2. Blokcoëfficiënt

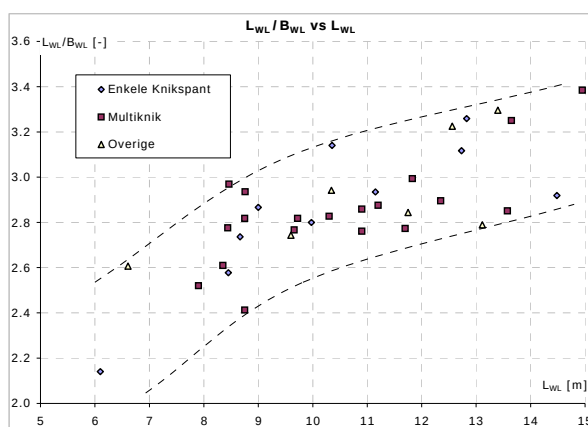
- $\frac{B_{WL}}{T_{CB}}$, de breedte-diepgangsverhouding, zie figuur 6;
- $F_{N,MAX}$, het maximum Froude getal, gedefinieerd door formule 1. Dit is een dimensieloze snelheid, gerelateerd aan de lengte van de romp op de waterlijn, zie figuur 7.
- I_E , de halve intreehoek van de ontwerp waterlijn, in graden.

Uit deze figuren blijkt dat de L_{WL}/B_{WL} en $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ verhoudingen van de bestaande motorboot ontwerpen, weinig variatie kennen. Ter vergelijking, zie tabel 1, waarin de genoemde parameters vergeleken worden met andere scheepstypen.

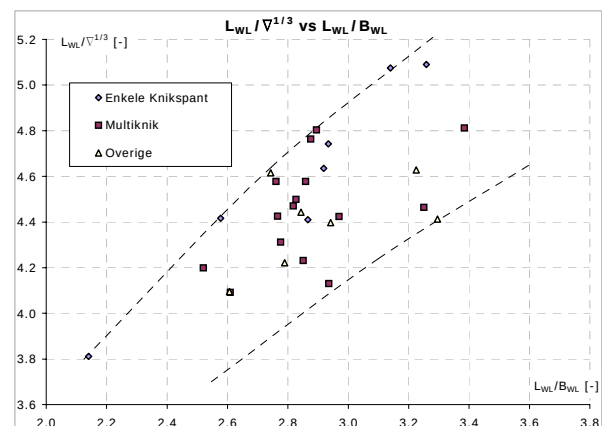
De lengte-breedte verhouding, een invloedrijke parameter op de golf-makende weerstand, is zeer laag, 90% van de vaartuigen uit de database ligt tussen 2.50 en 3.25. Uit het oogpunt van een gunstige weerstandskarakteristiek is een hogere waarde, een slanker schip, gewenst. Hetzelfde geldt voor de lengte-waterverplaatsingsverhouding. Een gemiddelde waarde van 4.50 is eveneens zeer laag te noemen.

tabel 1. Vergelijk van invloedrijke ontwerpparameters met de vaartuigen uit de database.

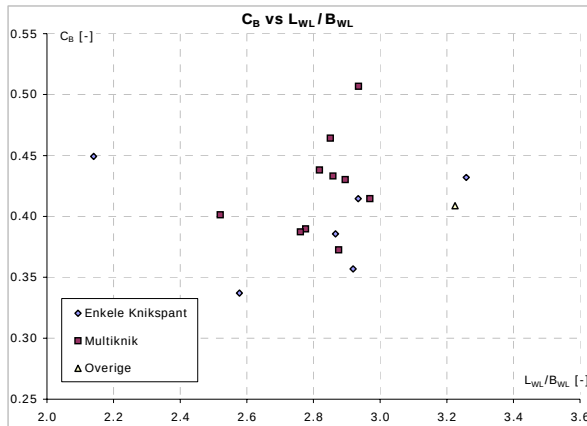
	Motorboot (database)	(Semi-) Planerende motorjachten	Grotere deplacements motorjachten	Toerzeiljachten
$\frac{L_{WL}}{B_{WL}}$	2.50 – 3.25	3.00 – 4.50	3.00 – 4.50	3.00 – 4.50
$\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}$	4.00 – 5.00	4.50 – 6.00	4.00 – 5.50	4.50 – 6.50
C_B	0.35 – 0.55	0.35 – 0.45	0.35 – 0.50	0.35 – 0.50
$\frac{B_{WL}}{T_{CB}}$	4.00 – 6.00	3.00 – 5.00	4.00 – 6.00	4.50 – 6.50
$F_{N,MAX}$	0.35 – 0.50	> 0.50	0.35 – 0.50	~ 0.45
I_E	30 – 70 deg	15 – 25 deg	15 – 25 deg	18 – 24 deg



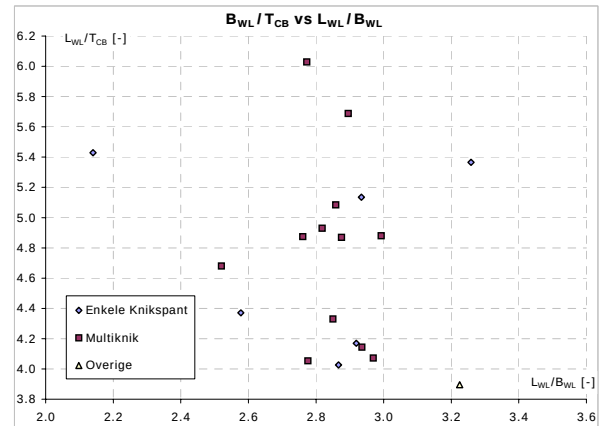
figuur 3. Lengte-breedte verhouding als functie van lengte op de waterlijn, in meters.



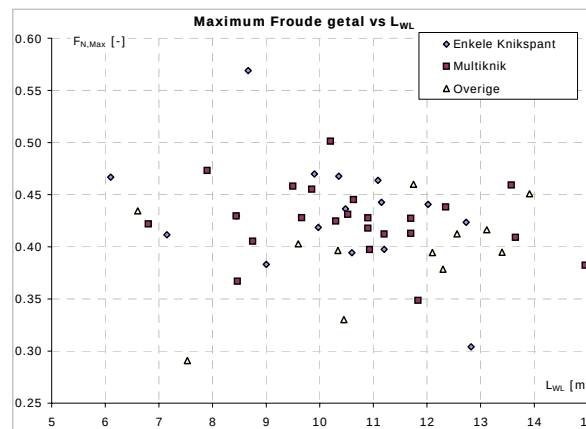
figuur 4. Lengte-waterverplaatsingsverhouding als een functie van lengte-breedte verhouding.



figuur 5. Blokcoëfficiënt als functie van de lengte-breedte verhouding.



figuur 6. Breedte-diepgangsverhouding tegen lengte-breedte verhouding.



figuur 7. Maximum Froude getal als functie van lengte op de waterlijn.

3.4 Propeller- en vermogensanalyse

Om te kunnen komen tot een vergelijk van het vermogen dat de verschillende schepen nodig hebben voor een bepaalde snelheid, moet de testdata een verdere bewerking ondergaan. In de beschikbare gegevens wordt de scheepssnelheid gegeven als functie van toerental. Tevens wordt het motorvermogen op maximum toerental gegeven.

Het is bekend dat het vermogen dat de schroef vraagt op een bepaald toerental, een 3^e-graads functie is in N_{PROP} , het schroeftoerental. Deze kan bepaald worden uit het motortoerental, mits de overbrengingsverhouding gegeven is. Deze 3^e-graads functie is gegeven in formule 3. De coëfficiënt α kan bepaald worden op het punt van het maximum toerental en het maximum motorvermogen, omdat de werklijn van de schroef daar de werklijn van de motor snijdt, zie formule 4. Door middel van interpolatie in de testdata kan vervolgens voor een bepaalde snelheid V_S het toerental bepaald worden, en met behulp van formule 3 het bijbehorende motorvermogen.

$$P_{PROP} = \alpha \cdot N_{PROP}^3$$

formule 3. Schroefvermogen

$$\alpha = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot K_Q \cdot D^5 = \frac{P_{MAX}}{N_{MAX}^3}$$

formule 4. Schroefcoëfficiënt

Om dit vermogen ‘eerlijk’ te kunnen vergelijken tussen diverse ontwerpen, is het van belang dit te doen, níet op een vaste snelheid, maar op een vast Froude getal. Hier is dit bepaald op $F_N = 0.40$, vlak onder de rompsnelheid (de rompsnelheid ligt ongeveer bij $F_N = 0.475$). De snelheid volgt dan uit formule 5. Dit

vermogen is vervolgens gedeeld op de waterverplaatsing en uitgezet tegen de lengte-breedte verhouding, de lengte op de waterlijn en de blokcoëfficiënt, zie figuur 8 tot en met figuur 10.

$$V_S = F_N \cdot \sqrt{g \cdot L_{WL}}$$

formule 5. Scheepssnelheid als functie van Froude getal

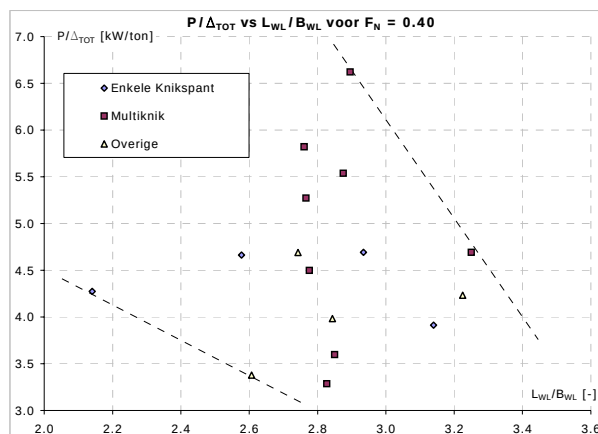
Opvallend is het kleine relatieve vermogen dat het schip met dubbele schroef vraagt. Dit is te verklaren door een veel hoger schroefrendement, in verband met een lagere schroefbelasting en een lager toerental.

Het vermogen van de bestaande motorboten wordt regelmatig bepaald op basis van de vuistregel “6 pk per ton”, zie [1]. Deze 6 pk is ongeveer gelijk aan 4.4 kW, en kijkend in de figuren blijkt dat dit inderdaad een soort gemiddelde waarde is, iets aan de lage kant, echter de spreiding is zeer groot.

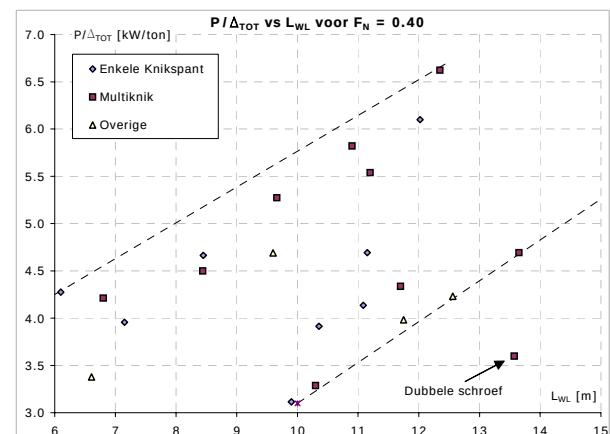
Deze grote spreiding wordt minder wanneer in plaats van vermogen per ton, de zogenaamde admiraliteitsconstante wordt gebruikt, zie formule 6. De resultaten staan uitgezet in figuur 11, figuur 12 en figuur 13, als functie van de lengte-breedte verhouding, lengte op de waterlijn en blokcoëfficiënt.

$$C_{AD} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_S^3}{P_{INST}}$$

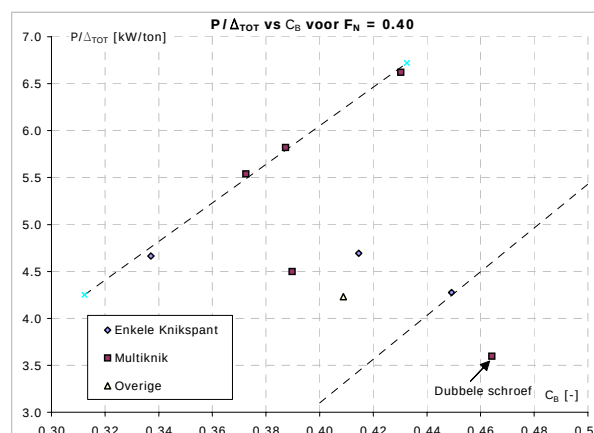
formule 6. Admiraliteitsconstante met Δ in ton, V_S in m/s en P_{INST} in kW.



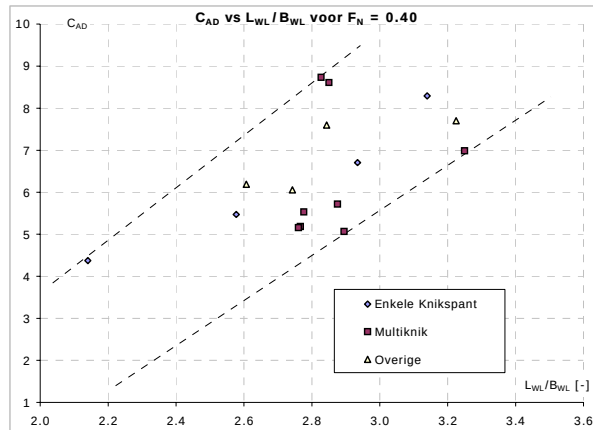
figuur 8. Vermogen per ton waterverplaatsing voor een snelheid overeenkomstig met een Froude getal gelijk aan 0.40, als functie van de lengte-breedte verhouding.



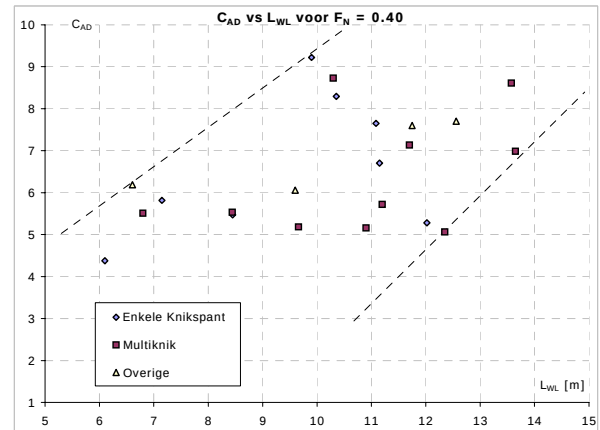
figuur 9. Idem, nu als functie van de lengte op de waterlijn.



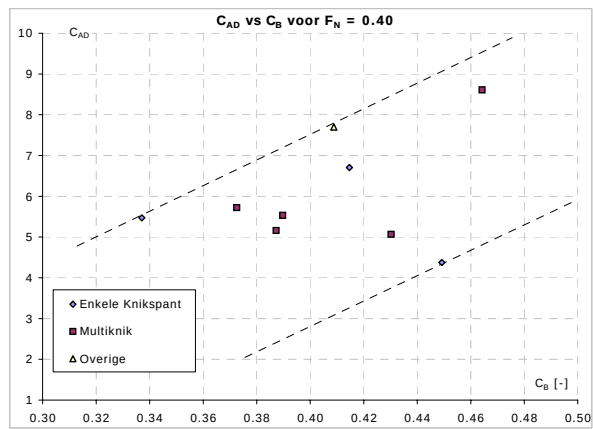
figuur 10. Idem, nu als functie van de blok coëfficiënt.



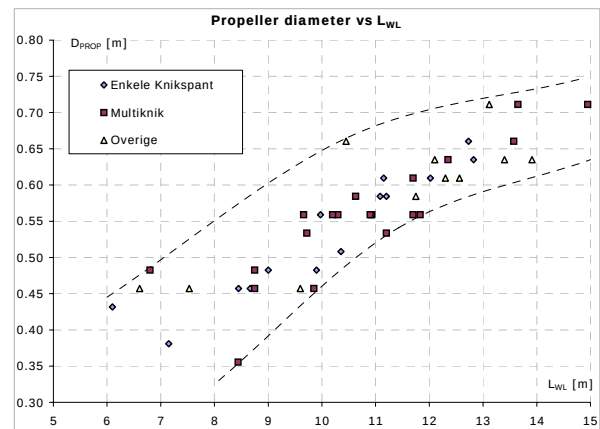
figuur 11. Admiraliteitsconstante voor een snelheid overeenkomstig met een Froude getal gelijk aan 0.40, als functie van de lengte-breedte verhouding.



figuur 12. Idem, nu als functie van de lengte op de waterlijn.



figuur 13. Idem, nu als functie van de blok coëfficiënt.



figuur 14. Propeller diameter als functie van lengte op de waterlijn.

De propeller diameter neemt toe met toenemende L_{WL} en is een gevolg van het groter benodigd vermogen met toename in scheepsgrootte, zie figuur 14.

Hoofdstuk 4. Analyse van bestaande rompontwerpen

4.1 Inleiding

In het volgende hoofdstuk zal een weerstands- en vermogensanalyse gemaakt worden van de schepen uit de database, zoals besproken in het vorige hoofdstuk. Hiertoe zal eerst, in dit hoofdstuk, voor een aantal type schepen een typerend lijnenplan gemaakt worden, en de bijbehorende hydrostatica geanalyseerd.

De romptypes die hier geanalyseerd zullen worden zijn:

- Enkele knikspant, bedoeld voor snelheden tot ongeveer de rompsnelheid (paragraaf 4.2);
- Snelle knikspant, bedoeld voor hoge snelheden, maar afgeleverd met motoren voor snelheden tot ongeveer de rompsnelheid (paragraaf 4.3);
- Multiknikspant (paragraaf 4.4).

4.2 Enkele knikspant

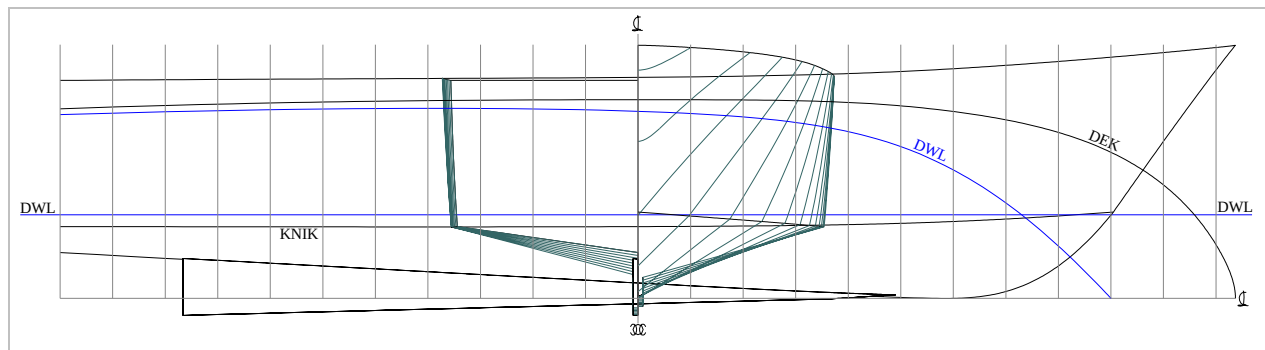
De knikspant is van origine bedoeld als een rompvorm voor planerende schepen, omdat de vlakke spanten in het achterschip zorgen voor een efficiënte opwekking van hydrodynamische lift. In het motorboten segment, zoals onderwerp van deze studie, is deze rompvorm echter vooral populair voor langzamere displacementsschepen. Hier zijn een aantal redenen voor.

De rechte spanten en de vlakke bodem zorgen voor een eenvoudige bouwmethode, en daarmee minder kosten voor de werf, waardoor ze een goedkoper schip kunnen aanbieden. Tevens wordt deze rompvorm meestal zó toegepast dat er een relatief diep achterschip ontstaat, resulterend in een groot volume en de daarmee gepaard gaande grote binnenruimte. Deze binnenruimte wordt tevens nog eens vergroot door een zeer ‘stompe’ boeg (hoge intreehoek van de waterlijn in het horizontale vlak), waardoor er zowel in het achterschip als in het voorschip voldoende ruimte is voor een kajuit.

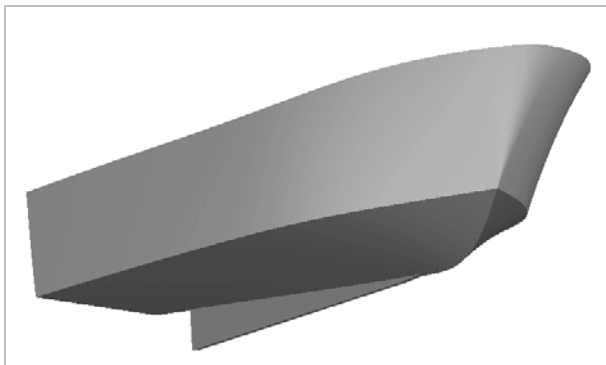
Nadelen, vooral uit hydrodynamisch oogpunt, zijn er ook. Het is bekend dat de knikspant rompvorm resulteert in een zeer hoge golf-makende weerstand op juist de snelheden waar deze schepen voor worden aangeboden: op, of vlak onder de rompsnelheid (vooral als gevolg van een hoge langsscheepse prismatische coëfficiënt). Tevens heeft deze rompvorm van zichzelf een groter nat oppervlak dan een rondspant romp met dezelfde waterverplaatsing, resulterend in een hogere viskeuze weerstand. Deze hoge weerstand resulteert weer in een groot benodigd motorvermogen, hoog brandstofverbruik en de hoge golfslag en motor emissie die daarmee gepaard gaan.

De voortstuwing gebeurt door middel van één propeller, meestal geplaatst achter een skeg. Achter de propeller zal zich een eenvoudig roer bevinden.

Om deze rompvorm te kunnen analyseren is een romp ontworpen op basis van de gegevens uit de database, tezamen met afbeeldingen in de tijdschriften, resulterend in de romp afgebeeld in figuur 15 en figuur 16. De hydrostatica, behorend bij een romp van 10 meter lengte op de waterlijn en een lengte-waterverplaatsingsverhouding van 4.5, staat in tabel 2.



figuur 15. Lijnenplan van een eenvoudige knikspant.



figuur 16. 3-D weergave van het lijnenplan van figuur 15

tabel 2. Hydrostatica van knikspant met $L_{WL} = 10.0$ meter en lengte-waterverplaatsingsverhouding 4.50

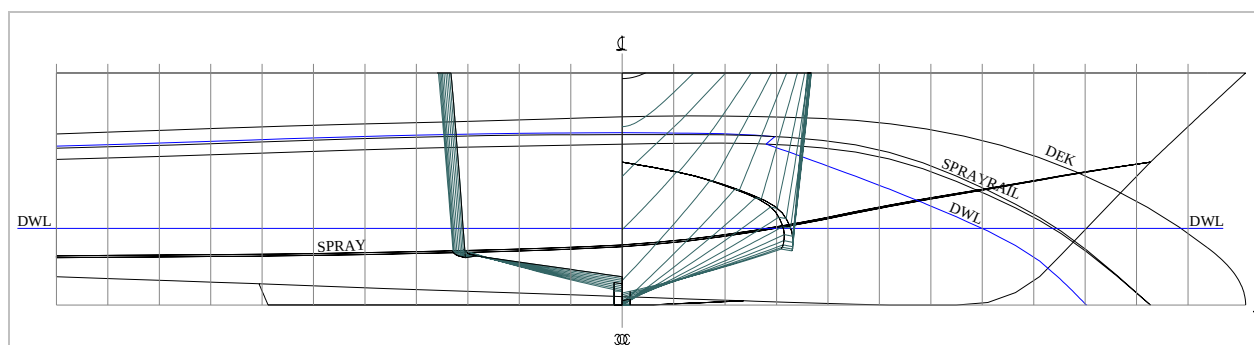
L_{OA}	11.16	[m]
L_{WL}	10.00	[m]
B_{WL}	3.57	[m]
T_{CB}	0.79	[m]
T_{MAX}	0.79	[m]
Δ	10720	[kg]
S_{CB}	35.6	[m ²]
A_X	1.374	[m ²]
C_B	0.38	[-]
C_M	0.57	[-]
C_P	0.77	[-]
C_{WP}	0.87	[-]
L_{CB}	-1.68	[% van L_{WL}]
I_E	42.0	[deg]
A_{TR}	0.801	[m ²]
T_{TR}	0.355	[m]

4.3 Snelle knikspant

De rompvorm van de snelle knikspant lijkt op het eerste gezicht erg op de knikspant romp uit de vorige paragraaf. Er zijn echter een aantal kenmerkende verschillen, zie ook figuur 17 en figuur 18.

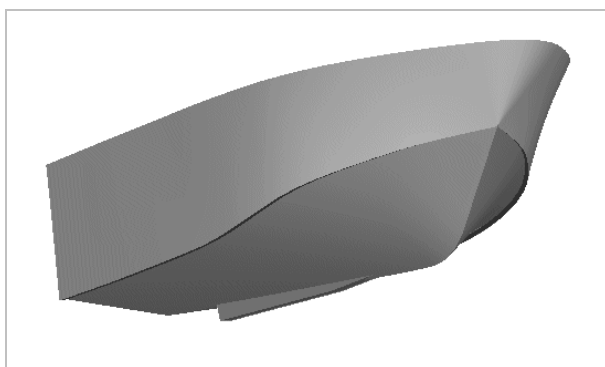
Ten eerste is het belangrijkste verschil het volume van de romp. Dit zal veelal beduidend lager liggen, aangezien het schip in dit geval wel voor snelheden (ver) boven de rompsnelheid bedoeld is. Daarnaast zijn er één of meerdere sprayrails aanwezig, om het opspuitende water, de spray, veroorzaakt door de voorwaartse snelheid van het schip, af te buigen en het dek droog te houden. Daarnaast zijn er verschillen in de styling van de romp, deze is meestal wat strakker van aard, en de zeeg zal veelal recht, of soms ook wel negatief zijn.

Ook in de voortstuwing zit een groot verschil. Vanwege het veel grotere motorvermogen, zal de voortstuwing normaal gebeuren met behulp van 2 propellers i.p.v. 1, en deze zullen dan ook nog een grotere diameter hebben. De weerstandskarakteristiek zal weliswaar vergelijkbaar zijn met de eenvoudige, de snelle knikspant zal een hoger voortstuwingsrendement hebben door het aanwezig zijn van twee propellers, en daardoor een relatief minder hoog benodigd motorvermogen. Dit zal dus ten goede komen aan de motor emissies, echter de hoogte van de opgewekte golven en de golfslag zal niet significant minder zijn.



figuur 17. Lijnenplan van een snelle knikspant motorboot.

tabel 3. Hydrostatica van een snelle knikspant met $L_{WL} = 10.0$ meter en lengte-waterverplaatsingsverhouding 4.50



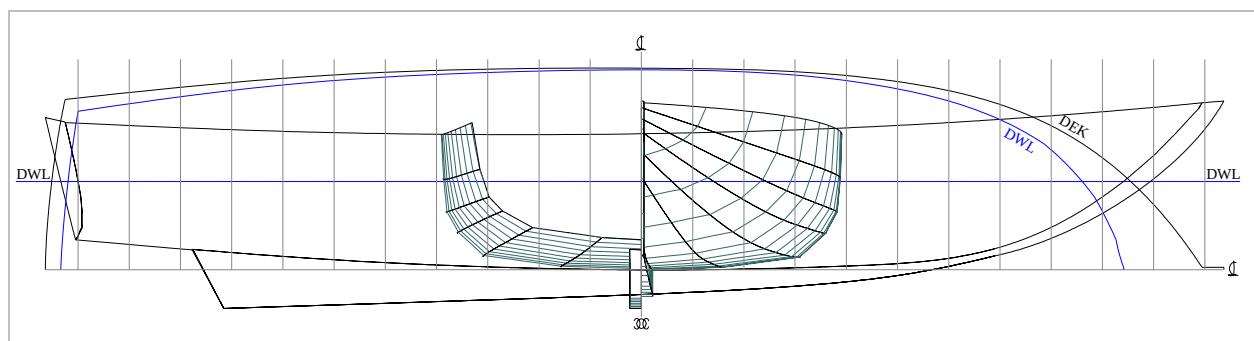
figuur 18. 3D weergave van het lijnenplan van figuur 17.

L_{OA}	11.60	[m]
B_{WL}	3.349	[m]
T_{CB}	0.75	[m]
T_{MAX}	0.75	[m]
S_{CB}	34.97	[m ²]
A_X	1.372	[m ²]
C_B	0.44	[-]
C_M	0.65	[-]
C_P	0.79	[-]
C_{WP}	0.84	[-]
L_{CB}	-6.32	[% van L_{WL}]
I_E	44	[deg]
A_{TR}	1.11	[m ²]
T_{TR}	0.478	[m]

4.4 Multiknikspant

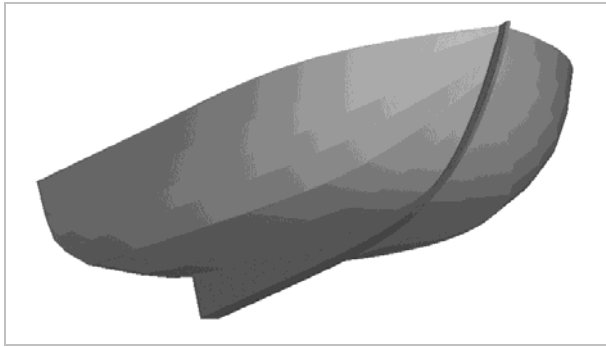
De multiknikspant is bedoeld om met behulp van de eenvoudigere bouwmethode van de knikspant, toch de rompvorm van een rondspant te kunnen benaderen. Veelal zullen inderdaad de hydrodynamische eigenschappen van multiknikspant rompen beter zijn dan die van een enkele knikspant rompvorm, gecombineerd met een lager nat oppervlak. Veelal zal het aantal plaatgangen 3 maar soms ook 5 of 6 bedragen. Zie figuur 19 en figuur 20.

Opgemerkt wordt dat deze rompvorm niet representatief hoeft te zijn aan alle in de database opgenomen multiknikspanten. Dit is afhankelijk van het aantal en de locatie van de knikken, alsmede de intreehoek van de waterlijn.



figuur 19. Lijnenplan van een multiknikspant motorboot met 6 gangen, zonder boeisel.

tabel 4. Hydrostatica van een multiknikspant met $L_{WL} = 10.0$ meter en lengte-waterverplaatsingsverhouding 4.50



figuur 20. 3D weergave van het lijnenplan van figuur 19.

L_{OA}	11.40	[m]
B_{WL}	3.76	[m]
T_{CB}	0.51	[m]
T_{MAX}	0.90	[m]
S_{CB}	33.9	[m ²]
A_X	1.57	[m ²]
C_B	0.56	[-]
C_M	0.83	[-]
C_P	0.68	[-]
C_{WP}	0.84	[-]
L_{CB}	-1.61	[% van L_{WL}]
I_E	70.0	[deg]
A_{TR}	0.40	[m ²]
T_{TR}	0.21	[m]

4.5 Overige bestaande rompvormen

In de groep “overige” rompvormen in de database, zijn onder andere te vinden:

- Rondspant, echter uitgevoerd als enkele knikspant met afgeronde knikken. Dit is geen zuivere rondspant, in die zin, dat de spanten in de bodem en in de zijde vaak recht, dus zonder kromming, zijn uitgevoerd. Slechts de overgang van de bodem naar de zijde, de “kim”, is afgerond. De hydrodynamische eigenschappen van deze rompvorm zijn vergelijkbaar met de enkele knikspant.
- Vletvorm. Deze vorm is het best te vergelijken met veel van de multiknikspanten.

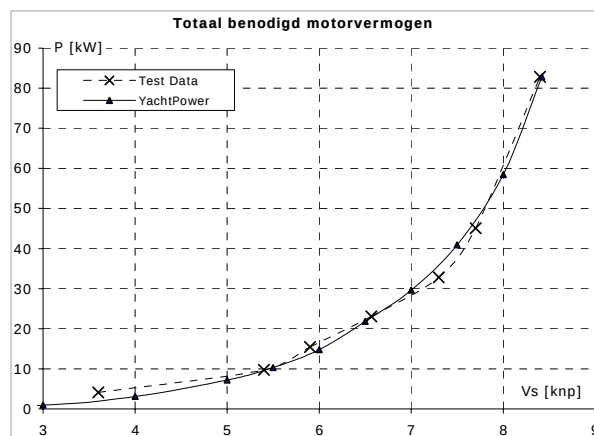
Er zijn zeer veel variaties en mengelingen van rompvormen mogelijk. Deze zijn echter te divers om hier allemaal te kunnen noemen. In het algemeen zijn deze rompvormen niet ideaal uit het oogpunt van weerstand en voortstuwing.

Hoofdstuk 5. Weerstands- en voortstuwingsanalyse van bestaande romptypes

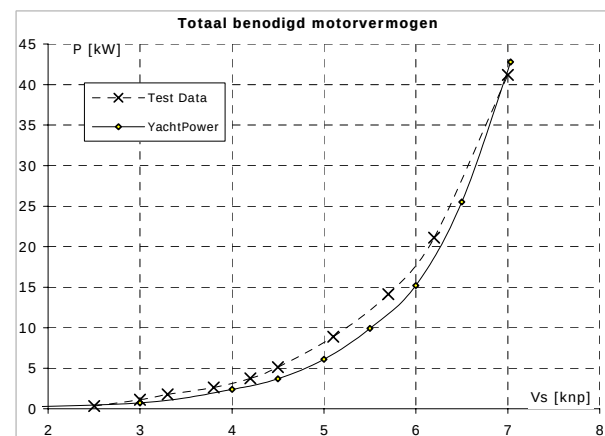
5.1 Correlatie studie

De correlatie studie voor de vermogenspredictie is uitgevoerd met behulp van het door Van Oossanen & Associates b.v. ontwikkelde software pakket *YachtPower*, versie 2.0. Dit pakket bevat een groot aantal verschillende methodes om de weerstand van een schip te bepalen, een schroefoptimalisatie module, en verschillende methodes om de verschillende hydrodynamische- en overbrengingsrendementen te bepalen. Tevens is het mogelijk om effecten van ondiep water en golven te modelleren.

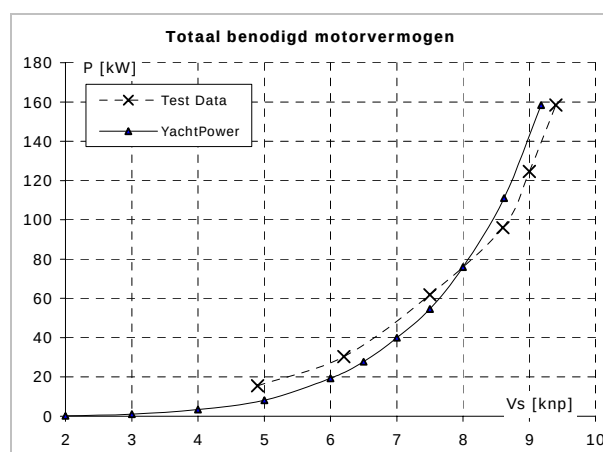
Bij de berekeningen zijn de lijnenplannen uit de vorige paragrafen toegepast op de recreatievaartuigen uit de database en omgeschaald naar de in de literatuur gerapporteerde lengte, breedte en waterversplaatsing. Ook is gerekend met de daadwerkelijke schroefdiameter en motorkarakteristieken. Op basis hiervan is de correlatie voor de verschillende romptypes 'enkele knikspant' en 'multiknikspant' weergegeven in figuur 21, figuur 22 en figuur 23.



figuur 21. Correlatie voor een knikspant motorboot. $L_{OA} = 12.5$ m, $\Delta = 13.2$ ton, op ondiep water (type enkele knikspant).



figuur 22. Correlatie voor een knikspant motorboot. $L_{OA} = 9.50$ m, $\Delta = 7.0$ ton, op diep water (type snelle knikspant).

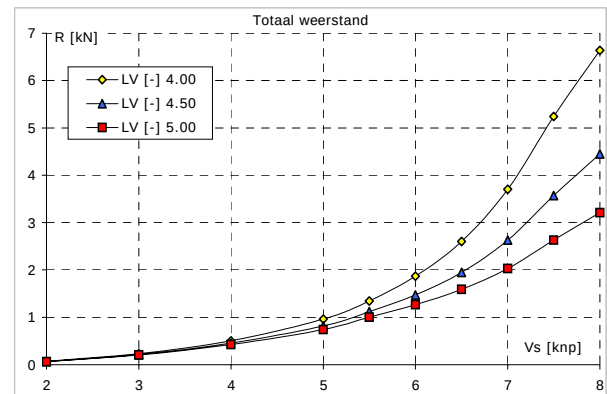
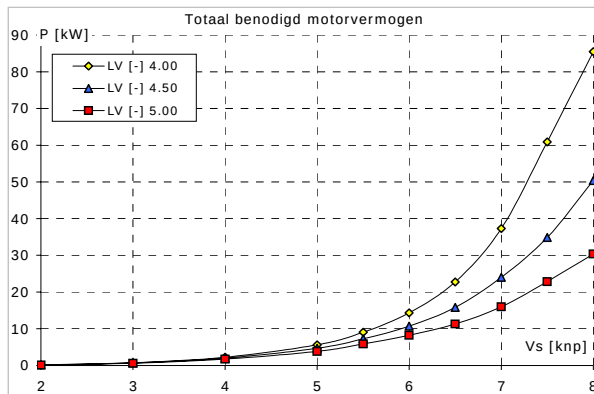


figuur 23. Correlatie voor een multiknikspant motorboot. $L_{OA} = 12.50$ m, $\Delta = 17.0$ ton, op diep water.

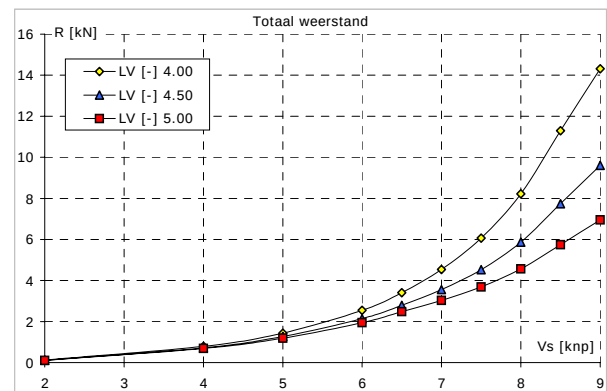
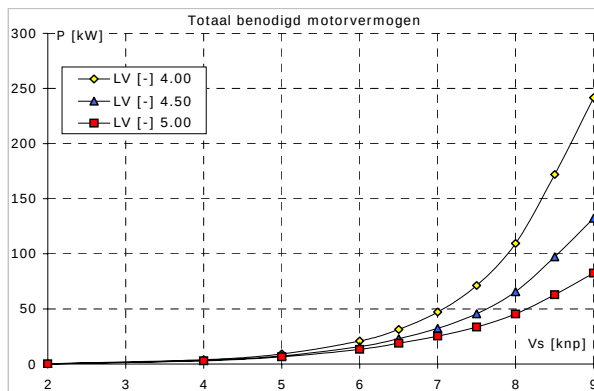
5.2 Eenvoudige knikspant

Voor het typerende lijnenplan van de eenvoudige enkele knikspant, is een serie weerstands- en vermogensberekeningen uitgevoerd, op waterlijn lengtes van 7.50m, 10.0m en 12.5m. Elk van deze waterlijn lengtes is dan nog gevarieerd in waterverplaatsing, overeenkomend met lengte-waterverplaatsingsverhoudingen van 4.0, 4.5 en 5.0. Alle berekeningen gelden voor kalm en diep water, zonder tegenwind.

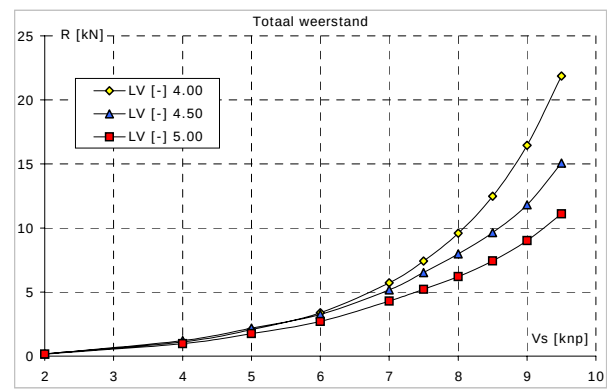
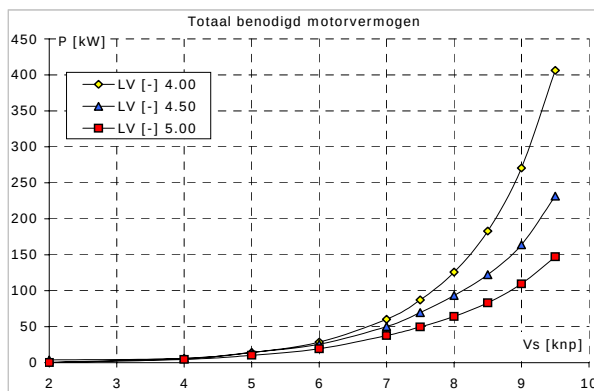
In figuur 24, figuur 25 en figuur 26 zijn de resultaten opgenomen van respectievelijk 7.50, 10.0 en 12.5 meter waterlijn lengte. Duidelijk is de invloed van de waterverplaatsing te zien, en ook dat de weerstand, en daarmee het benodigde motorvermogen, erg sterk stijgt bij toenemende snelheid. De maximum snelheden komen ongeveer overeen met de rompsnelheid.



figuur 24. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een eenvoudige knikspant, met $L_{WL} = 7.50m$, voor lengte-waterverplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



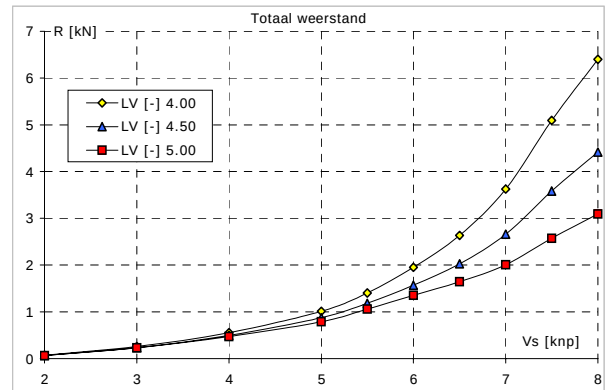
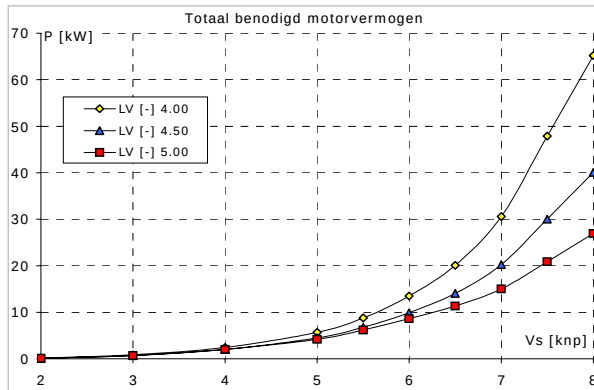
figuur 25. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een eenvoudige knikspant, met $L_{WL} = 10.0m$, voor lengte-waterverplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



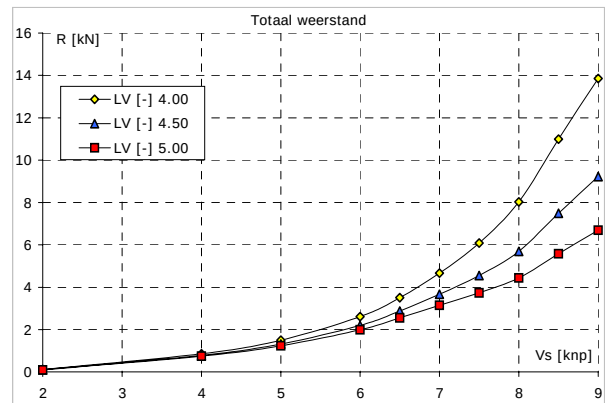
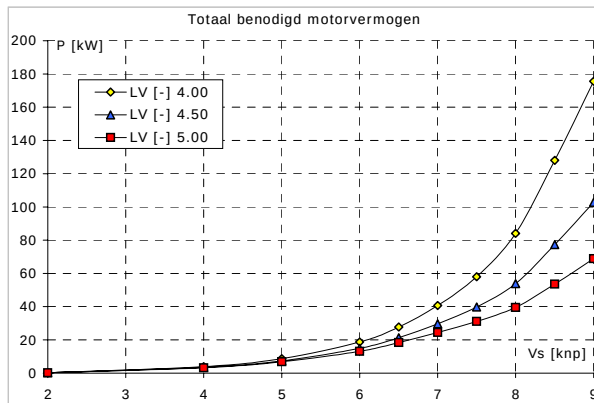
figuur 26. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een eenvoudige knikspant, met $L_{WL} = 12.5m$, voor lengte-waterverplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.

5.3 Snelle Knikspant

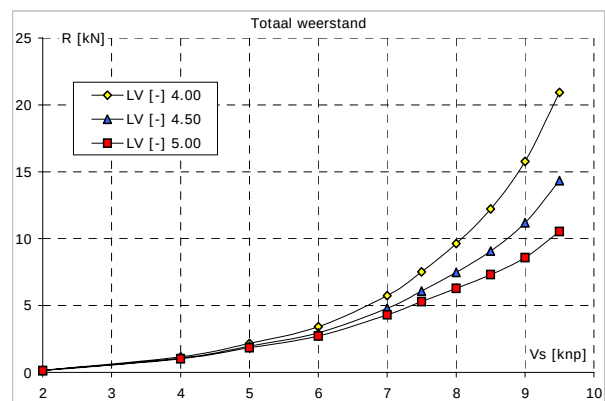
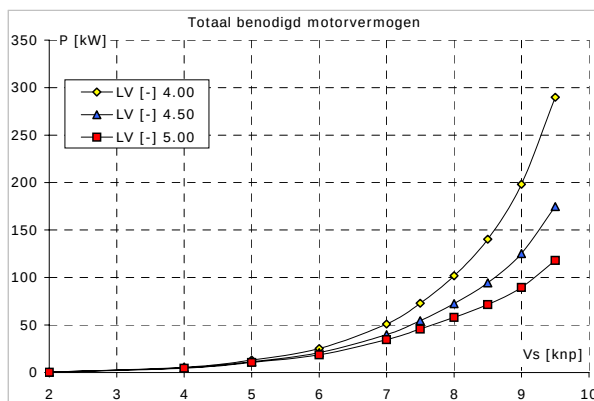
Op dezelfde wijze als in de vorige paragraaf, zijn deze berekeningen herhaald voor de snelle knikspant, varend op lage snelheden. Dezelfde waterlijn lengtes en waterverplaatsingen zijn geanalyseerd. De resultaten staan in figuur 27, figuur 28 en figuur 29. Wederom voor kalm, diep water zonder tegenwind.



figuur 27. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een snelle knikspant, met $L_{WL} = 7.50m$, voor lengte-waterverplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



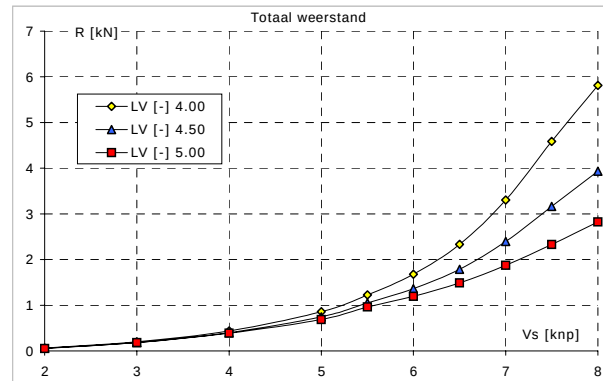
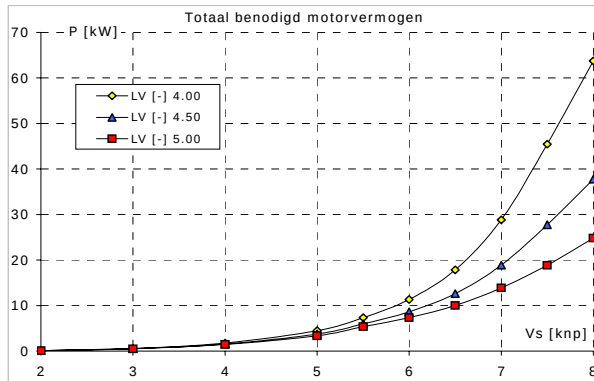
figuur 28. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een snelle knikspant, met $L_{WL} = 10.0m$, voor lengte-waterverplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



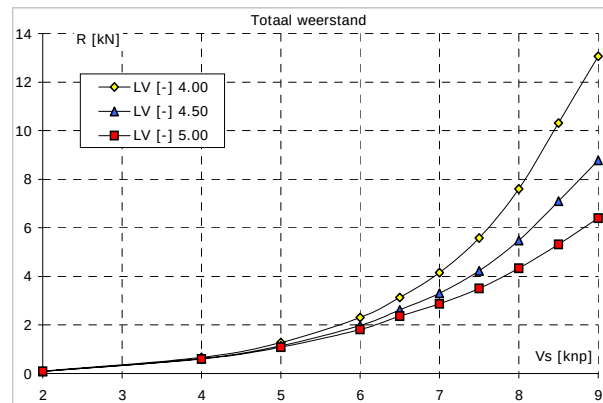
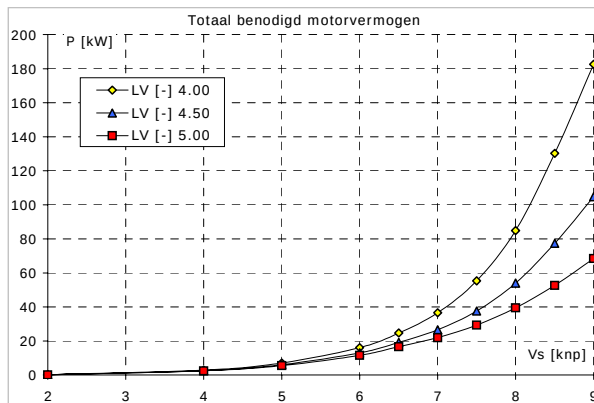
figuur 29. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een snelle knikspant, met $L_{WL} = 12.5m$, voor lengte-waterverplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.

5.4 Multiknikspant

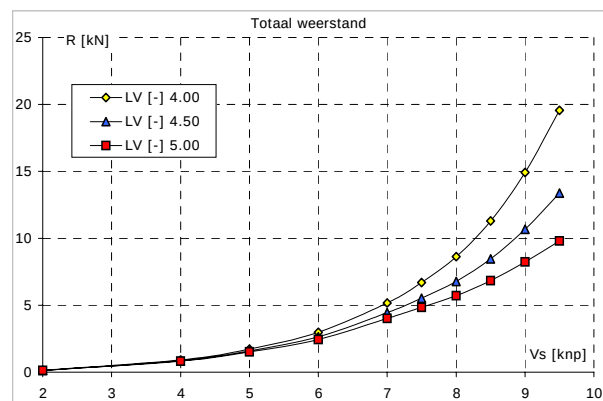
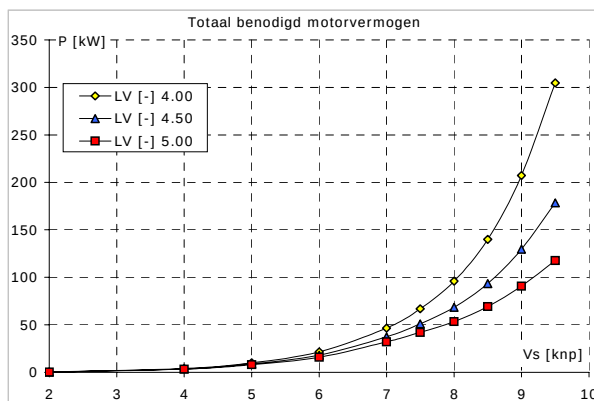
Identiek aan de vorige twee gevallen, zijn deze berekeningen herhaald voor de multiknikspant (met vijf knikken). Dezelfde waterlijn lengtes en waterverplaatsingen zijn geanalyseerd. De resultaten staan in figuur 30, figuur 31 en figuur 32, wederom voor kalm, diep water zonder tegenwind.



figuur 30. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een multiknikspant, met $L_{WL} = 7.50m$, voor lengte-waterversplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



figuur 31. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een multiknikspant, met $L_{WL} = 10.0m$, voor lengte-waterversplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



figuur 32. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een multiknikspant, met $L_{WL} = 12.5m$, voor lengte-waterversplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.

Hoofdstuk 6. Ideale rompvorm van een recreatievaartuig

6.1 Aandachtspunten en ontwerpcriteria.

Om tot een alternatief ontwerp te komen dat betere hydrodynamische eigenschappen heeft dan de besproken ontwerpen in de vorige paragraaf, is het nodig eerst een aantal punten te definiëren waarop een verbetering te verwachten valt.

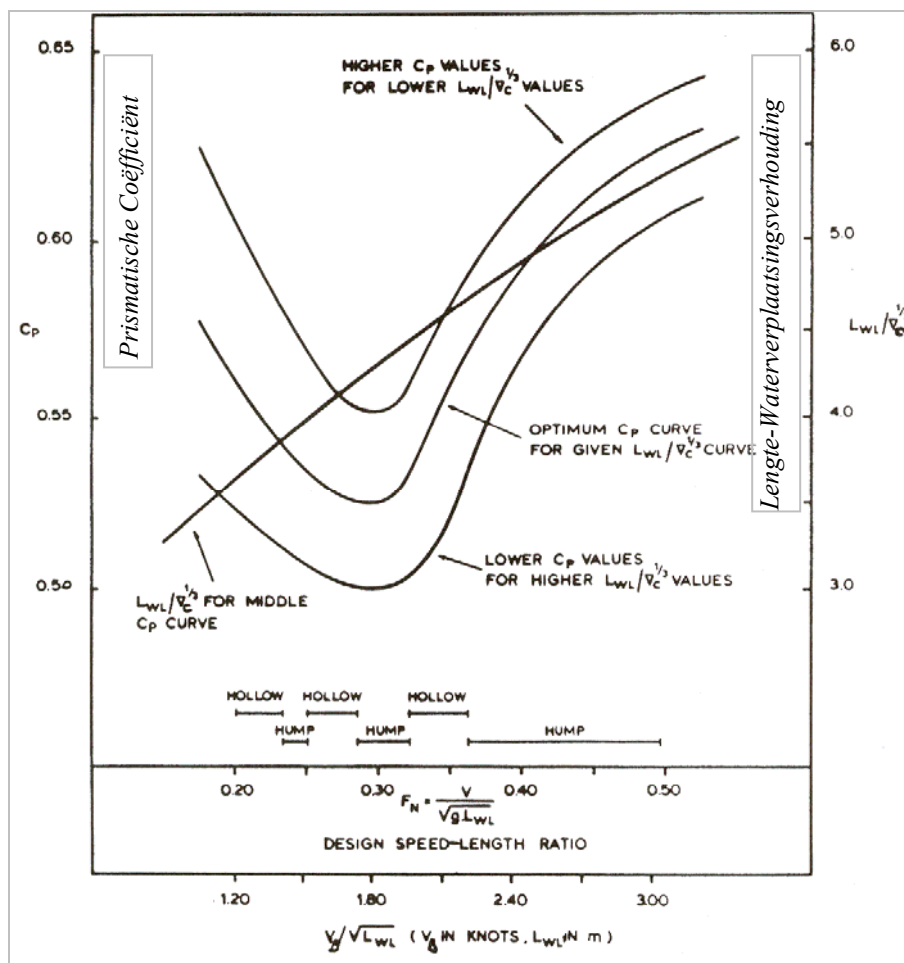
6.1.1 Langsscheepse prismatische coëfficiënt

Voor een gegeven romp, is na de lengte-waterverplaatsingsverhouding, de langsscheepse prismatische coëfficiënt, C_p , de meest bepalende factor voor de golf-makende weerstand. C_p is te berekenen door formule 7 en is een maat voor de volume verdeling over de lengte van het schip. Is C_p laag, dan is veel volume geconcentreerd rondom de midscheeps, en zijn de uiteinden van het schip slank. Indien C_p hoog is, dan zijn de einden van het schip relatief vol.

$$C_p = \frac{C_B}{C_X} = \frac{\nabla}{A_X \cdot L_{WL}}$$

formule 7. Langsscheepse prismatische coëfficiënt.

Er is veel onderzoek verricht naar de optimale waarde van de prismatische coëfficiënt, zie bijvoorbeeld figuur 33, en het voorbeeld hoe deze figuur te gebruiken. De optimale waarde is sterk afhankelijk van de ontwerpsnelheid en (in mindere mate) van de lengte-waterverplaatsingsverhouding.



Voorbeeld bij figuur 33:

Voor een Froude getal (F_N) van 0.35 (horizontale as), zou de optimale prismatische coëfficiënt (C_p) op 0.56 liggen (linker verticale as), als de lengte-waterverplaatsingsverhouding ($L_{WL}/V^{1/3}$) gelijk aan 4.6 (rechter verticale as) zou zijn.

Indien de lengte-waterverplaatsingsverhouding lager is, ligt de optimale C_p hoger, namelijk tussen 0.56 en 0.58.

Is de lengte-waterverplaatsingsverhouding echter hoger dan 4.6, dan ligt de optimale C_p tussen 0.525 en 0.56.

figuur 33. Optimale prismatische coëfficiënt (C_p) als functie van Froude getal (F_N) en lengte-waterverplaatsingsverhouding ($L_{WL}/V^{1/3}$).

Voor de motorboten, zoals onderwerp van deze studie, is een ontwerpsnelheid overeenkomstig met een Froude getal van 0.35 een goed uitgangspunt. Dit is ongeveer 6.8 knoop voor een schip met een waterlijn lengte van 10 meter. De drie typerende rompontwerpen hebben een C_p van tussen de 0.67 (multiknikspant) en 0.79 (snelle knikspant). Uit de figuur blijkt dat de optimale waarde van de prismatische coëfficiënt tussen 0.52 en 0.58 ligt, wat veel lager is dan hetgeen in de praktijk voorkomt. Door toepassing van een lagere prismatische coëfficiënt, valt uit weerstands oogpunt veel te winnen.

6.1.2 *Oppervlak van de ondergedompelde spiegel en ligging van het drukingspunt*

Een ander kenmerk van de geanalyseerde ontwerpen is het grote ondergedompelde spiegeloppervlak. Dit wordt vaak toegepast om een groot volume in het achterschip te creëren in verband met het interieur. Op lage snelheden, onder de rompsnelheid, veroorzaakt dit echter een dood water gebied achter het schip, waardoor de weerstand sterk toeneemt, omdat dit water “meegezogen” wordt met het schip.

Pas op hogere snelheden, die deze schepen meestal nooit zullen halen, zal de spiegel vrijkomen van het water, en zal deze weerstand verdwijnen, en zelfs positief doorwerken op de totale weerstand, omdat dit zorgt voor een fictieve verlenging van de waterlijn lengte van het schip. Hoe groter het oppervlak, hoe hoger de snelheid is waarop dit effect zal optreden. In dit verband wordt verwezen naar een publicatie van Allema en Jonk, [3].

Als het ondergedompelde spiegeloppervlak gelijk aan nul is, zal dit resulteren in een grote achterwaartse trim op hogere snelheden, ook resulterend in een grotere weerstand. Uit onderzoek van het Marin (De Groot), [4] blijkt dat de optimale waarde voor het ondergedompelde spiegeloppervlak tussen de 5 en 10 % van het oppervlak van het grootste spant ligt, voor de gekozen ontwerpsnelheid.

De longitudinale ligging van het drukingspunt is een belangrijke parameter voor de golf-makende weerstand. Het drukingspunt is het volumezwaartepunt van het ondergedompelde romp volume, en de ligging ervan wordt normaliter uitgedrukt in een percentage van de lengte op de waterlijn, ten opzichte van de midscheeps (dus voor een lengte op de waterlijn van 10 meter en een drukingspuntligging van 0.50 meter achter het midden wordt dit als -5% aangeduid). De voorbeeldschepen hebben een zeer uiteenlopende L_{CB} , rond de -1.7 % voor de enkele knikspant en de multiknikspant en -6.3 % voor de snelle knikspant.

Ook uit publicatie [4] blijkt dat de optimale waarde voor L_{CB} op ca. -1.9% ligt.

6.1.3 *Vormgeving van het voorschip*

De geanalyseerde ontwerpen hebben allen een zeer vol voorschip, mede uit het oogpunt van extra volume voorin, omdat zich daar vaak een extra hut bevindt. Een goede maat voor de volheid van het voorschip is de halve intreehoek van de waterlijn, zie figuur 34 waarin deze grafisch weergegeven is.

Uit het oogpunt van de hydrodynamische weerstand, is het gewenst deze I_E zo klein mogelijk te houden. Dit is echter moeilijk te realiseren voor een kleiner schip, met een kleine L_{WL}/B_{WL} verhouding. Een goede streefwaarde is 25 graden. De voorbeeldschepen hebben doorgaans een I_E van 40 tot 50 graden, of zelfs nog hoger.

In verband met een goede manoeuvreerbaarheid is het aan te bevelen om te streven voor een niet geprononceerde voorvoet (zie figuur 34). Koersstabiliteit kan verkregen worden door toepassing van een skeg, zie ook de volgende paragraaf.

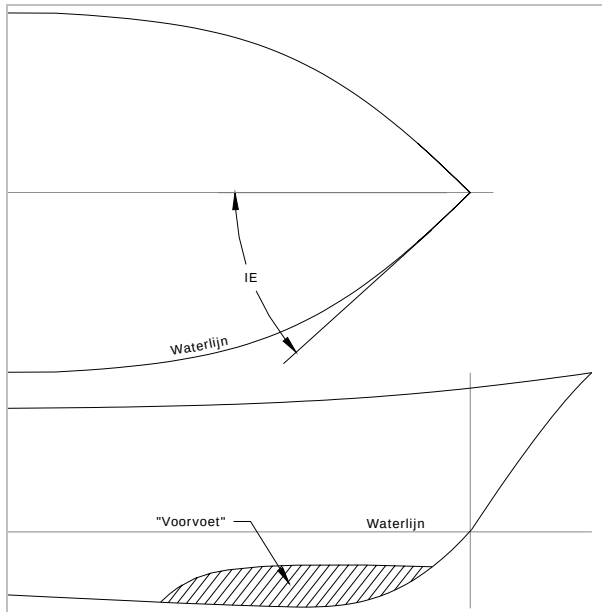
6.1.4 *Schroef en appendage ontwerp*

Zoals al eerder bleek bij de analyse van het benodigde vermogen per ton waterverplaatsing, zie figuur 9, is bij het verlagen van de schroefbelasting een belangrijke rendementsbesparing te winnen. Uit een verdere analyse van het rendement, zie figuur 35, blijkt inderdaad dat het totale schroefrendement erg laag is. Voor een groot deel bevindt het rendement zich onder de 50% terwijl een goed ontworpen schroef 60 tot 65% moet kunnen halen. Hiermee valt dus meer dan 30% vermogensbesparing te winnen.

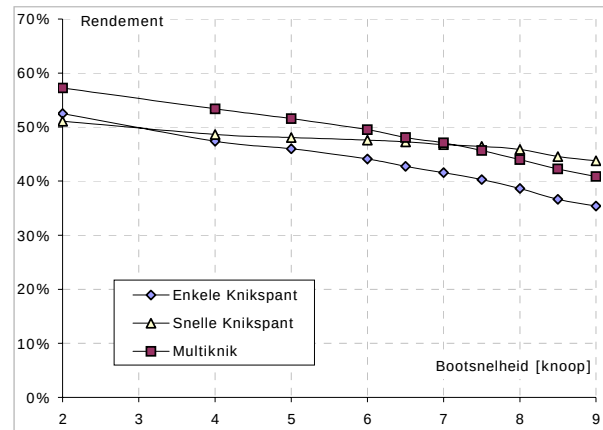
Uit een uitgevoerde optimalisatie berekening voor de propeller diameter, zie figuur 36, is duidelijk te zien dat een te kleine keuze voor de keuze van de diameter resulteert in een grote vermogens toename.

Echter de optimale diameter voor een snelheid van 8 knoop ($F_N = 0.4$) is 1.10 meter, wat te groot is voor de beoogde diepgang. Een goede waarde is 0.75 meter, waarmee buiten het gebied van de sterke vermogenstoename gebleven wordt.

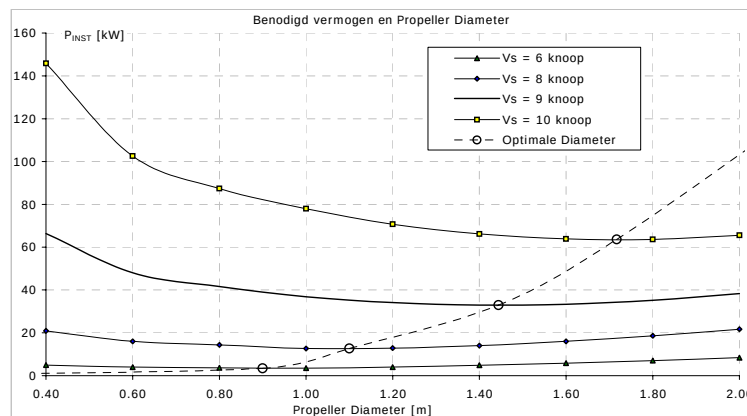
Een controle van deze diameter in figuur 14, leert dat deze waarde een stuk groter is dan de gangbare diameters van de bestaande schepen in de database.



figuur 34. Definitie van I_E , de halve intreehoek van de waterlijn (in bovenaanzicht) en de "voorvoet" (in zijaanzicht).



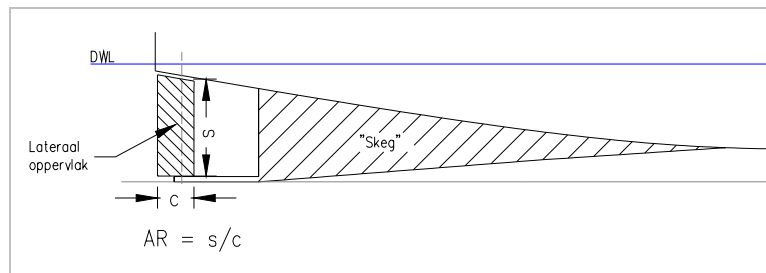
figuur 35. Totaal voortstuwingsrendement voor een schroefdiameter van 0.56m, zoals vaak in de praktijk toegepast, voor $L_{WL} = 10.0m$, $L_{WL}/V^{1/3} = 4.50$. Hierbij is een mechanisch overbrengingsrendement van 95% aangenomen.



figuur 36. Benodigd vermogen voor verschillende snelheden, als functie van de propeller diameter, voor de ideale rondspant rompvorm met $L_{WL} = 10.0m$ en lengte-waterverplaatsingsverhouding = 4.50. Het maximum rendement bij een bepaalde snelheid wordt behaald bij de diameter die afgelezen wordt bij het snijpunt van de stippellijn en de betreffende snelheidslijn.

Voor de overige appendages zal er een skeg, een roer en een boegschroef gedimensioneerd moeten worden. Voor de skeg, een soort langwerpige kiel onder de romp, zie figuur 37, meestal beginnend op het diepste punt van de romp en naar achteren toe doorlopend tot vlak voor de schroef, geldt dat de primaire functies het waarborgen van de koersstabiliteit en het beschermen van schroef en roer bij het aan de grond lopen zijn. Voorts dient deze ook als ondersteuning bij het dokken. De skeg heeft echter ook viskeuze weerstand, waardoor er een compromis moet worden gevonden.

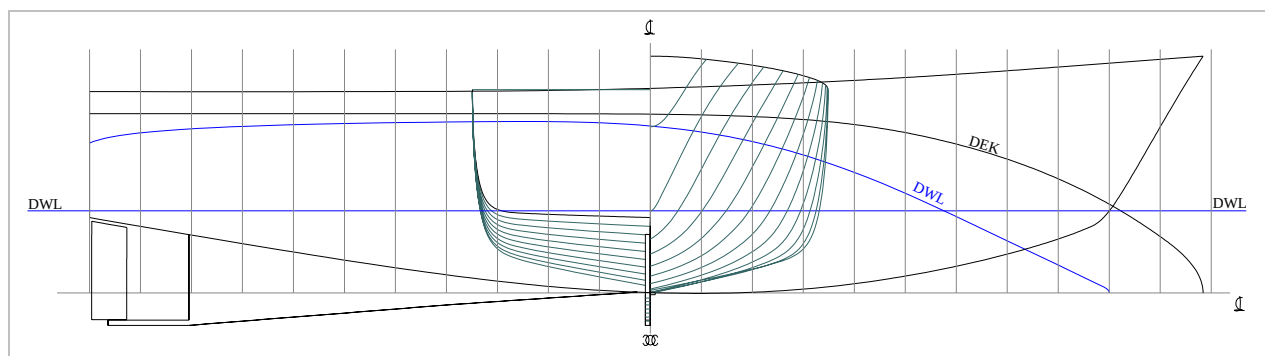
Het roer zal een oppervlak moeten hebben van ongeveer 5% van het laterale oppervlak van de romp. Voorts zal het roer, voor een hoge efficiëntie, een hoge aspectverhouding moeten hebben, samen met een goede profielvorm. Voor een verduidelijking van het lateraal oppervlak en de aspectverhouding, zie figuur 37.



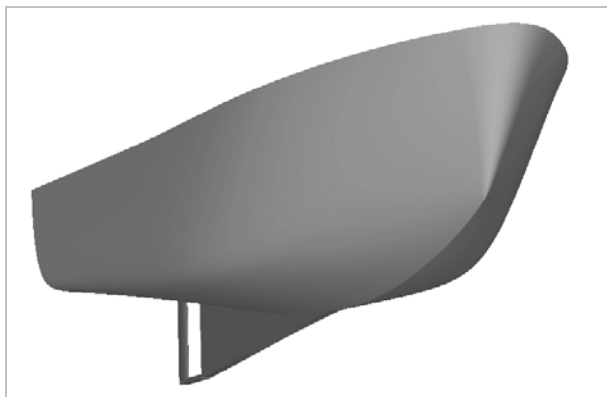
figuur 37. Definitie van een "skeg", het lateraal oppervlak en de aspectverhouding van het roer.

6.2 Lijnenplan en ontwerpeigenschappen

De in de vorige paragraaf beschreven ontwerpcriteria hebben geleid tot de rompvorm zoals te zien in figuur 38 en figuur 39, met de bijbehorende hydrostatische gegevens in tabel 5.



figuur 38. Lijnenplan van het voorgestelde alternatieve rondspant ontwerp.



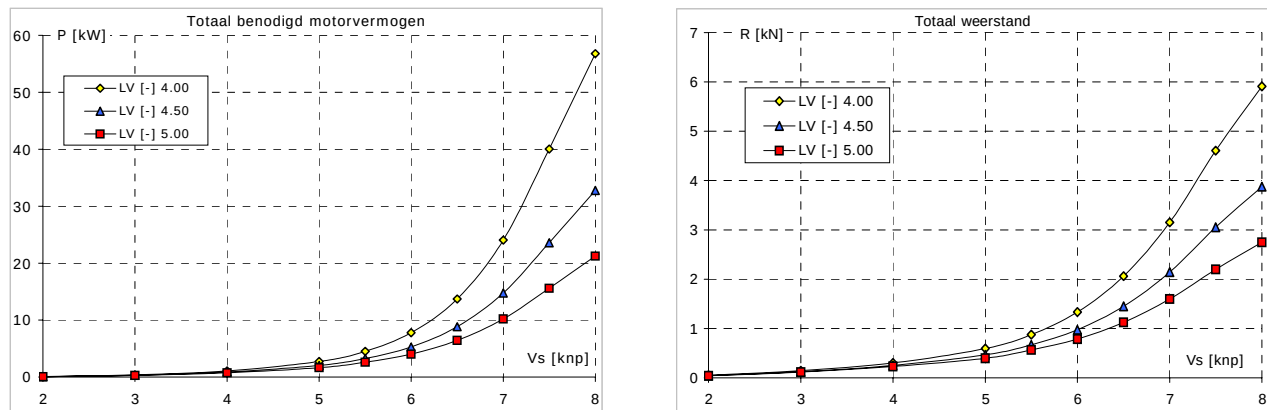
figuur 39. 3D weergave van het lijnenplan van figuur 38.

tabel 5. Hydrostatica van het alternatief rondspantontwerp met $L_{WL} = 10.0$ meter en lengte-waterverplaatsingsverhouding 4.50

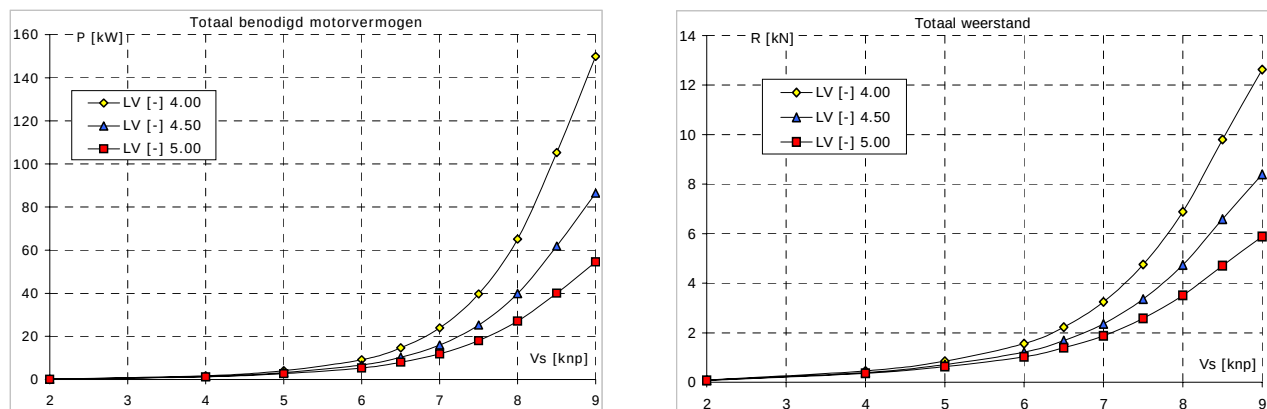
L_{OA}	10.96	[m]
B_{WL}	3.33	[m]
T_{CB}	0.80	[m]
T_{MAX}	1.12	[m]
S_{CB}	31.1	[m ²]
A_X	1.92	[m ²]
C_B	0.41	[-]
C_M	0.74	[-]
C_P	0.56	[-]
C_{WP}	0.80	[-]
L_{CB}	-1.90	[% van L_{WL}]
I_E	25	[deg]
A_{TR}	0.12	[m ²]
T_{TR}	0.07	[m]

6.3 Weerstands- en vermogensanalyse

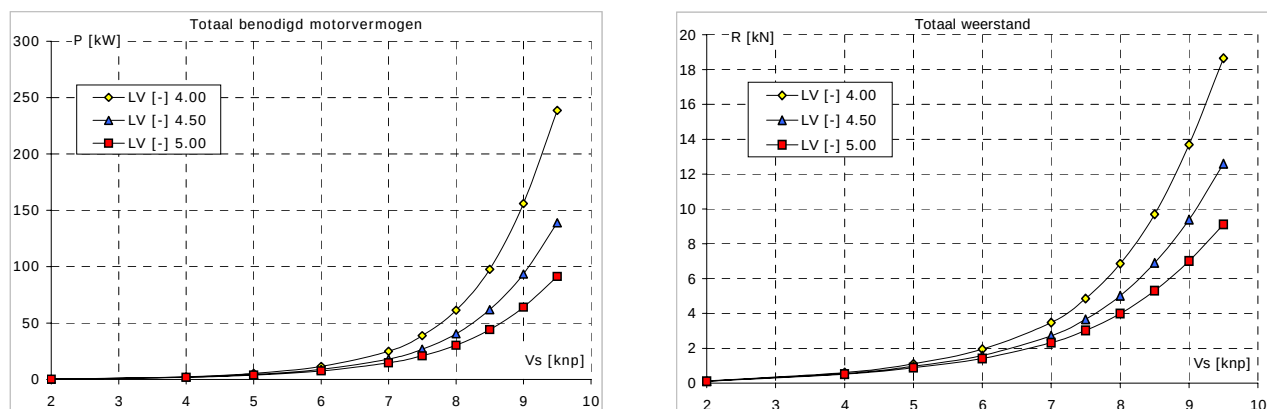
Ook voor dit ontwerp zijn er systematische vermogens- en weerstandsberekeningen uitgevoerd, voor dezelfde lengtes en waterverplaatsingen als voor de drie typerende ontwerpen in het vorige hoofdstuk. De resultaten staan in figuur 40, figuur 41 en figuur 42.



figuur 40. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een ideale rondspant, met $L_{WL} = 7.50m$, voor lengte-watervplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



figuur 41. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een ideale rondspant, met $L_{WL} = 10.0m$, voor lengte-watervplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.



figuur 42. (A en B). Totaal benodigd motorvermogen en totale weerstand van een ideale rondspant, met $L_{WL} = 12.5m$, voor lengte-watervplaatsingsverhoudingen 4.0, 4.5 en 5.0.

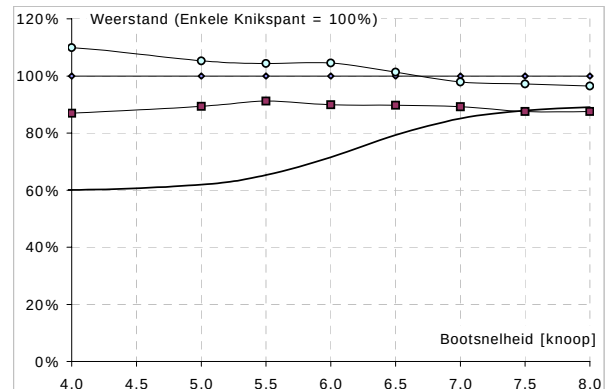
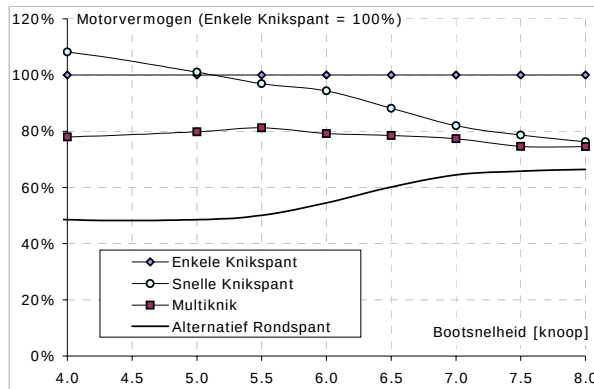
6.4 Weerstands- en vermogensvergelijk met bestaande ontwerpen.

Met behulp van de resultaten uit de vorige paragraaf is een weerstands- en vermogensvergelijk gemaakt met de drie beschouwde romptypes. De resultaten zijn samengevat in figuur 43 tot en met figuur 51, één voor iedere lengte – lengte-watervplaatsingsverhouding combinatie. In Bijlage 2 zijn uitgebreide resultaten voor de drie romptypes opgenomen.

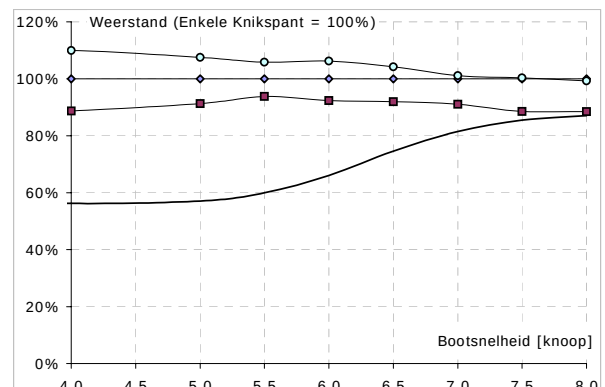
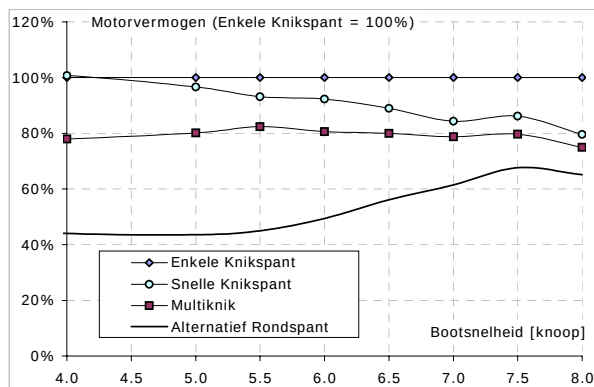
De winst die met dit ontwerp behaald kan worden is overduidelijk. Voor lagere snelheden is slechts 40% van het vermogen benodigd in vergelijking met de enkele knikspant. Bij hogere snelheden wordt de winst iets minder maar het benodigde vermogen komt nooit boven de 70% van dat van het bestaande schip. Op de ontwerpsnelheid, aangenomen als normale kruissnelheid, $F_N = 0.35$, of ongeveer 6 knoop voor 7.50m

waterlijn lengte, 6.8 knoop voor 10.0m waterlijn lengte en 7.6 voor het schip met 12.5m lengte op de waterlijn, is het benodigde vermogen gemiddeld 50% van de vergelijkbare enkele knikspant.

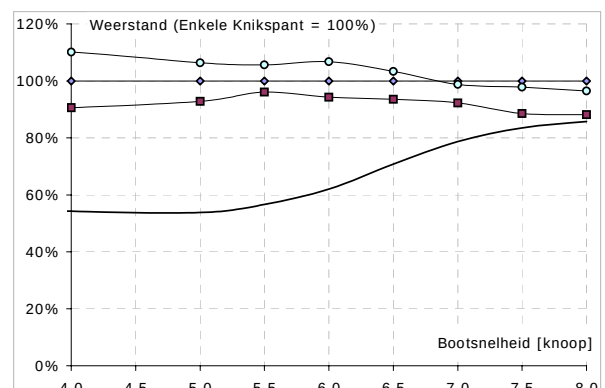
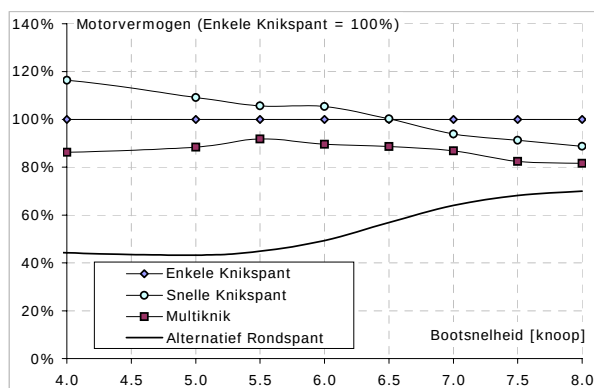
Gemiddeld genomen is de vermogenswinst voor circa 70% het gevolg van de afname in hydrodynamische weerstand, en voor het overige deel het gevolg van een beter schroefrendement, door de toegepaste grotere schroefdiameter.



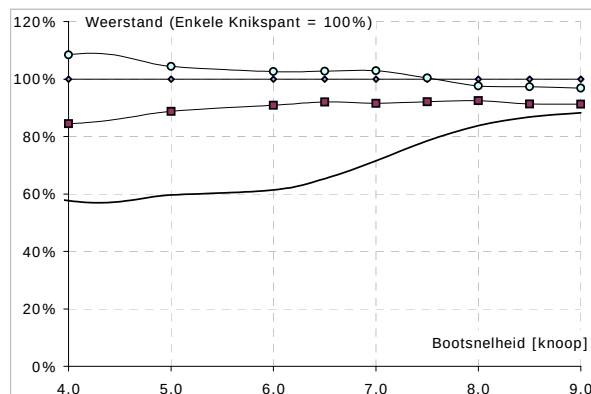
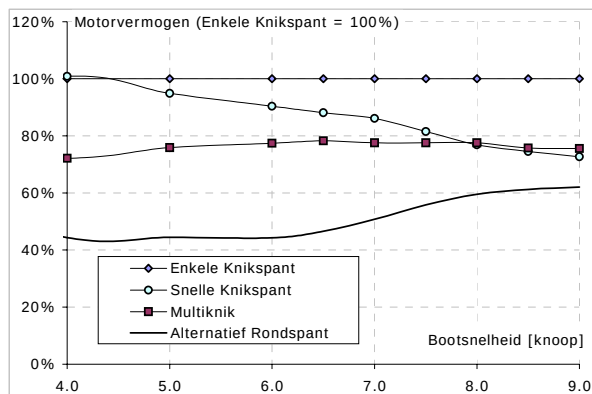
figuur 43. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 7.50m en lengte-waterversplaatsingsverhouding = 4.0.



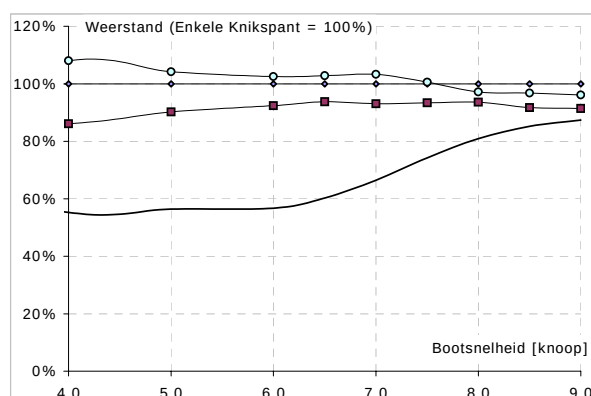
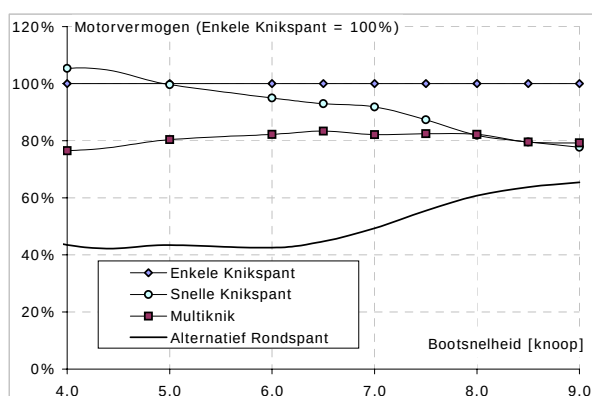
figuur 44. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 7.50m en lengte-waterversplaatsingsverhouding = 4.5.



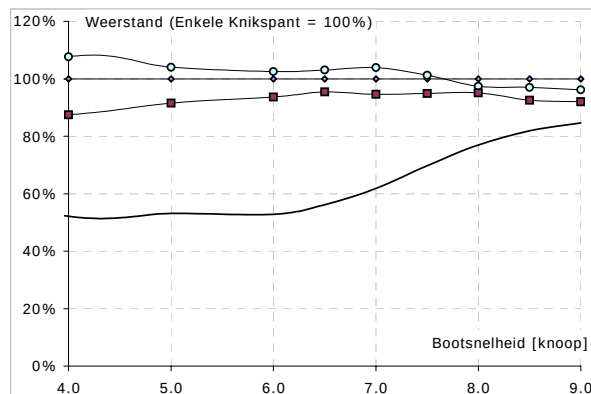
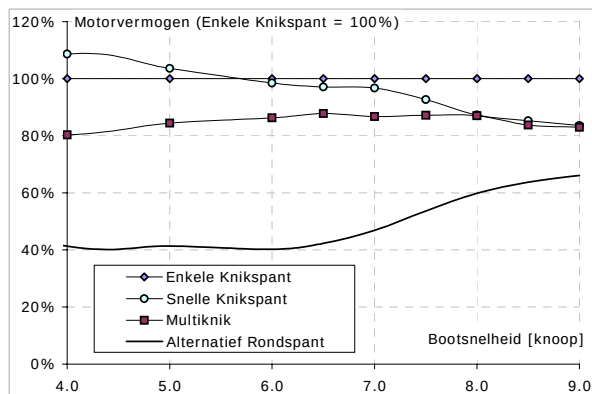
figuur 45. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 7.50m en lengte-waterversplaatsingsverhouding = 5.0.



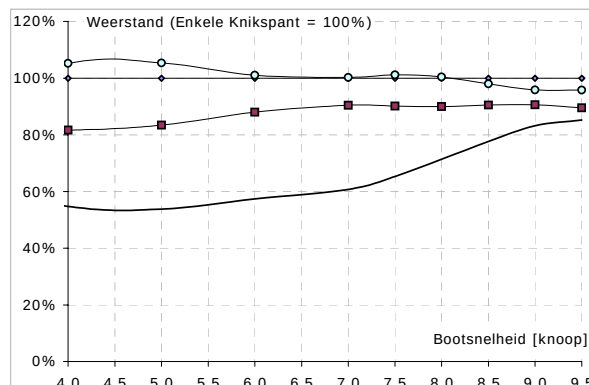
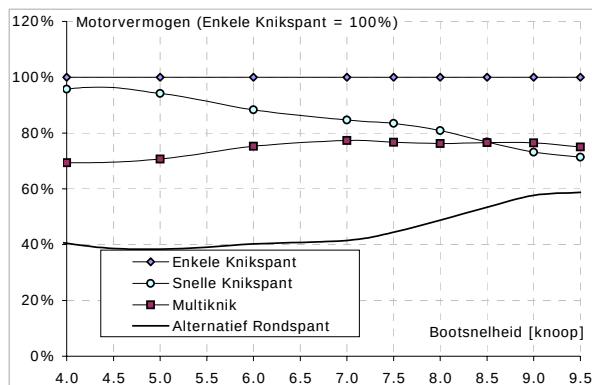
figuur 46. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 10.0m en lengte-waterverplaatsingsverhouding = 4.0.



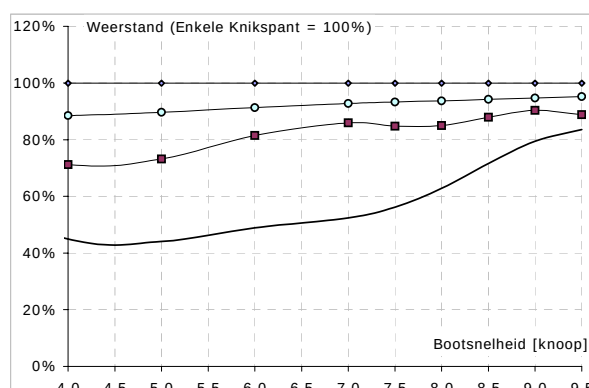
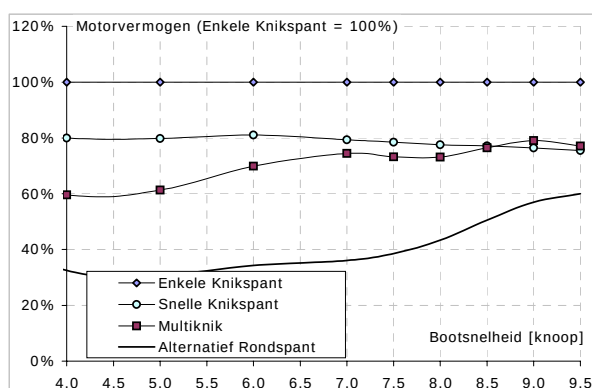
figuur 47. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 10.0m en lengte-waterverplaatsingsverhouding = 4.5.



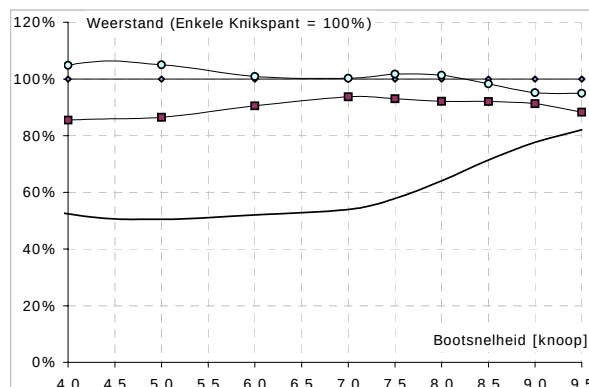
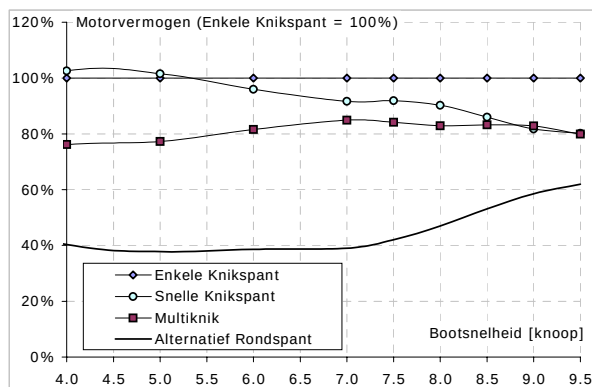
figuur 48. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 10.0m en lengte-waterverplaatsingsverhouding = 5.0.



figuur 49. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 12.5m en lengte-waterverplaatsingsverhouding = 4.0.



figuur 50. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 12.5m en lengte-waterverplaatsingsverhouding = 4.5.



figuur 51. (A en B). Weerstands- en vermogensvergelijk van verschillende romptypen met LWL = 12.5m en lengte-waterverplaatsingsverhouding = 5.0.

Hoofdstuk 7. Nadere beschouwing van de ideale rompvorm

7.1 Hydrostatica

Voor de schepen met $L_{WL} = 10.0 \text{ m}$ en $L_{WL} / \nabla^{1/3} = 4.5$ (het middelste schip in de systematische serie) zijn de hydrostatiche gegevens als gegeven in tabel 6.

tabel 6. Hydrostatica van de ontwerpen.

	Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknikspant	Alternatief Rondspant	
L_{OA}	11.16	11.60	11.40	10.96	m
L_{WL}	10.00	10.00	10.00	10.00	m
B_{OA}	3.74	3.69	3.94	3.50	m
B_{WL}	3.57	3.35	3.76	3.33	m
T_{MAX}	0.79	0.75	0.90	1.12	m
T_{CB}	0.79	0.75	0.51	0.80	m
∇_{TOT}	10.72	10.88	10.84	11.04	m^3
∇_{CB}	10.57	10.76	10.38	10.86	m^3
C_B	0.38	0.44	0.56	0.41	-
C_M	0.57	0.65	0.83	0.74	-
C_P	0.77	0.79	0.68	0.56	-
C_{WP}	0.87	0.84	0.84	0.80	-
L_{CB}	-1.68	-6.32	-1.61	-1.90	%
S_{CB}	35.6	35.0	33.9	31.1	m^2
A_X	1.37	1.37	1.57	1.92	m^2
I_E	42.0	44.0	70.0	25.0	deg
A_{TR}	0.80	1.11	0.40	0.12	m^2
T_{TR}	0.36	0.48	0.21	0.07	m
KB	0.58	0.53	0.32	0.55	m
$KG^{*)}$	1.10	1.06	0.90	1.10	m
BM	2.77	2.08	2.82	1.91	m
GM	2.25	1.55	2.24	1.36	m

*) Zie paragraaf 7.5.

7.2 Brandstofverbruik en motoremissie

Naar aanleiding van het gedane onderzoek naar een betere rompvorm voor de recreatievaart, volgt hier een tabel met de winst in emissie uitstoot per schip. Hierbij zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Specifiek verbruik dieselmotor = 0.25 kg / kW uur [12]
- Gemiddeld gebruik van totaal vermogen = 20.7 % [7]
- Motoruren per jaar voor kajuitmotorboot = 126 uur/jaar [12]

Uitgaande van een knik- en rondspant met een L_{WL} van 10 m en een lengte-waterverplaatsings-verhouding van 4.50 kunnen berekeningen worden gemaakt zoals weergegeven in tabel 7.

Voor de knikspant is het motorvermogen, voor een te behalen maximum snelheid van 8.2 knoop, bepaald op 80 kW (zie figuur 25). Het gemiddeld gebruik hiervan is (20.7% x 80 kW =) 16.6 kW. Op dit vermogen is de snelheid van de knikspant berekend op 6 knoop (zie wederom figuur 25).

De rondspant heeft voor een zelfde maximaal te behalen snelheid van 8.2 knoop, slechts 50 kW nodig. Aangenomen dat niet zozeer het vermogen als wel de snelheid van het schip de bepalende factor is voor het gemiddeld gebruikte motorvermogen per jaar, is dit vermogen voor de rondspant op 6 knoop gelijk aan 7 kW (zie figuur 41). De rondspant zal gemiddeld per jaar dus slechts (7 / 50 x 100% =) 14% van het totale motorvermogen gebruiken.

In [12] wordt een specifiek brandstofgebruik voor een dieselmotor in de pleziervaart vermeld van 0.25 kg / kW uur. Het dieselverbruik van een rondspant per uur (1.75 kg of 2.08 liter) is 58% lager dan dat

van de knikspant (4.15 kg of 4.94 liter). Het gemiddeld aantal motoruren bedraagt voor een kajuitmotorboot 126 uren per jaar. Per jaar zou dus ca. 300 kg of 360 liter diesel bespaard kunnen worden.

Omrekening van het dieselverbruik naar emissies van schadelijke stoffen naar de lucht of het water kan plaatsvinden met behulp van de in [7] en [12] vermelde emissiefactoren voor diesel. Emissiefactoren voor de CO, NMVoS en Nox en enkele andere specifieke organische componenten van verschillende motorboten worden gegeven door [13]. De emissiefactoren van PAK uit diesels zijn afgeleid door de VOS-emissiefactor uit [13] te vermenigvuldigen met de zogenaamde omrekenfactoren van Emissieregistratie [14] voor VOS-componenten en PAK-componenten. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze waarden gebaseerd zijn op wegverkeer diesels.

In tabel 8 is weergegeven tot welke emissiereductie aan verontreinigende stoffen de brandstofbesparing tussen knikspant en rondspant van 300 kg diesel per jaar resulteert.

tabel 7. Vergelijking van brandstofverbruik tussen de knikspant en rondspant van 10 meter waterlijn lengte.

	Knikspant	Rondspant
Max. vermogen bij 8.2 knoop	80 kW	50 kW
Gebruikte vermogen (op 6 knoop)	16.6 kW	7.0 kW
Verbruik diesel per uur	4.15 kg (= 4.94 liter)	1.75 kg (= 2.08 liter)

tabel 8. Jaarlijkse emissiereductie aan verontreinigende stoffen per pleziervaartuig door brandstofbesparing tussen knikspant en rondspan, met een waterlijnlengte van 10m en een lengte-waterverplaatsingsverhouding van 4.50.

Emissie factoren bij gemiddeld gebruik van motor			Emissiereductie tussen knikspant en rondspant	
g/ kg diesel				
	CO	20	6048	g
	NOx	58	17.5	kg
	SO2	1.71	517	g
	CO2	3170	958	kg
	N2O	0.03	9.07	g
	CH4	0.21	63.5	g
mg/kg diesel	Benzeen	174	52.6	g
	Tolueen	128	38.7	g
	1,3-Butadieen	30.0	9.07	g
	Formaldehyde	520	157	g
	PAK (6 van Borneff)	1.54	0.466	g
	PAK (10 van VROM)	70.0	21.2	g
	Metalen	0.070	21.2	mg
	Koper	0.026	7.9	mg
	Zink	0.019	5.7	mg
	Nikkel	0.014	4.2	mg
	Chroom	0.002	0.6	mg
	Vanadium	0.009	2.7	mg

7.3 Golfhoogte en golfslag

De opgewekte golfhoogte, en de daarmee gepaard gaande golfslag is direct afhankelijk van de energie die het schip aan het water afgeeft. Deze energie is totaal afhankelijk van de golf-makende weerstand van het schip. In figuur 52 staan de golf-makende weerstanden van de 10 meter knikspant en de equivalente rondspant uitgezet.

De afgegeven energie van het schip aan het water, per tijdseenheid is:

$$\frac{E}{\partial t} = R_w \cdot V_s$$

formule 8. Afgegeven energie aan het water per tijdseenheid.

De energie van een golf, per oppervlakte eenheid, is te berekenen door:

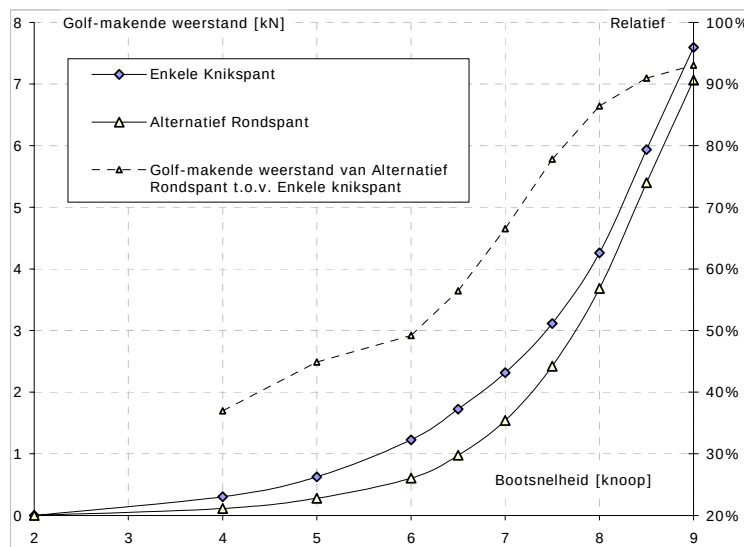
$$\frac{E}{\partial A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \zeta_a^2$$

formule 9. Energie van een golf per oppervlakte eenheid.

Deze twee formules kunnen gecombineerd worden tot:

$$\zeta_a^2 = \frac{R_w \cdot V_s}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g} \cdot \frac{\partial t}{\partial A}$$

formule 10. Relatie tussen golfhoogte en golfweerstand (1).



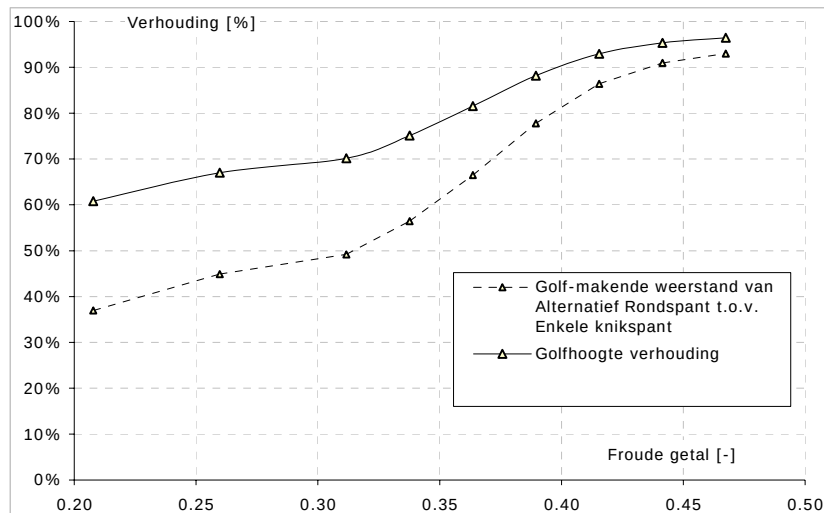
figuur 52. Vergelijk van de golf-makende weerstand van de rondspant en de enkele knikspant, beiden met een waterlijnlengthe van 10m en een lengte-waterverplaatsingsverhouding van 4.50.

Uit formule 10 blijkt dat het kwadraat van de golf amplitude recht evenredig is met de golf-makende weerstand, voor een bepaalde snelheid. Anders gezegd, de golfamplitude is een functie van de wortel uit de golf-makende weerstand, zie formule 11. Deze relatie is uitgezet in figuur 53, voor de rondspant ten opzichte van de knikspant.

$$\zeta_a = f(\sqrt{R_w})$$

formule 11. Relatie tussen golfhoogte en golfweerstand (2).

Voor het belangrijke (kruis-)snelheidsgebied rond $F_N = 0.35$, blijkt dat de opgewekte golven van de rondspant ongeveer 20 % lager zijn dan de opgewekte golven van de enkelvoudige knikspant.



figuur 53. Verhouding tussen golf-makende weerstand en de hoogte van de opgewekte golven van het rondspant alternatief t.o.v. de enkelvoudige knikspant.

7.4 Geluidsemissie

De reductie van de geluidsemissie door de vermogensreductie is moeilijk te bepalen. Dit is afhankelijk van het type motor en het type uitlaatsysteem. Er zijn motoren verkrijgbaar met een groot vermogen die een zeer lage geluidsemissie hebben en andere motoren, met een kleiner vermogen, die een hogere geluidsemissie hebben. Tevens is de mate van isolatie van de motorkamer van grote invloed op het geluidsniveau buiten, en in, het schip.

Uit metingen blijkt dat behalve de motor, ook het geluid dat het schip varend door het water maakt, belangrijk is. Hierbij moet vooral worden gedacht aan het geluid van de opgewekte golven. Aangezien de weerstand, met in het bijzonder de golf-makende weerstand, van het rondspant alternatief aanzienlijk minder is, zal het geluidsniveau van het water in ieder geval afnemen.

7.5 Stabiliteit, zeegangsgedrag en manoeuvreereigenschappen

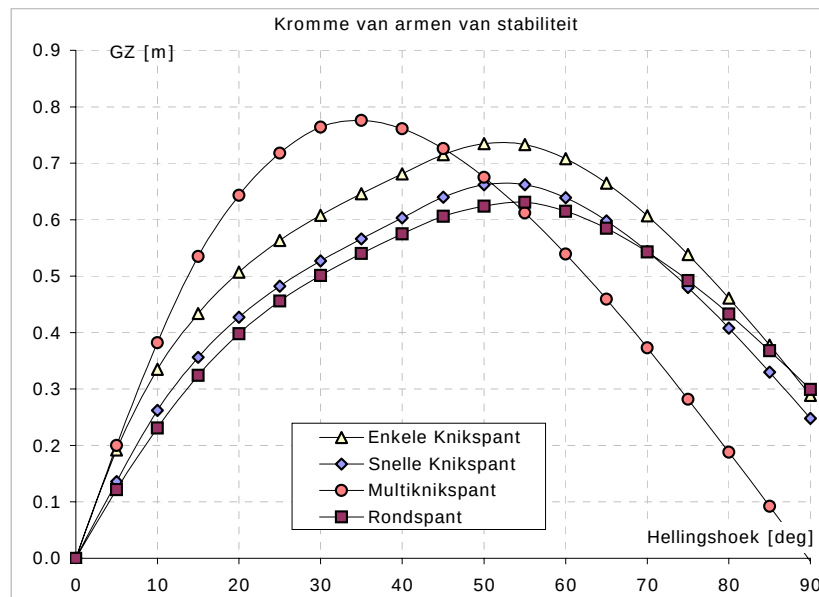
De drie referentie ontwerpen en het rondspant alternatief zijn onderworpen aan een stabiliteitsberekening, zie figuur 54, waarin de armen van het oprichtende moment zijn uitgezet. Hierbij is de hoogte ligging van het zwaartepunt geschat m.b.v. een formule uit [5]:

$$KG = T_{CB} + \sqrt[3]{\frac{B_{WL}}{L_{WL}}} \times (0.6 \cdot F_B - 0.4 \cdot T_{CB})$$

formule 12.

Benadering voor KG

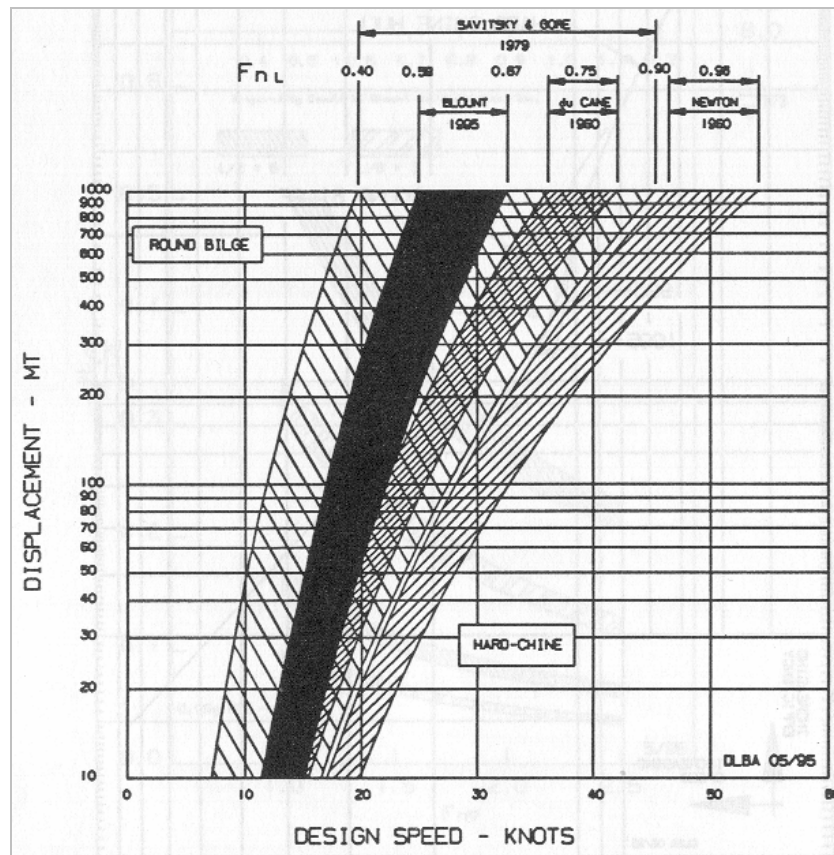
Uit de figuur blijkt dat de stabiliteitskrommes ruim voldoende zijn. Ook zijn ze zeer vergelijkbaar, slechts de multiknikspant heeft een ander verloop: weliswaar een hogere maximum GZ waarde, maar een kleinere stabiliteitsomvang. Het is tevens te zien dat de rondspant wel de laagste GZ waarde heeft, echter het verloop van de kromme bij de grootste hoeken geeft aan dat deze waarschijnlijk de grootste stabiliteitsomvang heeft.



figuur 54. Vergelijk van de kromme van armen van stabiliteit voor de referentie ontwerpen en het rondspant alternatief.

Uit de literatuur, zie [9] en figuur 55, blijkt dat rondspant rompvormen op lage snelheden betere zeegangseigenschappen hebben in voor- en achter-inkomende golven. In dwars-inkomende golven is het niet mogelijk een eenduidig antwoord te geven. De knikspant zal door de harde kim, extra waterdemping hebben. Er zijn echter vele andere parameters die grote invloed hebben: de gewichtsverdeling, volume verdeling, appendage afmetingen en vormgeving, en eventuele apart genomen maatregelen zoals kimkielen of vinstabilisatoren.

De manoeuvreereigenschappen zijn grotendeels afhankelijk van de vormgeving van de appendages, en van de voorvoet, zie figuur 34. Een grote, diepe voorvoet, zoals de bestaande ontwerpen hebben, zal extra koersstabiliteit geven, maar ook een moeilijk manoeuvreerbaar schip. Koersstabiliteit is ook te verkrijgen door toepassing van een skeg, en in combinatie met een ondiepe voorvoet, levert dit een koersvast, goed te manoeuvreren schip.



figuur 55. Aanbeveling voor de selectie van een knikspant of een rondspant rompvorm, volgens Blount [9] op basis van zeegangs-, weerstand & voortstuwingseigenschappen en transportefficiëntie. De gearceerde gebieden geven aan waar de grensgebieden tussen knikspant en rondspant liggen, volgens diverse experts door de jaren heen. Voor lage displacements, bijvoorbeeld 10 ton, en lage snelheden, onder de 10 knoop, zijn rondspant rompvormen te prefereren boven knikspanten.

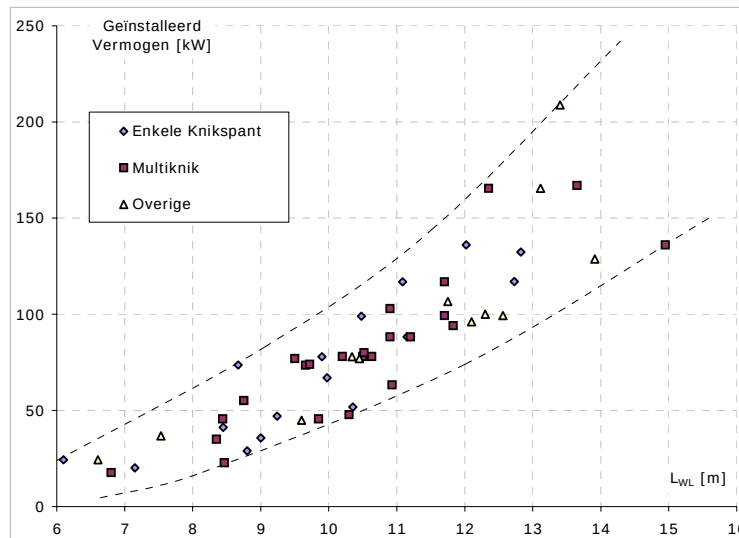
7.6 Bouw- en brandstofkosten

De bouwkosten van een knikspant rompvorm zijn lager dan die van een rondspant rompvorm. Dit verschil komt voort uit de complexere vorm van een rondspant. Een knikspant bestaat grotendeels uit simpele plaat velden, die onderhevig zijn aan enkele buiging (buiging in één richting). Bij een rondspant daarentegen zijn de platen veelal onderhevig aan dubbele buiging, waardoor het arbeidsproces intensiever is. Voor een 10 meter lang schip zal dit ca. 60 uur aan extra arbeidskosten met zich meebrengen.

Het in- en aftimmeren van een rondspant casco is moeilijker dan dat van een knikspant casco. Dit heeft te maken met de ronde vormen van het casco. Het is moeilijker om met ronde vlakken te werken dan met rechte vlakken zoals in een knikspant. Naar een inschatting van Van Oossanen & Associates b.v. zal dit ongeveer 100 uur meer zijn voor een rondspant dan voor een knikspant, voor een 10m lang schip.

Daar tegenover staat echter het financiële voordeel dat gehaald wordt uit het feit dat er een kleinere motor hoeft te worden aangeschaft, eenvoudiger technische systemen, en een lager brandstofverbruik en dus minder brandstofkosten, zie paragraaf 7.2. Voor een knikspant met een waterlijnlengthe van 10 meter, wordt gemiddeld genomen een 80kW motor aangeschaft, zie figuur 56. Voor de equivalente rondspant is dan ongeveer 50kW nodig.

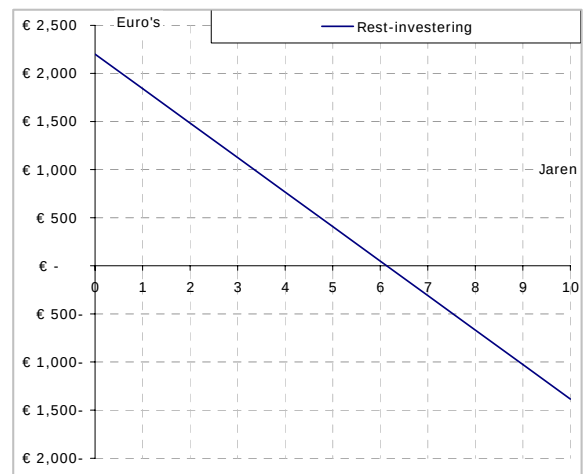
Met behulp van deze gegevens is het mogelijk een terugverdientijd te berekenen van de investering die gedaan moet worden in de (duurdere) rondspant romp. Deze blijkt ongeveer 6.1 jaar te zijn, zie figuur 57, uitgaande van de gegevens zoals bepaald in paragraaf 7.2. Naarmate er meer of minder gevaren wordt dan de 126 uren per jaar zal de terugverdientijd korter, respectievelijk langer zijn.



figuur 56. Geïnstalleerd vermogen als functie van de waterlijnlengthe voor de schepen in de database.

tabel 9. Berekening terugverdientijd

	Verskil in uren	á	Verskil in Euro's
Arbeidskosten casco	60	€ 40	€ 2,400
Arbeidskosten interieur	100	€ 40	€ 4,000
Aanschaf motor	-	-	€ 3,000-
Technische systemen	-	-	€ 1,200-
Initiële extra investering:		€	2,200
Dieselvebruik per jaar	-359	€ 1.00	€ 359-
	Jaren	Verskil in brandstof-kosten	Rest-investering
	0	€ -	€ 2,200
	1	€ 359-	€ 1,842
	2	€ 717-	€ 1,483
	3	€ 1,076-	€ 1,125
	4	€ 1,434-	€ 766
	5	€ 1,793-	€ 408
	6	€ 2,151-	€ 49
	7	€ 2,510-	€ 309-
	8	€ 2,868-	€ 668-
	9	€ 3,227-	€ 1,027-
	10	€ 3,585-	€ 1,385-



figuur 57. Berekening terugverdientijd van de rondspant romp.

7.7 Binnenruimte

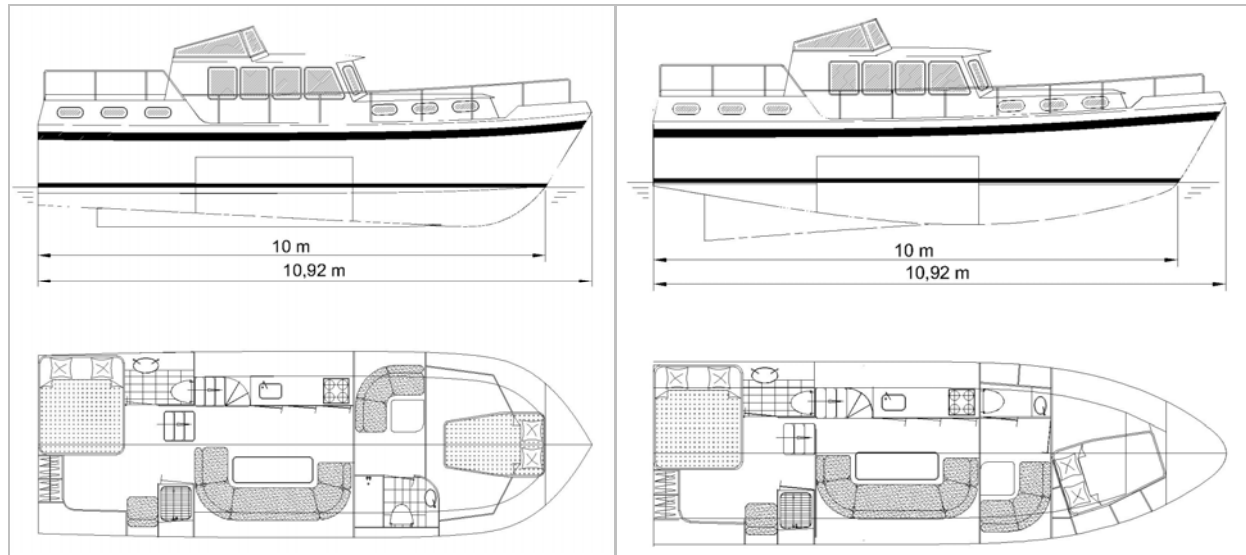
Door het slankere voorschip van de rondspant ten opzichte van de bestaande ontwerpen, toegepast uit het oogpunt van weerstandsvermindering, is het binnenvolume van de romp voorin, kleiner geworden. Uit praktisch oogpunt betekent dit dat er voor de voorste hut minder ruimte beschikbaar is. Tevens heeft de rondspant een iets hogere lengte-breedte verhouding, waardoor er in een knikspant met dezelfde lengte, iets meer ruimte binnenin zal zijn.

In figuur 58-A is een “standaard” indeling te zien, toegepast op een knikspant met een waterlijnlengthe van 10 meter. Deze indeling is in figuur 58-B toegepast op de hier ontworpen rondspant, eveneens met een waterlijnlengthe van 10 meter. Het blijkt dat de achterste hut en de salon die ervoor ligt, overgenomen kunnen worden in de rondspant, waarbij alleen in breedte richting ruimte verloren gaat. Om de voorste hut in te passen, is de dubbele kooi gedraaid, met als gevolg dat in de natte cel erachter ruimte verloren is gegaan en er een douche geofferd is.

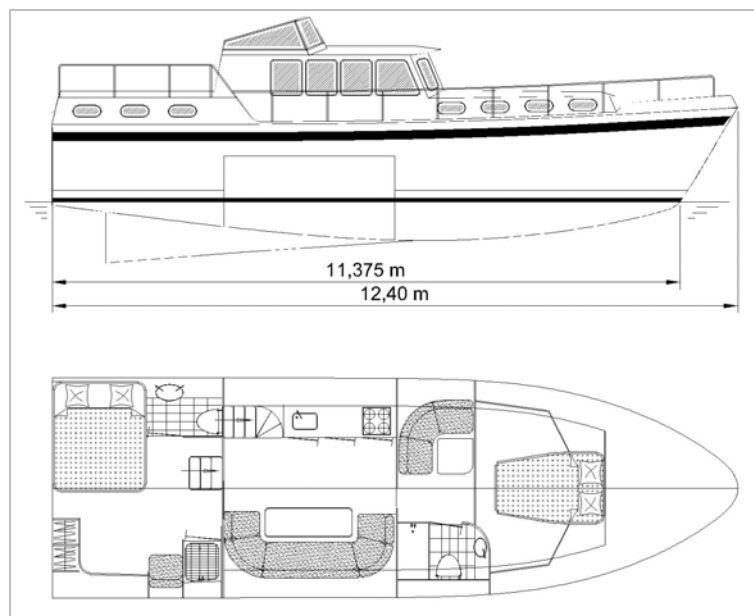
Om het interieur van de 10 meter knikspant in zijn geheel over te kunnen nemen, m.a.w. om een rondspant te verkrijgen die evenveel binnenruimte heeft als de knikspant uit figuur 58-A, is de rondspant verlengd tot 11.375 meter op de waterlijn, zie figuur 59. Hiermee is de breedte gelijk geworden aan de breedte van de knikspant van 10 meter. Het is te verwachten dat de massa van het schip niet evenredig met lengte en breedte zal toenemen omdat het gewicht van het interieur en de uitrusting gelijk blijft. Het

gewicht dat er extra bij komt is het extra constructie gewicht. De nieuwe massa is geschat op 12.2 ton, overeenkomend met een lengte-waterverplaatsingsverhouding van 4.94. In figuur 59 is duidelijk te zien dat het nieuwe interieur nu goed passend is te maken in de nieuwe romp.

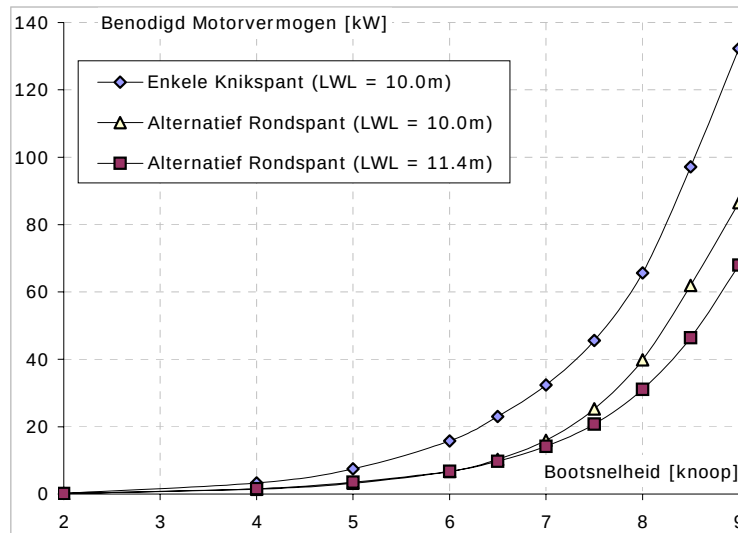
Van de nieuwe, langere romp is een weerstands- en voortstuwingsanalyse gemaakt, waarvan de resultaten te vinden zijn in figuur 60. Opvallend hieraan is de lagere weerstand van het langere en zwaardere schip ten opzichte van de (originele) 10 meter rondspant. Dit is als volgt te verklaren.



figuur 58. (A en B) Indelingsplan voor een knikspant en de alternatieve rondspant met $L_{WL} = 10$ meter.



figuur 59. Indelingsplan voor de verlengde rondspant romp met een lengte op de waterlijn van 11.375 meter.



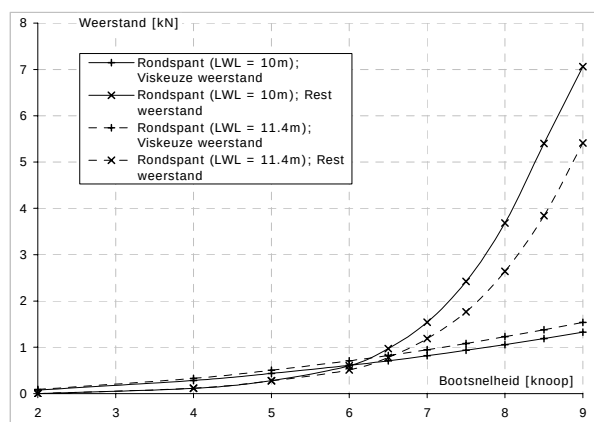
figuur 60. Vergelijk van motorvermogen van de enkele knikspant, de vergelijkbare rondspant en de verlengde rondspant.

De weerstand van een schip bestaat (globaal) uit twee delen: een viskeus deel, en een deel restweerstand, waaronder de golf-makende weerstand, zie figuur 61. Deze golf-makende weerstand is grotendeels afhankelijk van de lengte-snelheidsverhouding, uitgedrukt door het Froude getal, zie formule 1.

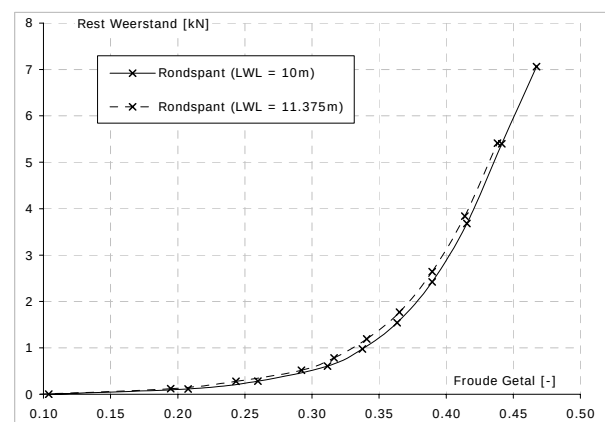
Een langer schip vaart dus bij dezelfde (absolute) snelheid, op een lager Froude getal, resulterend in een minder groot aandeel van de golf-makende weerstand op het totaal. In figuur 62 is de restweerstand uitgezet als functie van het Froude getal, en dan blijkt dat er heel weinig verschil tussen de twee rompen is.

Hoe hoger de snelheid wordt, hoe groter het relatieve aandeel van de rest weerstand op de totale weerstand. Dit komt doordat het viskeuze deel afhankelijk is van het kwadraat van de snelheid, terwijl de golf-makende weerstand afhankelijk is van de snelheid tot veelal de vierde macht, en dus veel sneller toeneemt. Doordat het schip langer is, heeft het weliswaar meer nat oppervlak, resulterend in meer viskeuze weerstand, en dus een hogere weerstand op de lagere snelheden, als de golf-makende of rest weerstand te verwaarlozen is. Echter, bij hogere snelheden, als de rest weerstand een grote invloed begint te krijgen (typisch bij een Froude getal van ongeveer 0.30), weegt dit zwaarder dan de negatieve invloed van het grotere nat oppervlak, en treedt er een weerstandsreductie op.

Dit principe is bekend onder het Oudhollandse gezegde “*lengte loopt*”, en ook onder de naam “*Enlarged Ship Concept*”, zoals ontwikkeld aan de TU-Delft, zie bijvoorbeeld [10]. Volgens deze publicatie is er behalve een weerstandsverlaging ook een verbetering van de zeegangseigenschappen te verwachten.



figuur 61. Weerstandcomponenten van de rondspant schepen met een waterlijn lengte van 10 meter en van 11.375 meter.



figuur 62. Restweerstand van de beide rondspant schepen, als functie van het Froude getal.

Ook voor deze langere rondspant is, op dezelfde manier als in paragraaf 7.6 is gedaan voor de 10 meter rondspant, een berekening gemaakt van de terugverdientijd. Hierbij is aangenomen dat het extra aantal manuren voor de bouw van het casco, iets meer dan twee keer zoveel is als voor de 10 meter rondspant ten opzichte van de 10 meter knikspant. Extra materiaalkosten zijn geschat op een 1000 euro.

Omdat de interieurs gelijk zijn gebleven, zijn hier geen extra materiaalkosten bijgekomen. Het in- en aftimmeren van het interieur zal eenvoudiger zijn geworden, aangezien er meer ruimte binnenin de boot is, en er efficiënter gewerkt kan worden. In verband met de lagere weerstand van de langere rondspant, kan een kleinere motor geïnstalleerd worden, waardoor deze, de kosten van de bijbehorende technische systemen, en de brandstofkosten, lager uitvallen.

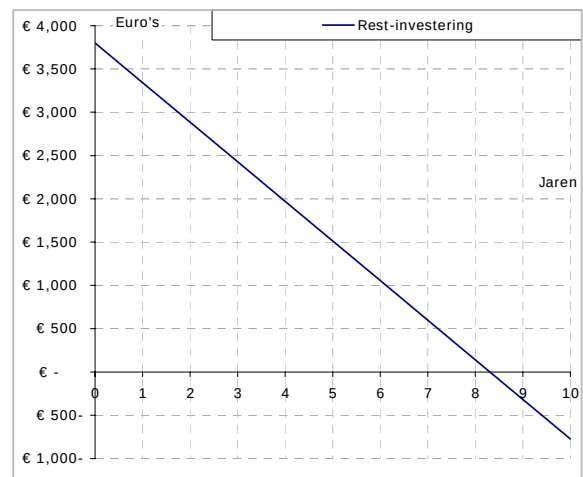
Het vermogen op 6 knoop is gelijk aan dat van de 10 meter rondspant, 7.0 kW. De brandstofbesparing blijft dus ongeveer 58%. De terugverdientijd komt dan neer op ongeveer 8.3 jaar, uitgaande van een gemiddelde motorbootvaarder.

tabel 10. Berekening terugverdientijd voor de langere rondspant ($L_{WL} = 11.375m$)

(E) 11.575 m)

	Verschil in uren		à	Verschil in Euro's	
Arbeidskosten casco	130		€ 40.00	€	5,200
Materiaalkosten casco				€	1,000
Arbeidskosten interieur	75		€ 40.00	€	3,000
Materiaalkosten interieur				€	-
Aanschaf motor	-		-	€	4,000-
Technische systemen	-		-	€	1,400-
Initiële extra investering:				€	3,800
Dieselvebruik per jaar	-457		€ 1.00	€	457-

Jaren	Verschil in brandstof- kosten	Rest- investering
0	€ 0	€ 3,800
1	€ 457-	€ 3,343
2	€ 915-	€ 2,885
3	€ 1,372-	€ 2,428
4	€ 1,830-	€ 1,970
5	€ 2,287-	€ 1,513
6	€ 2,745-	€ 1,055
7	€ 3,202-	€ 598
8	€ 3,659-	€ 141
9	€ 4,117-	€ 317-
10	€ 4,574-	€ 774-



figuur 63. Berekening terugverdientijd van de langere rondspant romp.

Hoofdstuk 8. Conclusies

Op basis van de uitgevoerde studie kan worden geconcludeerd dat de huidige vloot van motorboten voor een groot deel bestaat uit niet-optimale rompvormen die een aanzienlijk groter voortstuwingsvermogen nodig hebben dan noodzakelijk. Vergelijkingen met een goed ontworpen rondspant model laat zien dat het benodigde vermogen in belangrijke mate gereduceerd kan worden. Deze reductie bedraagt 10% tot 30% bij snelheden rond de zgn. rompsnelheid, oplopend tot 50% bij lagere snelheden. Circa 1/3 van deze reductie wordt bereikt middels een toename van de schroefdiameter en circa 2/3 middels een betere rompvorm.

Een vergelijkbare “ideale” rondspant motorboot, bij het vaarprofiel van de gemiddelde motorboot-watersporter (126 uren per jaar, bij een gemiddelde snelheid van 6 knoop), heeft 58 % minder brandstof nodig, hetgeen de motoremissie met dezelfde hoeveelheid doet afnemen.

Op basis van golfweerstand - energiebeschouwingen, bij de in deze studie beschouwde “kruissnelheid”, overeenkomend met een Froude getal van 0.35, is de geproduceerde golfhoogte en golfslag van de “ideale” rondspant ca. 20% lager dan die van de vergelijkbare knikspant, bij dezelfde snelheid.

Over de geluidsemissie van de “ideale” rondspantboot is niets kwantitatief te voorspellen aangezien dit niet alleen afhankelijk is van het benodigd vermogen maar tevens van diverse andere factoren, zoals type motor, details van het uitlaatsysteem, geluidsisolatie, enz. De verwachting is echter dat ook het uitgestraald geluid zal afnemen als het geïnstalleerd vermogen wordt gereduceerd.

Omdat de “ideale” rondspantboot iets minder breed en slanker in het voorschip is, is een studie uitgevoerd naar de binnenruimte en indeling van dit vaartuig. Hieruit komt naar voren dat als de ruimte in de bestaande boten 1 op 1 overgebracht moet worden op de rondspant, de rondspant verlengd moet worden. Het blijkt in dat geval dat het benodigde vermogen van de verlengde versie nog lager is dan voor de gelijkwaardige kortere versie. Dit is voornamelijk een gevolg van de reductie van de zgn. golfweerstand bij het toenemen van de lengte van de boot op de waterlijn.

Voorts blijkt uit een beschouwing van de extra kosten gemoeid met de bouw van de “ideale” rondspant t.o.v. de enkele knikspant dat de “terugverdiensijd” van die kosten op basis van de jaarlijkse besparing in brandstofkosten ca. 6.1 jaar is voor de rondspant van gelijke lengte en ca. 8.3 jaar voor de verlengde versie, weer voor de gemiddelde motorboot-watersporter.

De stabiliteit van de rondspantboot is gelijkwaardig met die van de enkele knikspantboten. Voorts komt uit de uitgevoerde literatuurstudie naar voren dat het zeegangsgedrag (het gedrag in golven) en het manoeuvreergedrag van de rondspant beter is dan die van de enkele knikspantboten.

Literatuur

1. “*Snelheid, vermogen en brandstofverbruik*” door Kasper van Zuilekom. Hollandia Bouw, uitrusting en onderhoud, Haarlem, 2001.
2. “*Hydrodynamics in Ship Design*”, door Harold E. Saunders. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1957.
3. “*Some Practical Considerations Concerning the Powering Performance of Motor Yachts*”, Jaap H. Allema en Adriaan Jonk. Proceedings of Project '95, Amsterdam, 1995.
4. “*Weerstand en Voortstuwing van Motorboten*”, door D. de Groot. Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation (tegenwoordig: MARIN), Publicatie No. 93, Wageningen, .
5. “*A Concept Exploration Model for Sailing Yachts*”, door P.G. van Oossanen. The Royal Institution of Naval Architects (RINA), Proceedings of The Modern Yacht Conference, Southampton, United Kingdom, 2003.
6. “*Watervervuiling door Motoren van Pleziervaartuigen*”, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), rapport 99-17, Utrecht, 1999
7. “*Emissies uit Scheepsmotoren*”, , Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), rapport 98-12, Utrecht, 1998.
8. “*Recreatievaart; 9 jaar later*”, door C.M. Goossen en F. Langers. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Rapport P050, Wageningen, 2002.
9. “*Factors Influencing the Selection of a Hard Chine or Round Bilge Hull for High Froude Numbers*”, door D.L. Blount. Proceedings of the Third International Conference on Fast Sea Transportation, Lübeck-Travemünde, Germany, September 25-27, 1995.
10. “*Further Design and Seakeeping Investigations into the Enlarged Ship Concept*”, door J. Pinkster en J.A. Keuning, Delft University of Technology. Proceedings of FAST '97, Lübeck-Travemünde, Germany, 1997.
11. “*Emissieloos schip in de recreatievaart*”, door V.G. Blankendaal, C.C. Karman, L.P. Simons en E.W.J.T. Nijhuis. RIZA werkdocument nr. 2002.110x, Lelystad, 2002.
12. “*Emissieschattingen Diffuse Bronnen. Waterverontreiniging door motoremissies uit de recreatievaart*” door J. Hulskotte, H. Oonk en J.C. van den Roovaart. TNO/RIZA, Apeldoorn/Lelystad 2005.
13. “*Other mobile sources and machinery, version 3.1*”, door S. Samaras. EMEP/Corinair emission inventory guidebook, 1995.
14. “*Omrekeningsfactoren voor koolwatersyoffen uit dieselmotoren, door Emissieregistratie.*” Tabel Omfactoren 03, TNO, 2005.
15. “*Stocktaking study on the current status and developments of technology and regulations related to the environmental performance of recreational marine engines.*” door R.C. Rijkeboer, R.J. Vermeulen, R.H. Jongbloed, J.T. van der Wal, E. Gerretsen, H.W. Jansen, J.A. Visser, M. Quispel en P. Handley. TNO, Delft, 2004.

Bijlage 1 Database van motorboot ontwerpen

Naam	Bouwer	Bron
Antaris 950	Willigen Maritiem, Ossenzijl	MB Juli 2003
Aquanaut Drifter 1150 Trawler	Aquanaut, Sneek	WTK 15 2000/Internet
Baarsmavlet 780	Baarsma, Terhorne	MB Juli 2003
Babro 1340	FNMA Yachting	MB Jun 2002
Bach 1050	Van Vliet	MB Dec. 2001
Barkas 930	-	WTK 16 2002
Barkas 950OC	Kiekes Sneek	MB Mei 2002
Bilhammer 1150	Vroegh en Alblas, Aalst	MB Augustus 2003/Internet
Blauwehand 1350	Holterman	MB sept. 2001
Blue Water Trawler 1525 DS	Altena Yachting, Geertruidenberg	MB Januari 2003
Boarncruiser 40 CL	Boarnstream, Irnsum	MB Oktober 2000
Boarncruiser 43 CL	Boarnstream, Irnsum	MB Juli 1998/Archief
Boarncruiser 35 CL	Boarnstream, Irnsum	Archief
Brandsmavlet 1050	Brandsma, Sneek	MB Juli 2000
Bruijs Spiegelkotter 12.80	C.C. Bruijs Jachtouw en Reparatiebedrijf	WTK 5 2000
Bully 1050	Jachtwerf Nerushoek, Terherne	WTK 9 2000
Bully 800	Jetten Jachtbouw, Sneek	MB Nov. 2001
Bully 960	Jetten Jachtbouw, Sneek	MB Augustus 2003
Carline 1100	Bijko Jachtbouw, Harlingen	WTK 18 1996
Catfish 1300	Linskens/V Wezel	MB April 2003
Citation 1250 AK	Van Veen	MB Sep. 2002
Classic 35	Jachtwerf Gruno, Zoutkamp	WTK 8 2000
Dolphin 1600	Almarine	Archief
Friesche Vlet	Bahrfuss	MB Februari 2003/Internet
Frisian Rover 1150	Jachtwerf Leijstra	WTK 2 2001
Geinkruiser	Jachtwerf Robeu, Driemond	WTK 7 2002
Grouwster Vlet 1150	Jachtbouw Fedde van der Werf	WTK 10 2000
Gruno 38 Classic	Jachtwerf Gruno, Zoutkamp	WTK 17 2002
Gruno 40 Classic	Gruno, Zoutkamp	MB Maart 2003
Heechvlet	Osinga Jachtbetimmering en Nieuwbouw	WTK 22 2000
Heeghvlet 980	Osinga Jachtbetimmering en Nieuwbouw	MB Aug. 2002
Hellingskip 1000	Hellingskip	MB juni 2001
Hydro-Craft 46	Vri-Jon, Ossenzijl	MB Januari 2002
Ijlstervlet 1280	Nowee	MB Aug. 2001
Kent 33	Kent, Woudsend	MB Februari 2002
Kuster 38	-	MB April 2000
Lindenkotter 1500	Linden Jachtbouw, hardinxveld	MB April 2003
Noorderlicht 50	-	MB September 2003
Opstomer	Vroegh en Alblas	MB april 2001
Pedro Aspre 36	Pedrowerf, Zuidbroek	MB Juli 1998
Pedro Bora 43	Pedrowerf, Zuidbroek	MB Augustus 2003
Pikmeerkruiser 1150	Jachtwerf de Groot	WTK 17 1996
Privateer 34	Privateer Yachts, Uitwellingerga	MB Mei 2003/Internet
Radius 35	Radius Jachtbouw, irnsum	MB November 2000
Rob 900	ConaVroegh	MB sept. 2001
Rogger 750 Ok	Termeer, Heesbeen	MB feb. 2001
Silverline 1350	Schimmel Maritiem, Lage Zwaluwe	MB Mrt. 2002/Internet
Silverline Liberty 1500	Schimmel Maritiem, Lage Zwaluwe	MB Mei 2001/Internet
Silverline Millennium 1350	Schimmel Maritiem, Lage Zwaluwe	WTK 24 2000/Internet
Skagarak	-	MB Jan. 2001
Smelne	Smelne	MB Aug. 2002
Sneker Kotter 1100	Jachtwerf de Jong, Sneek	MB Oktober 2003
Stentor 16	Stentor Yachts, Sneek	WTK 14 2000
Super van Craft	Klaassen	MB juli 2002
Swin Comfort	Swinboten, Hellevoetsluis	WK 1 2002
Vacance Solide 37 AK	Vacance Jachtbouw, Sneek	WTK 6 2000
Vacance Solide 42-OK	Hendrik brouwer	MB Mei 2002
Valk Flet 11.3 AK	P Valk, Franeker	WTK 11 2000
Wyboats vlet 760	Wyboats	MB Jun 2002
Wyboats vlet 900	Wyboats	WTK 24 2002

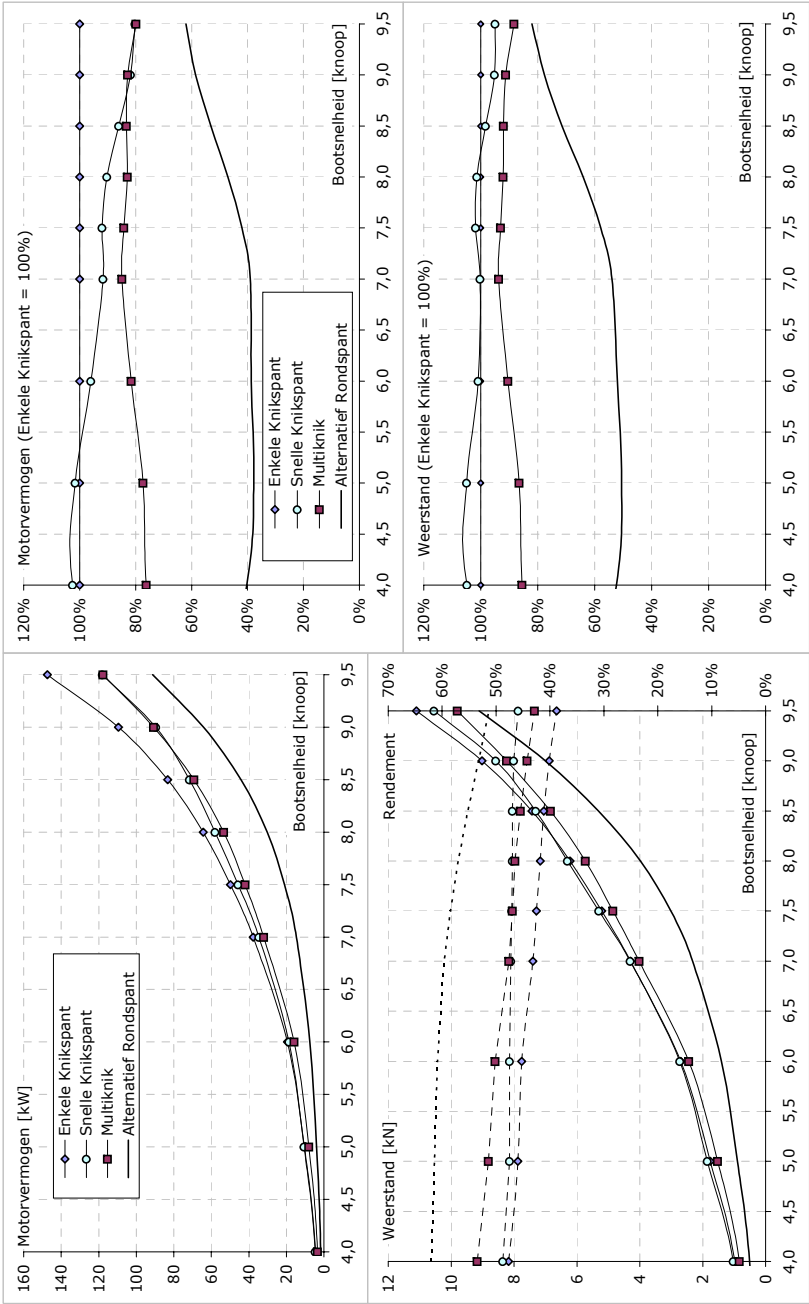
WTK = Waterkampioen; MB = Motorboot

Bijlage 2 Resultaten weerstands- en vermogensanalyse en vergelijking tussen de verschillende romptypes van recreatievaartuigen

	Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
D [m]	0,635	0,635	0,635	0,850
P/D [-]	0,818	0,962	0,825	0,971
A _r /A ₀ [-]	0,601	0,350	0,507	0,350
S [m2]	53,05	49,04	51,04	45,86

V _s			
	[kW]	[kW]	[kW]
2,00	0,3	0,3	0,2
4,00	4,4	4,6	3,4
5,00	10,4	10,6	8,0
6,00	19,4	18,6	15,8
7,00	37,7	34,6	32,0
7,50	49,8	45,8	41,9
8,00	64,4	58,1	53,4
8,50	83,2	71,6	69,3
9,00	109,5	89,5	90,7
9,50	147,3	118,1	117,7
Totale Weerstand			
	[kN]	[kN]	[kN]
2,00	0,16	0,14	0,13
4,00	0,98	1,02	0,84
5,00	1,76	1,85	1,53
6,00	2,70	2,73	2,44
7,00	4,30	4,31	4,03
7,50	5,22	5,31	4,85
8,00	6,21	6,30	5,73
8,50	7,44	7,31	6,84
9,00	9,02	8,58	8,23
9,50	11,10	10,54	9,81
Totaal Rendement (τ _{shaft} = 0,95)			
	[%]	[%]	[%]
2,00	52,5%	51,7%	60,4%
4,00	47,7%	48,7%	53,5%
5,00	46,0%	47,5%	51,4%
6,00	45,2%	47,5%	50,1%
7,00	43,2%	47,2%	47,6%
7,50	42,5%	47,1%	47,0%
8,00	41,8%	47,0%	46,5%
8,50	41,1%	47,0%	45,5%
9,00	40,1%	46,7%	44,2%
9,50	38,8%	45,9%	42,9%

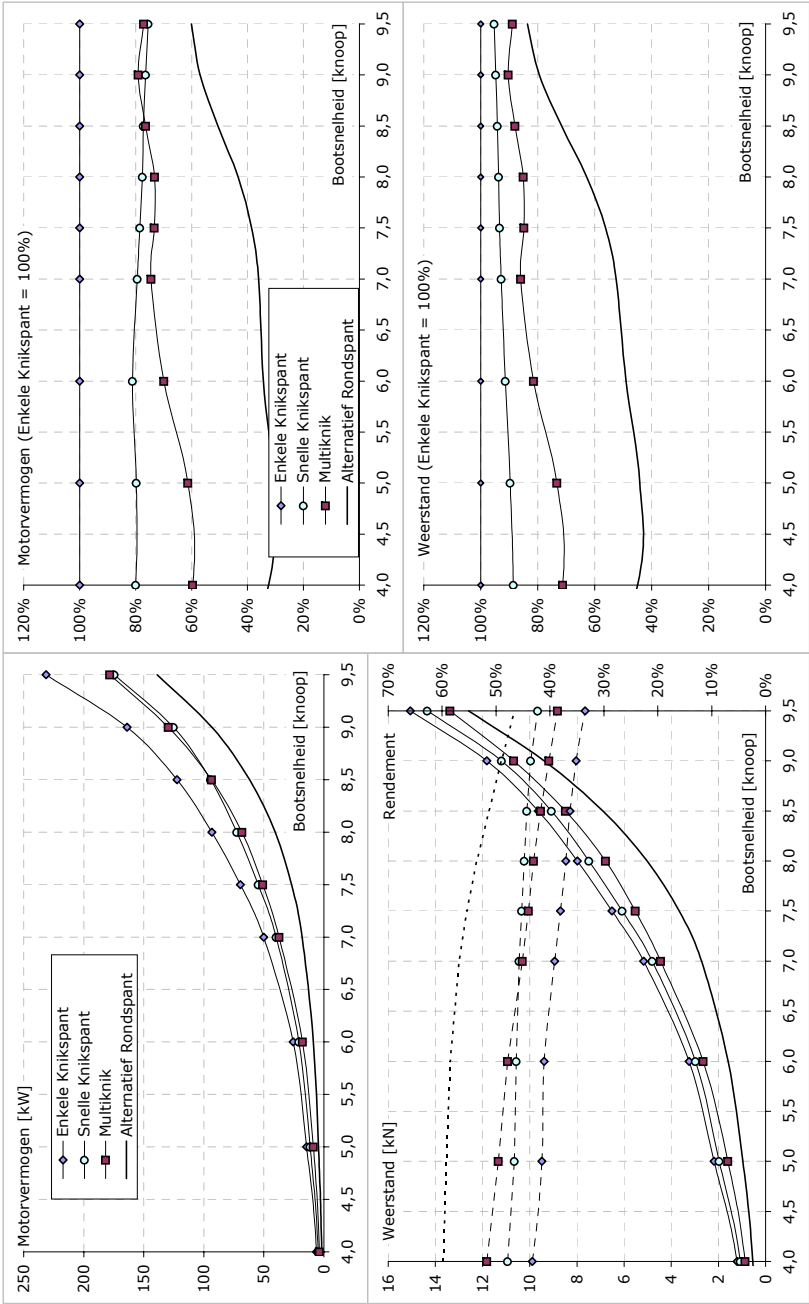
LWL = 12,50 [m]
L/√1/3 = 5,00 [-]



	Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
D [m]	0,635	0,635	0,850	0,850
P/D [-]	0,822	0,893	0,830	0,897
A _E /A ₀ [-]	0,767	0,369	0,645	0,350
S [m2]	55,60	51,85	53,70	48,47

V _s				Motor Vermogen	
	[knp]	[kW]		[kW]	[kW]
2,00	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
4,00	6,1	4,8	3,6	2,0	4,0
5,00	14,3	11,4	8,8	4,4	4,4
6,00	25,7	20,8	18,0	8,8	8,8
7,00	50,2	39,8	37,4	18,1	18,1
7,50	69,6	54,6	51,0	26,8	26,8
8,00	93,4	72,4	68,3	40,5	40,5
8,50	122,3	94,4	93,5	61,8	61,8
9,00	163,9	125,2	129,6	93,4	93,4
9,50	231,3	174,6	178,4	138,9	138,9
V _s				Totale Weerstand	
	[knp]	[kN]		[kN]	[kN]
2,00	0,17	0,15	0,14	0,11	0,11
4,00	1,21	1,07	0,86	0,54	0,54
5,00	2,19	1,96	1,60	0,97	0,97
6,00	3,25	2,97	2,65	1,59	1,59
7,00	5,17	4,80	4,45	2,71	2,71
7,50	6,51	6,08	5,52	3,66	3,66
8,00	7,99	7,49	6,79	5,02	5,02
8,50	9,64	9,08	8,48	6,90	6,90
9,00	11,82	11,20	10,68	9,39	9,39
9,50	15,06	14,35	13,39	12,59	12,59
V _s				Totaal Rendement (η _{shaft} = 0,95)	
	[knp]	[%]		[%]	[%]
2,00	49,2%	50,7%	56,2%	60,0%	60,0%
4,00	43,3%	47,9%	51,7%	59,8%	59,8%
5,00	41,5%	46,6%	49,6%	59,2%	59,2%
6,00	41,1%	46,3%	47,9%	58,5%	58,5%
7,00	39,1%	45,7%	45,1%	56,9%	56,9%
7,50	38,0%	45,2%	44,0%	55,5%	55,5%
8,00	37,0%	44,8%	43,0%	53,6%	53,6%
8,50	36,3%	44,3%	41,7%	51,3%	51,3%
9,00	35,1%	43,6%	40,2%	49,0%	49,0%
9,50	33,5%	42,3%	38,6%	46,6%	46,6%

LWL = 12,50 [m]
L/√I³ = 4,50 [-]



D [m]	Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
P/D [-]	0,635	0,635	0,850	0,850
A _z /A ₀ [-]	0,957	0,827	0,868	0,810
S [m2]	1,049	0,504	0,859	0,461
	60,24	56,69	56,31	53,21

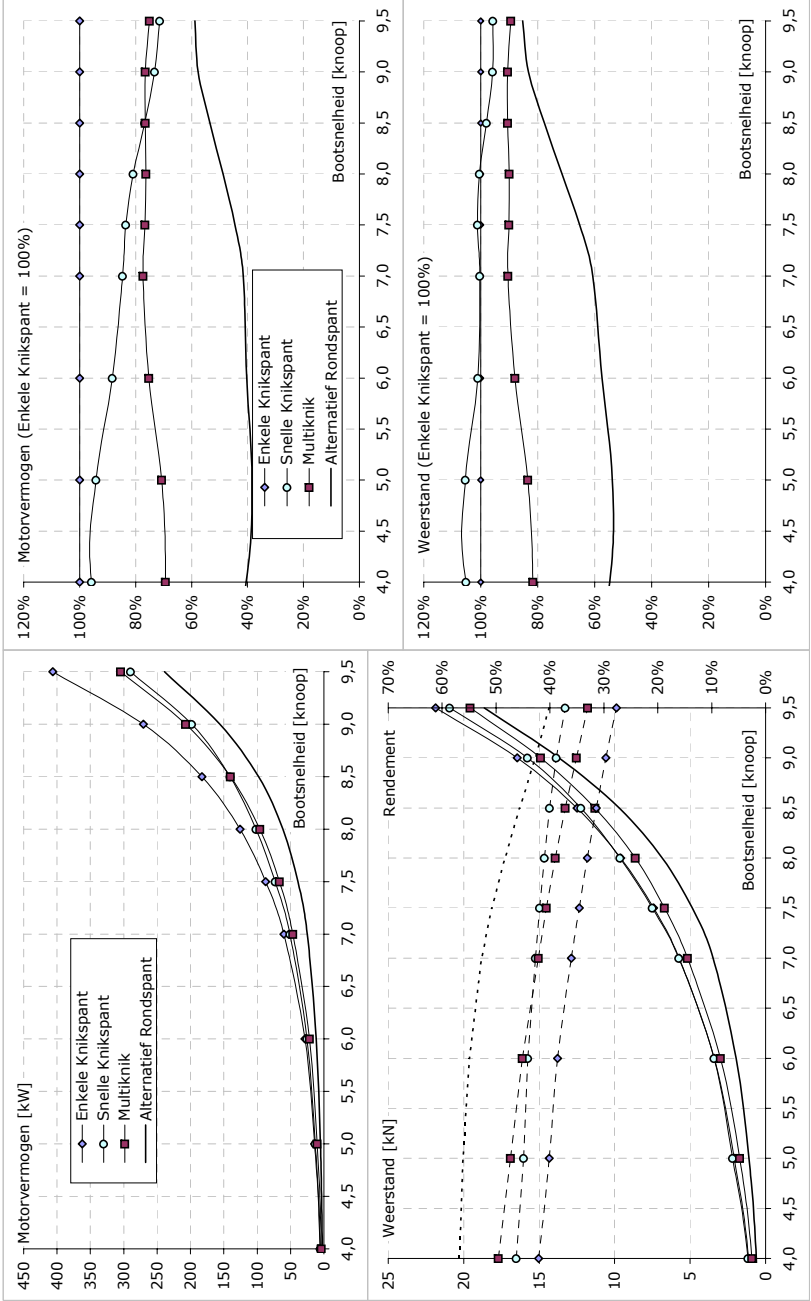
V _s	Motor Vermogen			
[knp]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
2,00	0,4	0,4	0,3	0,2
4,00	5,7	5,5	4,0	2,3
5,00	14,0	13,1	9,9	5,4
6,00	28,5	25,2	21,5	11,5
7,00	60,2	51,0	46,6	25,0
7,50	87,2	72,8	66,9	38,8
8,00	125,8	101,8	95,9	61,4
8,50	182,8	140,4	140,0	97,7
9,00	270,6	198,1	207,1	156,0
9,50	406,2	289,9	304,6	238,7

V _s	Totale Weerstand			
[knp]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
2,00	0,18	0,16	0,15	0,12
4,00	1,11	1,17	0,91	0,61
5,00	2,07	2,18	1,73	1,11
6,00	3,39	3,42	2,98	1,94
7,00	5,72	5,74	5,18	3,47
7,50	7,43	7,51	6,70	4,85
8,00	9,60	9,64	8,64	6,85
8,50	12,48	12,23	11,30	9,69
9,00	16,46	15,78	14,91	13,70
9,50	21,86	20,93	19,57	18,65

V _s	Totaal Rendement (η _{shaft} = 0,95)			
[knp]	[%]	[%]	[%]	[%]
2,00	46,5%	49,0%	53,4%	57,5%
4,00	42,1%	46,2%	49,6%	56,8%
5,00	40,1%	44,9%	47,3%	56,1%
6,00	38,6%	44,1%	45,1%	55,0%
7,00	36,1%	42,7%	42,1%	52,7%
7,50	34,6%	41,9%	40,7%	50,8%
8,00	33,0%	41,0%	39,0%	48,4%
8,50	31,4%	40,1%	37,1%	45,7%
9,00	29,6%	38,8%	35,1%	42,8%
9,50	27,7%	37,1%	33,0%	40,2%

LWL = 12,50 [m]
L/√1/3 = 4,00 [-]

Van Ossanen & Associates bv



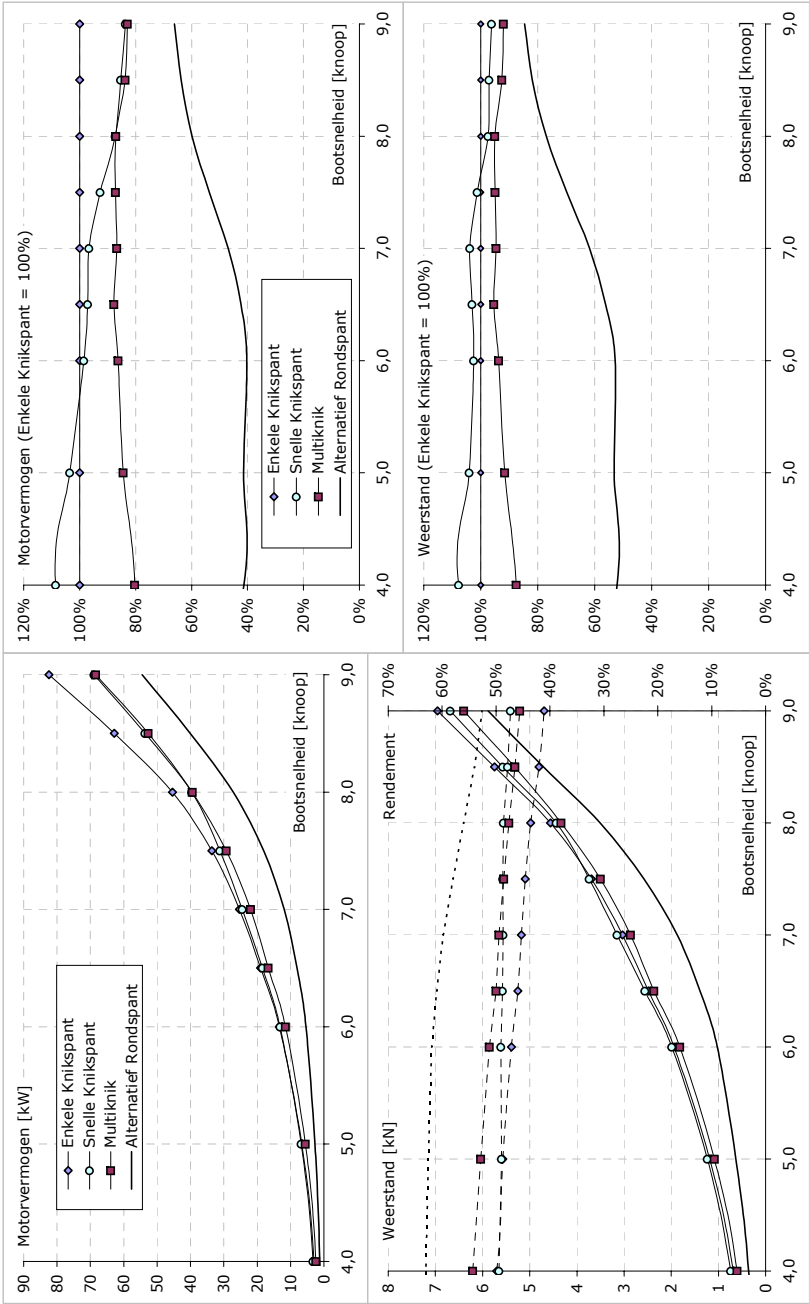
D [m]	P/D [-]	A _E /A ₀ [-]	S [m2]	Motor Vermogen		
				Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Alternatief Rondspant
2,00	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,750
4,00	0,818	0,998	0,857	0,999	0,999	0,999
6,00	0,506	0,350	0,397	0,350	0,350	0,350
8,00	33,95	31,42	32,78	29,37	29,37	29,37

V _s	Motor Vermogen		
	[kW]	[kW]	[kW]
2,00	0,2	0,2	0,1
4,00	3,0	3,2	2,4
5,00	6,6	6,8	5,6
6,00	13,4	13,2	11,5
6,50	19,0	18,4	16,7
7,00	25,3	24,5	22,0
7,50	33,6	31,1	29,3
8,00	45,4	39,6	39,5
8,50	62,9	53,6	52,7
9,00	82,4	68,9	68,4

V _s	Totale Weerstand		
	[kN]	[kN]	[kN]
2,00	0,11	0,10	0,09
4,00	0,69	0,74	0,60
5,00	1,19	1,23	1,09
6,00	1,94	1,99	1,82
6,50	2,48	2,56	2,37
7,00	3,03	3,15	2,87
7,50	3,69	3,74	3,50
8,00	4,56	4,44	4,34
8,50	5,75	5,57	5,32
9,00	6,95	6,69	6,40

V _s	Totaal Rendement (r _i start = 0,95)		
	[%]	[%]	[%]
2,00	55,2%	52,2%	58,1%
4,00	49,9%	49,5%	54,3%
5,00	48,7%	49,0%	52,8%
6,00	47,2%	49,1%	51,2%
6,50	46,0%	48,8%	50,0%
7,00	45,3%	48,7%	49,5%
7,50	44,6%	48,7%	48,6%
8,00	43,6%	48,6%	47,6%
8,50	42,0%	47,8%	46,5%
9,00	41,1%	47,3%	45,6%

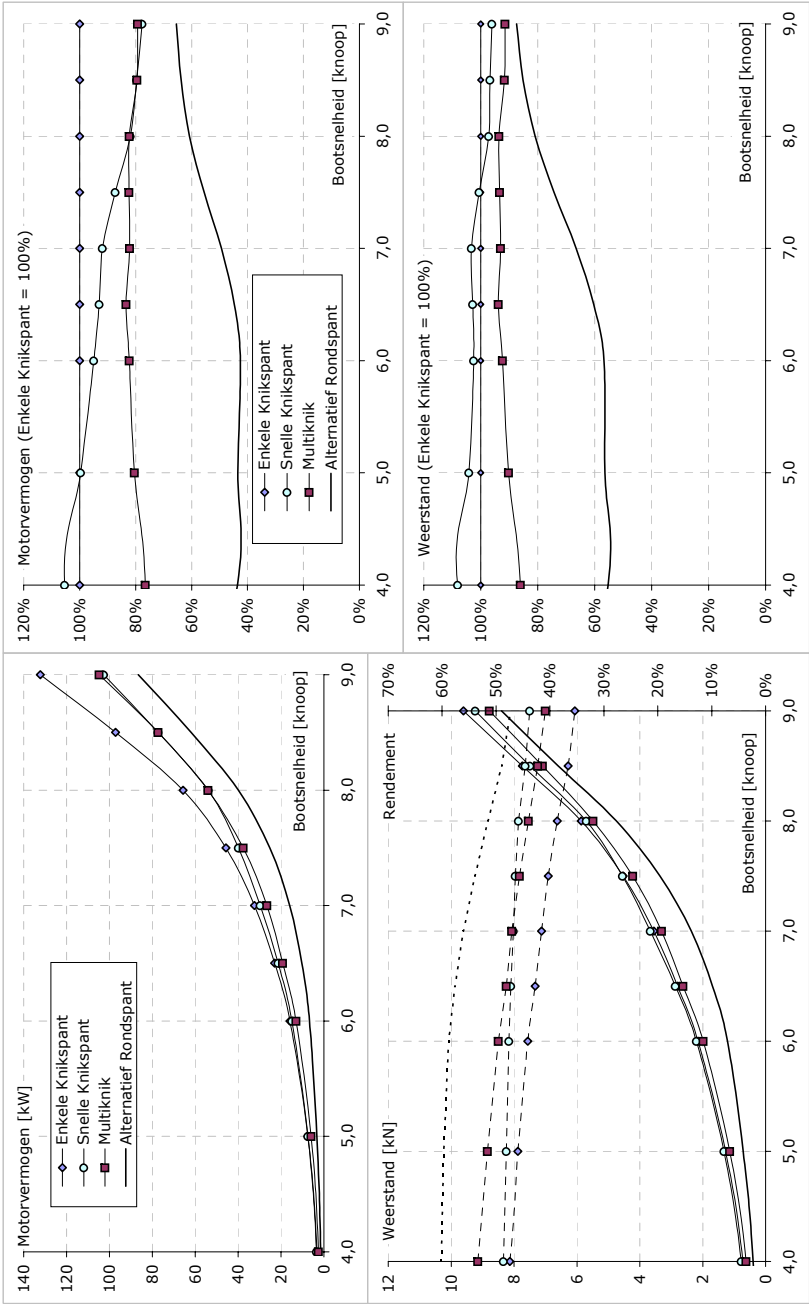
LWL = 10,00 [m]
L/√t^{1/2} = 5,00 [-]



	Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
D [m]	0,559	0,559	0,559	0,750
P/D [-]	0,814	0,917	0,819	0,911
A _r /A ₀ [-]	0,661	0,350	0,518	0,350
S [m2]	35,58	33,18	33,93	31,12

Motor Vermogen			
V _s	[kW]	[kW]	[kW]
2,00	0,2	0,2	0,1
4,00	3,3	3,5	2,5
5,00	7,5	7,4	6,0
6,00	15,8	15,0	13,0
6,50	23,0	21,4	19,2
7,00	32,4	29,7	26,6
7,50	45,6	39,8	37,6
8,00	65,7	53,8	54,0
8,50	97,2	77,3	77,3
9,00	132,2	102,7	104,8
Totale Weerstand			
V _s	[kN]	[kN]	[kN]
2,00	0,11	0,10	0,09
4,00	0,72	0,78	0,62
5,00	1,27	1,32	1,15
6,00	2,14	2,20	1,98
6,50	2,80	2,88	2,62
7,00	3,55	3,67	3,31
7,50	4,53	4,55	4,23
8,00	5,86	5,70	5,49
8,50	7,74	7,49	7,10
9,00	9,61	9,23	8,78
Totaal Rendement (η _{shaft} = 0,95)			
V _s	[%]	[%]	[%]
2,00	52,5%	51,1%	57,2%
4,00	47,4%	48,6%	53,4%
5,00	46,0%	48,1%	51,6%
6,00	44,1%	47,6%	49,5%
6,50	42,7%	47,3%	48,1%
7,00	41,6%	46,8%	47,1%
7,50	40,3%	46,4%	45,7%
8,00	38,7%	45,9%	44,0%
8,50	36,6%	44,6%	42,2%
9,00	35,4%	43,8%	40,9%

LWL = 10,00 [m]
L/√I³ = 4,50 [-]



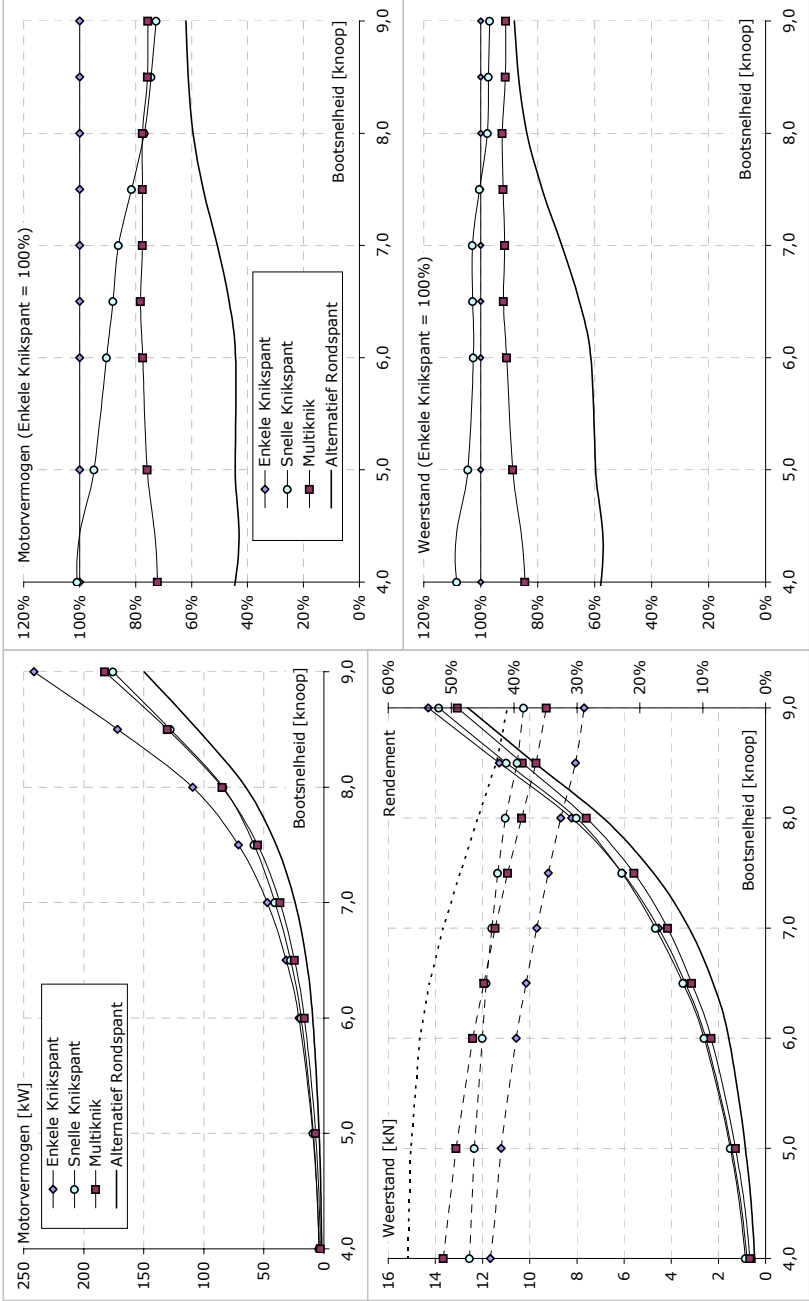
	Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
D [m]	0,559	0,559	0,559	0,750
P/D [-]	0,895	0,849	0,822	0,808
A _r /A ₀ [-]	0,930	0,440	0,734	0,436
S [m2]	38,55	36,37	36,15	34,04

V _s	Motor Vermogen			
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
2,00	0,3	0,2	0,2	0,2
4,00	3,9	4,0	2,8	1,7
5,00	9,2	8,8	7,0	4,1
6,00	20,8	18,8	16,1	9,2
6,50	31,5	27,7	24,6	14,7
7,00	47,2	40,7	36,6	24,0
7,50	71,2	58,1	55,3	39,7
8,00	109,4	84,1	84,9	65,1
8,50	171,9	128,0	130,2	105,2
9,00	241,6	175,6	182,6	149,8

V _s	Totale Weerstand			
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
2,00	0,12	0,11	0,10	0,09
4,00	0,79	0,86	0,67	0,46
5,00	1,44	1,50	1,27	0,86
6,00	2,54	2,61	2,31	1,56
6,50	3,41	3,50	3,14	2,23
7,00	4,54	4,67	4,16	3,25
7,50	6,06	6,09	5,58	4,76
8,00	8,22	8,03	7,60	6,89
8,50	11,29	10,99	10,32	9,80
9,00	14,31	13,86	13,06	12,62

V _s	Totaal Rendement (η _{shaft} = 0,95)			
	[%]	[%]	[%]	[%]
2,00	48,7%	49,4%	55,5%	57,0%
4,00	43,8%	47,1%	51,2%	57,0%
5,00	42,1%	46,3%	49,2%	56,4%
6,00	39,7%	45,0%	46,5%	55,0%
6,50	38,1%	44,4%	44,8%	53,5%
7,00	36,4%	43,5%	43,0%	51,3%
7,50	34,6%	42,6%	41,0%	48,6%
8,00	32,5%	41,4%	38,8%	45,8%
8,50	30,2%	39,5%	36,5%	42,9%
9,00	28,9%	38,5%	34,9%	41,1%

LWL = 10,00 [m]
L/√1/3 = 4,00 [-]



	Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
D [m]	0,483	0,483	0,483	0,650
P/D [-]	0,875	1,062	0,919	1,101
A _r /A ₀ [-]	0,350	0,350	0,350	0,350
S [m2]	19,10	17,61	18,36	16,51

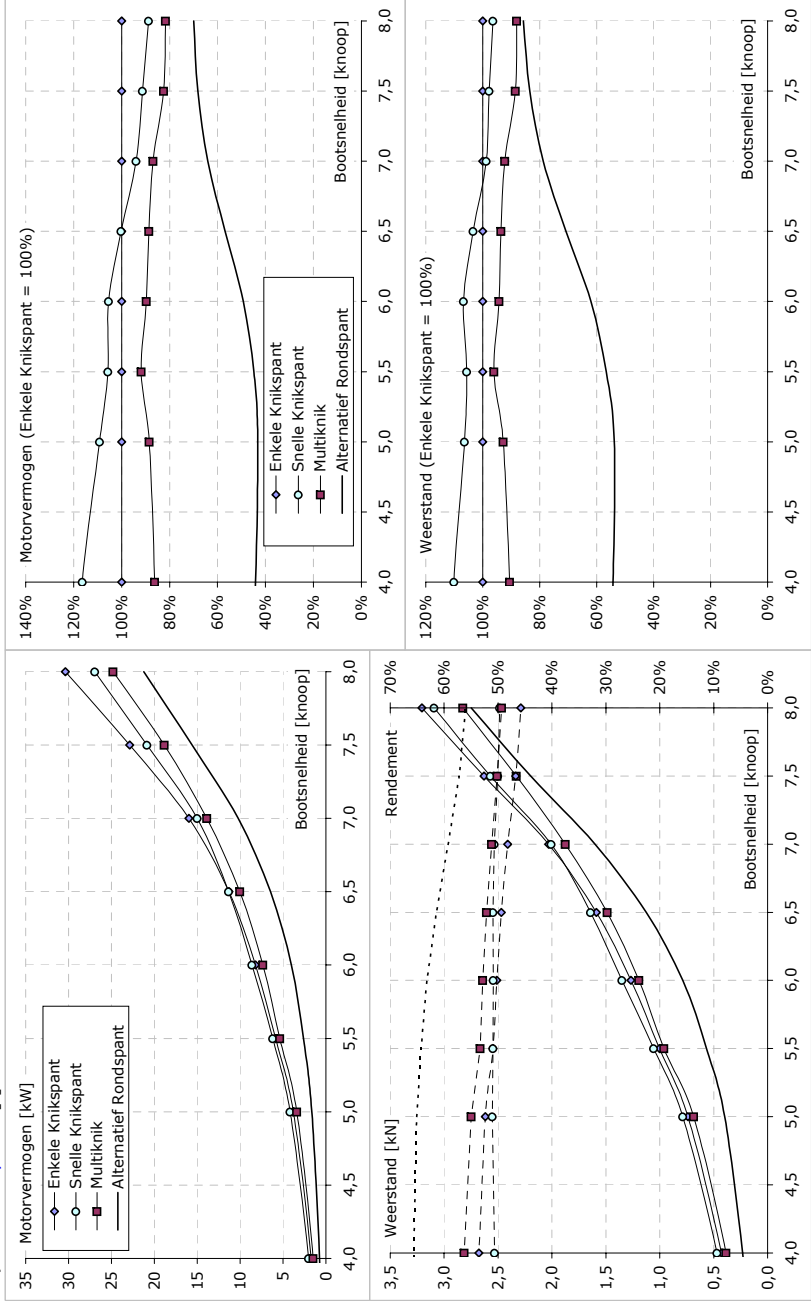
V _s	Motor Vermogen			
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
2,00	0,1	0,1	0,1	0,1
3,00	0,6	0,7	0,5	0,3
4,00	1,7	2,0	1,5	0,8
5,00	3,8	4,2	3,4	1,7
5,50	5,9	6,2	5,4	2,6
6,00	8,2	8,6	7,3	4,0
6,50	11,3	11,3	10,0	6,4
7,00	16,0	15,0	13,9	10,2
7,50	22,9	20,9	18,9	15,6
8,00	30,4	27,0	24,8	21,2

V _s	Totale Weerstand			
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
2,00	0,06	0,06	0,06	0,04
3,00	0,20	0,23	0,18	0,12
4,00	0,43	0,47	0,39	0,23
5,00	0,74	0,79	0,69	0,40
5,50	1,00	1,06	0,96	0,57
6,00	1,27	1,35	1,19	0,79
6,50	1,59	1,64	1,49	1,13
7,00	2,03	2,01	1,88	1,60
7,50	2,63	2,57	2,33	2,20
8,00	3,21	3,09	2,83	2,75

V _s	Totaal Rendement (r _i start = 0,95)			
	[%]	[%]	[%]	[%]
2,00	58,4%	52,9%	60,8%	66,5%
3,00	55,1%	51,6%	57,6%	65,8%
4,00	53,6%	50,6%	56,3%	65,7%
5,00	52,4%	51,0%	55,0%	65,2%
5,50	51,0%	50,9%	53,3%	64,3%
6,00	50,2%	50,9%	52,8%	63,2%
6,50	49,4%	50,9%	52,2%	61,5%
7,00	48,2%	50,7%	51,2%	59,3%
7,50	46,7%	50,0%	50,2%	57,3%
8,00	45,8%	49,7%	49,4%	56,0%

LWL = 7,50 [m]
L/√t³ = 5,00 [-]

Van Oossanen & Associates bv



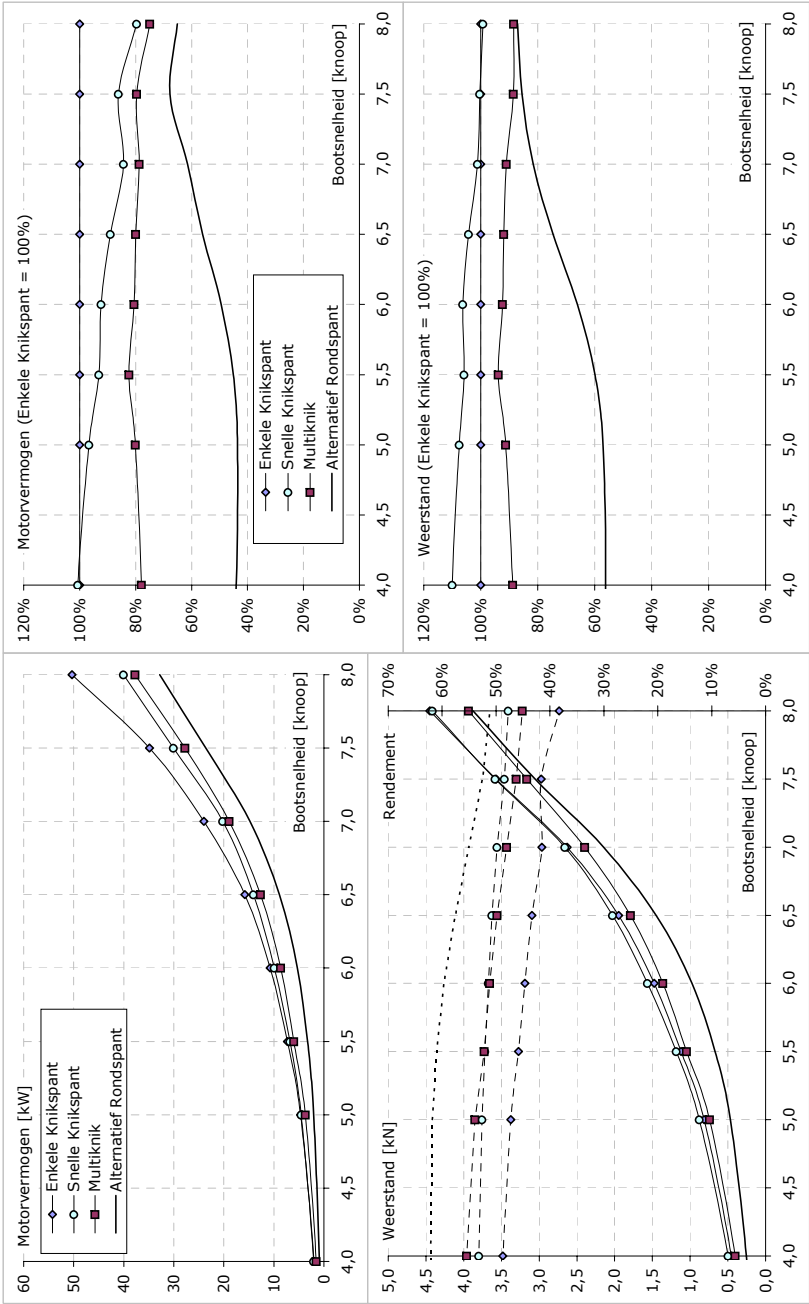
D [m]	P/D [-]	A _E /A ₀ [-]	S [m2]	Motor Vermogen			
				Enkele Knikspant	Snelle Knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
				0,483	0,483	0,483	0,650
				0,818	1,010	0,876	0,894
				0,421	0,350	0,350	0,350
				20,02	18,62	18,99	19,16

V _s	Motor Vermogen			
	[knp]	[kW]	[kW]	[kW]
2,00	0,1	0,1	0,1	0,1
3,00	0,7	0,7	0,5	0,3
4,00	2,0	2,0	1,6	0,9
5,00	4,7	4,5	3,7	2,0
5,50	7,3	6,8	6,0	3,3
6,00	10,7	9,9	8,6	5,3
6,50	15,8	14,1	12,6	8,9
7,00	24,0	20,2	18,9	14,8
7,50	34,9	30,0	27,8	23,6
8,00	50,4	40,1	37,7	32,8

V _s	Totale Weerstand			
	[knp]	[kN]	[kN]	[kN]
2,00	0,07	0,07	0,06	0,05
3,00	0,21	0,23	0,19	0,12
4,00	0,45	0,50	0,40	0,25
5,00	0,82	0,88	0,74	0,47
5,50	1,12	1,18	1,05	0,67
6,00	1,48	1,57	1,36	0,97
6,50	1,95	2,03	1,79	1,45
7,00	2,63	2,66	2,40	2,15
7,50	3,57	3,58	3,16	3,05
8,00	4,45	4,42	3,93	3,88

V _s	Totaal Rendement (η _{shaft} = 0,95)			
	[knp]	[%]	[%]	[%]
2,00	53,3%	54,6%	58,8%	62,1%
3,00	50,4%	54,1%	57,0%	62,2%
4,00	48,7%	53,2%	55,5%	62,2%
5,00	47,3%	52,6%	53,9%	61,8%
5,50	45,8%	52,1%	52,2%	61,0%
6,00	44,7%	51,4%	51,2%	59,7%
6,50	43,3%	50,8%	49,8%	57,6%
7,00	41,5%	49,8%	48,0%	55,1%
7,50	41,6%	48,5%	46,3%	52,6%
8,00	38,3%	47,7%	45,1%	51,2%

LWL = 7,50 [m]
L/√I³ = 4,50 [-]



	Enkele knikspant	Snelle knikspant	Multiknik	Alternatief Rondspant
D [m]	0,483	0,483	0,483	0,650
P/D [-]	0,802	0,869	0,810	0,894
A _r /A ₀ [-]	0,590	0,350	0,452	0,350
S [m2]	21,68	20,37	20,15	19,16

V _s			
	[knp]	[kW]	[kN]
2,00	0,1	0,2	0,1
3,00	0,8	0,8	0,6
4,00	2,3	2,5	1,8
5,00	5,6	5,7	4,5
5,50	9,1	8,8	7,4
6,00	14,3	13,5	11,3
6,50	22,8	20,1	17,9
7,00	37,3	30,6	28,8
7,50	60,9	47,9	45,4
8,00	85,5	65,2	63,7
Totale Weerstand			
	[knp]	[kW]	[kN]
2,00	0,07	0,07	0,06
3,00	0,23	0,26	0,20
4,00	0,50	0,55	0,44
5,00	0,96	1,01	0,86
5,50	1,34	1,40	1,23
6,00	1,87	1,95	1,68
6,50	2,60	2,63	2,33
7,00	3,70	3,63	3,30
7,50	5,24	5,09	4,59
8,00	6,64	6,40	5,81

Totaal Rendement (r _l start = 0,95)			
	[knp]	[%]	[%]
2,00	53,4%	50,5%	57,4%
3,00	50,4%	50,0%	55,7%
4,00	48,2%	49,0%	53,8%
5,00	46,0%	48,0%	51,5%
5,50	44,2%	47,6%	49,7%
6,00	42,4%	46,9%	48,1%
6,50	40,2%	46,2%	46,0%
7,00	37,6%	45,0%	43,4%
7,50	35,0%	43,2%	41,0%
8,00	33,6%	42,5%	39,5%

LWL = 7,50 [m]
L/√1/3 = 4,00 [-]

