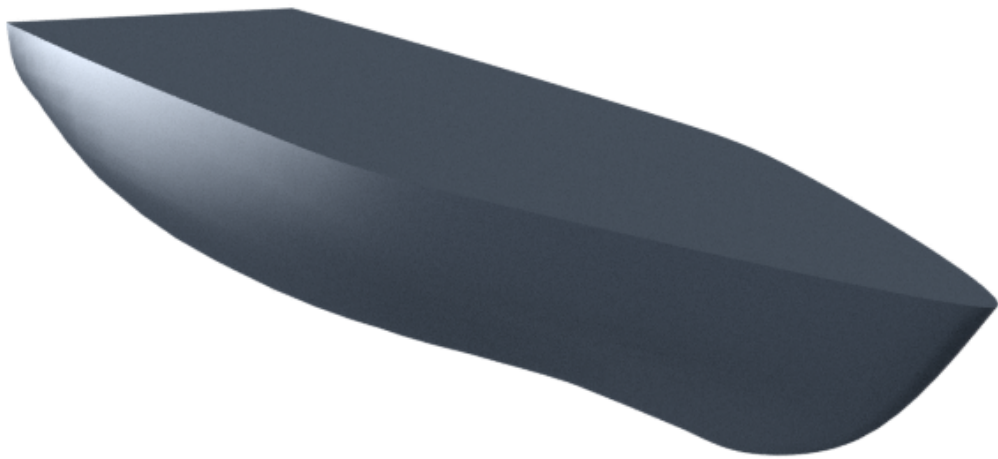


# Integratieproject 1

Optimaliseren met tegenstrijdige ontwerpeisen

IP 1 - MT1458

MT26



# Integratieproject 1

Optimaliseren met tegenstrijdige ontwerpeisen

door

MT26

Naam Student	Student Nummer
Tom Oldenbeuving	5684757
Jiswi Wensink	5843022
Bart van Nuland	5732611
Thijn Lievaart	5831792

Docenten:	B. Goris
Student Assistent:	S. Stelling, J. Ribberink
Duur Project:	April, 2023 - Juni, 2023
Faculteit:	3mE, Delft

Style: TU Delft Report Style, with modifications by Daan Zwaneveld

# Voorwoord

*Geachte lezer,*

Voor u ligt het ontwerprapport van MT26. De afgelopen weken zijn wij, Tom Oldenbeuving, Thijn Lievaart, Jiswi Wensink en Bart van Nuland, in kader van het vak integratieproject 1 bezig geweest met het ontwerpen van een zware ladingsschip. Een schip ontwerpen dat in staat was een windmolen te heien bleek lastiger dan verwacht, maar na vele uren coderen en optimaliseren kunnen we trots zijn op ons uiteindelijke ontwerp.

Het ontwerpproces verliep niet altijd vlekkeloos en vergde hier en daar wat extra moeite; voor het eerst werken met Grashopper en panda's was leuk, maar ook zeker een uitdaging. Voor de goede begeleiding willen we dan ook onze hoofddocent Bas Goris bedanken ondersteund door studentassistenten Sebastiaan Stelling en Jochem Ribberink.

Veel leesplezier toegewenst.

MT26  
Delft, June 2023

# Samenvatting

De komende jaren zal de wereld steeds meer over moeten stappen op groene hernieuwbare energiebronnen. Windmolens op zee zijn hiervoor een goede optie; op zee staat bijna altijd wind en niemand heeft last van geluid of slagschaduw. De firma *Drijfmij & Zn.* ontwikkelde een nieuwe techniek om deze windmolens met behulp van een zwareladingsschip de grond in te heien, dit rapport bespreekt het ontwerpproces en het uiteindelijke ontwerp van een dergelijk zwareladingsschip.

Het schip zal in twee condities moeten presteren; een varende conditie en een last conditie. Tijdens de varende conditie zal het schip naar haar werkplek gesleept worden, er hoeft dus geen rekening met voortstuwing en een machinekamer gehouden te worden. Wel is het zaak dat de weerstand van het schip in deze conditie zo laag mogelijk is, een lagere weerstand resulteert immers in een lager brandstofverbruik en dus lagere kosten.

In de zogenoemde last conditie is het schip daadwerkelijk aan het werk. Het schip wordt met het staven naar een hefboom gevaren en aan de hefboom bevestigd. Vervolgens wordt met behulp van containers de punt van het schip ingezonken, dit zal de achterkant van het schip omhoog bewegen. Deze opwaartse beweging zet de hefboom in gang die de windmolen de grond in heid (zie figuur 2.1). Voor deze conditie is het dus van het grootste belang dat het schip zoveel mogelijk kracht kan opwekken (last aankan).

Aan beide condities zijn vanzelfsprekend ontwerpeisen verbonden ter waarborging van de veiligheid. Zo mag nergens in het schip de maximaal toelaatbare spanning van het gebruikte staal overschreden worden en moet het schip in beide condities stabiel in het water liggen.

Er zijn vele parameters die het schip en haar gedrag in beide condities veranderen; zo leidt een slank schip tot een lage weerstand en een vol schip tot een hoge maximale last. Parameters voor de verschillende condities spreken elkaar ook vaak tegen. Naast de invloed op de prestaties van het schip spelen de ontwerp parameters ook een cruciale rol in het halen van de ontwerpeisen van het schip en het waarborgen van de veiligheidsnormen aan boord. Parameters als holte en onderwatervolume hebben grote invloed op dit alles, nadere toelichting aan de hand van fysisch-scheepsbouwkundige formules volgt in hoofdstuk 3.

Een schip met zulk uiteenlopende condities ontwerpen is complex en vergt een gedegen aanpak. De scheepsrompen zijn telkens eerst getekend in *Rhino 7* met behulp van *Grasshopper*, vanuit de online tekening werd allerlei data uitgelezen en verwerkt in een excel. Met een uitgebreid model geschreven in programmeertaal python werd deze data vervolgens omgezet tot alle belangrijke waarden die bekend moeten zijn van het schip; van hoe ver het schip maximaal door zal buigen tot aan hoe stabiel het in het water ligt.

Door vele kleine aanpassingen in een variabele te doen is een variatie studie uitgevoerd waarmee bekend werd welke invloed iedere variabele had op het schip en haar gedrag. Door al deze kleine aanpassingen tegen elkaar uit te zetten in grafieken kunnen optima bepaald worden voor het scheepsontwerp.

Alle uiteindelijke ontwerpen zijn vervolgens aan elkaar getoetst. Door een rangorde te maken van de prestaties van elk van de schepen was het mogelijk tot het uiteindelijke ontwerp te komen.

Het uiteindelijke model (the1 J-serie 1.6) bevindt zich op het optimum tussen last en weerstand. Door vele iteraties en variaties op het model los te laten is de uiteindelijke vorm van het schip bepaald en is het klaar voor de scheepswerf.

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>i</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>ii</b>
<b>Woordenlijst</b>	<b>iv</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Ontwerpeisen en opdracht</b>	<b>2</b>
2.1 De Opdracht . . . . .	2
2.2 Ontwerpeisen . . . . .	3
2.2.1 Ontwerpeisen last conditie . . . . .	3
2.2.2 Ontwerpeisen varende conditie . . . . .	3
<b>3 Ontwerp parameters</b>	<b>4</b>
3.1 Last . . . . .	4
3.2 Weerstand . . . . .	5
3.3 Spanning . . . . .	5
3.4 Stabiliteit . . . . .	5
<b>4 Ontwerp strategie</b>	<b>7</b>
4.1 <i>Rhino</i> 7 en grasshopper . . . . .	7
4.2 Verdere optimalisatie . . . . .	8
4.2.1 Variatie studie . . . . .	8
4.2.2 Carene diagram . . . . .	10
4.2.3 Ontwerpen vergelijken . . . . .	10
<b>5 Het ontwerp</b>	<b>12</b>
5.1 Ideaal ontwerp voor varende en belaste conditie . . . . .	12
5.1.1 Ideaal schip voor de belaste conditie . . . . .	12
5.1.2 Ideaal schip voor varende conditie . . . . .	13
5.2 Het definitieve ontwerp . . . . .	14
5.2.1 De romp en het Lijnenplan . . . . .	14
5.2.2 Optimale parameters . . . . .	15
<b>6 Discussie en Conclusie</b>	<b>16</b>
6.1 MT1458_HullGenerator_V3 . . . . .	16
6.2 Holtrop en Mennen . . . . .	16
6.3 Conclusie . . . . .	17
<b>A Figuren</b>	<b>18</b>

# Symbolen

<i>Symbol</i>	Definitie	<i>Eenheid</i>
$v$	snelheid	$ms^{-1}$
$\overline{GM}$	aanvangsmetacenterhoogte	$m$
$\overline{BM}$	afstand drukingspunt tot metacenter	$m$
$\overline{KB}$	drukingspunt hoogte	$m$
$\overline{KG}$	zwaartepunts hoogte	$m$
$F$	kracht	$N$
$g$	zwaartekrachts versnelling ( $\approx 9.81$ )	$ms^{-2}$
$L$	lengte	$m$
$L_{wl}$	lengte van de waterlijn	$m$
$B$	breedte	$m$
$T$	diepgang	$m$
$C_b$	blokcoëfficiënt	—
$C_g$	grootsspantcoëfficiënt	—
$C_w$	weerstandcoëfficiënt	—
$A$	oppervlakte	$m^2$
$M$	moment	$Nm$
$I$	oppervlaktetraagheidsmoment	$m^4$
$t_p$	plaatdikte	$mm$
$R_t$	totale weerstand	$N$
$LCB$	drukingspunt lengte vanaf achterschip	$m$
$\rho$	dichtheid	$kg\ m^{-3}$
$\nabla$	onderwatervolume	$m^3$
$\sigma$	(normaal)spanning	$Nm^{-2}$

# 1

## Inleiding

De energie transitie is voor alle ingenieurs de komende jaren de grootste uitdaging in hun carrière. Zonneparken, kerncentrales, brandstofcellen, windmolenparken, alle opties zullen onderzocht en ontwikkeld moeten worden. Voor de maritieme ingenieur ligt de voornaamste uitdaging in de windmolenparken. De zee biedt een bijna oneindige hoeveelheid wind en windmolens op zee zullen dan ook cruciaal zijn in de energie transitie.

Deze windmolens moeten geplaatst worden en de ontwikkelingen op dit gebied gaan razendsnel. De firma *Drijfmij & Zn* ontwikkelde een techniek waarbij een windmolen met behulp van een zware ladingsschip de grond in geheid wordt. Dit rapport tracht het ontwerpproces van een dergelijk schip te beschrijven.

Het doel van het rapport moge duidelijk zijn; middels computertekeningen en coderen op zoek gaan naar een optimaal schip voor de aangeleverde casus. Naast kennis van de opdracht is ook enige fysisch-scheepsbouwkundige kennis nodig om het ontwerpproces en de keuzes in het uiteindelijke ontwerp te vatten. Dit alles zal in de komende hoofdstukken uitgewerkt worden.

In het eerste hoofdstuk zullen allereerst de ontwerpopdracht en de ontwerpisen besproken worden. Zonder een idee van de opdracht is het immers niet mogelijk het ontwerp en de weg ernaartoe te vatten.

Vervolgens worden de ontwerp parameters besproken. Er wordt kort ingegaan op de fysische aspecten en formules van de vier belangrijkste eisen die behaald moeten worden. Een basale achtergrondkennis van de fysica achter de scheepsbouw maken de verdere ontwerp keuzes beter begripbaar.

Vanuit de ontwerp parameters is het mogelijk een ontwerpstrategie te ontwikkelen. Deze ontwerpstrategie wordt in het vierde hoofdstuk uitgebreid besproken. De ontwerpstrategie is grofweg onder te verdelen in drie chronologische delen die na elkaar behandeld zullen worden.

Dit leidt tot het uiteindelijke ontwerp wat voortkomt uit de ontwerpstrategie. Het ontwerp en haar parameters zullen gepresenteerd worden alsmede haar prestaties.

Ten slotte volgt een discussie waarin teruggeblikt wordt op het onderzoek. Zo worden mogelijke onnauwkeurigheden in de rekenmethode of het ontwerp besproken en zullen deze nader toegelicht worden. Dit alles wordt afgesloten door de conclusie.

# 2

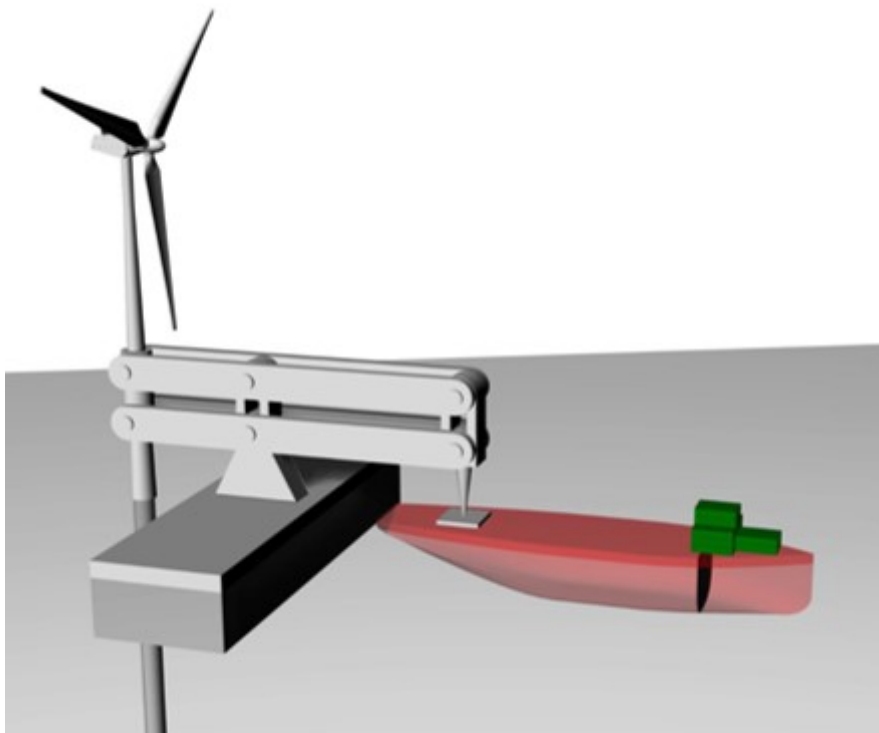
## Ontwerpeisen en opdracht

Voor dat er schepen ontworpen kunnen worden, is het zaak om de opdracht en al zijn eisen en wensen te begrijpen. In dit hoofdstuk is de opdracht concreet uitgewerkt.

Het hoofdstuk begint met het uitleggen van de aard en het doel van de opdracht 2.1. Daarna worden de verschillende eisen voor van de opdracht uitgewerkt en toegelicht 2.2.

### 2.1. De Opdracht

Zoals reeds in dit rapport benoemd is de opdrachtgever van dit ontwerp de firma *Drijfmijs & Zn.* Met de energietransitie in het achterhoofd ontwikkelde de firma een nieuwe techniek om windmolens te plaatsen, namelijk; met behulp van een zwareladingsschip.



**Figuur 2.1:** Het te ontwerpen schip tijdens haar werkzaamheden

Figuur 2.1 toont het schip aan het werk. Op het achterdek van het schip bevindt zich een platform waaraan de heijefboom wordt bevestigd, door vervolgens containers op het voordek te plaatsen zal



het schip vertrimmen (kanteling om de as van het schip in langsrichting). De door trim veroorzaakte opwaartse beweging zal de hefboom de hefboom in werking zetten. Deze hefboom kan vervolgens de windmolen de grond in heien.

Het schip zal geen motor aan boord hebben, dit betekent dat het schip naar haar werkplek gesleept zal worden door een sleepboot. Het ontwerpen van een motor en machinekamer is voor dit ontwerp dus niet nodig. Wel van belang is het ontwerpen van een romp met een lage weerstand, minder weerstand betekent immers minder brandstofverbruik en dus kosten voor de sleepboot.

De aard van de werkzaamheden van het schip brengt twee condities met zich mee: een werkende (in dit rapport last genoemde) conditie en een varende conditie. Deze twee condities hebben veelal tegenstrijdige eisen en belangen; enerzijds is het prettig een groot en vol schip te hebben om zo veel mogelijk heikracht op te wekken, anderzijds zal dit vrij waarschijnlijk veel weerstand geven in de varende conditie. Tussen deze twee extremen de gulden middenweg vinden is het voornaamste doel van dit ontwerp.

## 2.2. Ontwerpeisen

Zoals in de vorige sectie al kort benoemd werd zijn veel van de ontwerpeisen voor de beide condities vaak tegenstrijdig. Daarom zullen de ontwerpeisen voor beide condities apart besproken worden.

Te beginnen met de ontwerp eisen voor de last conditie 2.2.1. Daarna worden de ontwerp eisen voor de varende conditie onder het vergrootglas gelegd 2.2.2.

### 2.2.1. Ontwerpeisen last conditie

Het type staal wat voor dit schip gebruikt zal worden is  $S235$ , dit type staal heeft net als ieder ander materiaal een maximaal toelaatbare spanning waarna het materiaal zal falen. Voor  $S235$  staal komt deze maximale spanning neer op  $235\text{ MPa}$  maar om extra veiligheid te waarborgen zal een veiligheids-marge gehanteerd worden, dit wil zeggen dat als maximale spanning  $190\text{ MPa}$  wordt aangehouden. Dit is gelijk de eerste eis aan het ontwerp, nergens in het schip mag de berekende spanning de  $190\text{ MPa}$  overschrijden. Hiermee zal dus bij de plaatsing en de hoeveelheid containers rekening mee moeten worden gehouden.

Naast een eis aan de spanning is er ook een eis aan de stabiliteit van het schip onder last. Het schip zal gaan vertrimmen, anders werkt de hefboom immers niet, maar ook hier moet een maximum aan gesteld worden. Om onveilige situaties aan boord te voorkomen mag de trim niet boven de zeven graden komen, daarnaast moet een minimaal  $\overline{GM}$  van 0.1 meter gehandhaafd blijven, de waarde  $\overline{GM}$  vertelt ons iets over hoeveel het schip dwarsscheeps zal gaan hellen; hoe hoger het  $\overline{GM}$  hoe minder de helling. Tijdens het trimmen mag de bodem van het schip het water niet verlaten, wanneer dit optreedt wordt het schip instabiel.

### 2.2.2. Ontwerpeisen varende conditie

Ook aan de varende conditie worden bepaalde ontwerpeisen gesteld. Om het brandstofverbruik van de sleepboot te minimaliseren is het zaak dat de weerstand zo laag als mogelijk is. Daarnaast moet mag in deze conditie de  $\overline{GM}$  niet kleiner dan 0.4 meter zijn en moet er in beide condities een vrijboord van drie meter zijn.

Deze eisen zijn tegenstrijdig met de eisen voor de last conditie, een grotere breedte zal namelijk leiden tot een grotere mogelijke last maar ook leiden tot een grotere weerstand, hiertussen moet een midden worden gevonden.

# 3

## Ontwerp parameters

In een vorm zo complex als een scheepsromp zijn er enorm veel aspecten om mee tot een definitief ontwerp te komen. Echter zijn er een aantal aspecten die meer invloed hebben dan de rest. Tussen de verschillende ontwerpeisen kunnen deze parameters ook erg tegenstrijdig zijn. Daarom zullen de invloedrijke factoren in twee delen besproken worden.

Als eerste wordt er in dit hoofdstuk gekeken naar de ontwerp parameters die te maken hebben met de last conditie 3.1. Vervolgens gaat men in op de weerstandsparementers, deze zijn heel belangrijk voor de varend conditie van het schip 3.2. Omdat het schip niet mag breken tijdens het opereren wordt er in sectie 3.3. Als laatste wordt er gekeken naar de aspecten die belangrijk zijn voor de stabiliteit van het schip 3.4.

### 3.1. Last

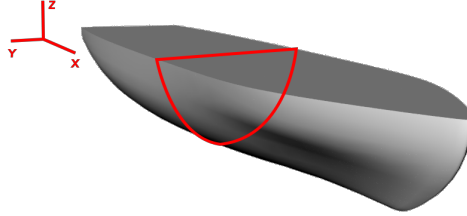
De last die het schip aankan volgt uit het verticale krachten evenwicht. Dit evenwicht stelt dat de som van alle krachten in de verticale richting in totaal nul zijn. Er geldt dan een evenwicht tussen de opwaartse kracht, de druk van het water op de romp, en neerwaartse kracht; het gewicht van de romp, tank en containers en dus de last.

$$\begin{aligned}\Sigma F : F_{last} &= F_p - F_g \\ F_p &= \nabla \rho g \\ F_g &= F_{tank} + F_{containers} + F_{romp}\end{aligned}\tag{3.1}$$

Een zeer belangrijke parameter hier is het onderwatervolume ( $\nabla$ ) een groter onderwater volume zal de last vergroten. dit kan door de lengte ( $L$ ), breedte ( $B$ ) of diepgang ( $T$ ) te verhogen. Maar ook door het schip hoekiger te maken. Dit is uit te drukken met het blokcoëfficiënt ( $C_b$ ) dit is de verhouding tussen het onderwater volume en een rechthoekig blok van de lengte, breedte en diepgang ( $C_b = \frac{\nabla}{LBT}$ ). Het blokcoëfficiënt hoger maken kan bijvoorbeeld door de kimstraal te verlagen, of de spanten wat ronder intekenen.

Daarnaast kan de last ook verhoogd worden door de andere neerwaartse krachtscomponenten zo klein mogelijk te houden. Dit houdt in niet meer containers meenemen en de tank niet voller doen dan noodzakelijk is om het schip recht te houden.

## 3.2. Weerstand



**Figuur 3.1:** Grootspant

$$F_w = \frac{1}{2} C_w A v^2 \rho \quad (3.2)$$

De enige vrijheidsgraden voor de weerstand zijn het weerstandscoefficiënt ( $C_w$ ) en het oppervlakte ( $A$ , ten opzichte van de vaarrichting, het  $y, z$ -vlak in 3.1), de snelheid is namelijk vast gesteld op 19 *knopen* en de dichtheid van het water is ook constant.

daarom is het belangrijk voor een lageweerstand de breedte en diepgang laag houden en de romp slank in vorm te maken (een laag grootsspantcoëfficiënt  $C_g = \frac{A_{spant}}{BT}$ )

Voor het weerstandscoefficiënt is het minder exact, dit komt meer neer op spelen met de spantlijnen, onderzoek naar iets wat 'werkt'. Dit coëfficiënt zegt iets over hoe gestroomlijnd een vorm is (zie A.1).

## 3.3. Spanning

De spanning die de romp ondervindt mag niet over het gestelde maximum ( $\sigma_{max} = 190 MPa$ ) komen.

$$\sigma = \frac{Mz}{I} \quad (3.3)$$

$$I = \iint_R z^2 dA \sim \frac{yz^3}{12}$$

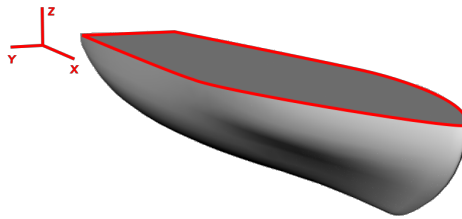
Deze spanning is erg afhankelijk van de holte van de romp in 3.3 is de holte ( $z$  hier). Het traagheidsmoment ( $I$ ) stijgt tot de derde macht met een verhoging van de holte. De spanning ( $\sigma$ ) neemt recht-evenredig toe met de holte. Deze twee afhankelijkheden samen geven een kwadratisch verband. Als bijvoorbeeld dan de holte twee keer zo hoog wordt wordt de spanning ( $\sigma = \frac{1}{2^2} = 0.25$ ) vier keer zo klein.

Een andere belangrijke parameter voor de rompspanning is de plaatdikte ( $t_p$ ). Dit ook omdat de plaatdikte de het traagheidsmoment groter maakt; en daarmee de spanning lager.

## 3.4. Stabiliteit

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG} \quad (3.4)$$

Voor stabiliteit (uitgedrukt in metacenterhoogte  $\overline{GM}$ ) kunnen er een aantal aspecten de stabiliteit verhogen. Wat neer zal komen op drukingspunt ( $\overline{KB}$  het 'zwaartepunt' van het verplaatste water) en het  $\overline{BM}$  (afstand tussen drukingspunt en metacenter) zo hoog mogelijk te krijgen en het zwaartepunt ( $\overline{KG}$ ) zo laag mogelijk (zie 3.4).



**Figuur 3.2:** Waterlijn oppervlakte

$$\overline{BM} = \frac{I}{\nabla} \quad (3.5)$$

$$I \sim \frac{xy^3}{12}$$

Een van de belangrijkste parameters hiervoor is de Breedte ( $y$  richting) van het schip, daarnaast zorgt een lager blokcoëfficiënt ( $C_b$  zie 3.1) en voor een kleiner onderwatervolume ( $\nabla$ ) wat het  $\overline{BM}$  ook verhoogd.

Daarnaast is een van de meest effectieve manieren om de stabiliteit goed te houden het zwaarte punt van het schip zo laag mogelijk in het schip houden. Dit is te bereiken door containers niet te hoog opstapelen, de ballasttank met mate vullen en niet onnodig veel vrijboord inbouwen. Dit zorgt dat  $\overline{KG}$  niet te hoog wordt.

Het is dus duidelijk dat er veel tegenstrijdigheid is tussen de verschillende ontwerpeisen. Waar het meest optimale schip ligt in alle variatie van deze parameters is dan ook de crux van het ontwerpen.

# 4

## Ontwerp strategie

De ontwerpopdracht zit vol tegenstrijdigheden en zoals duidelijk uit het vorige hoofdstuk bleek, is het zaak een optimum te vinden tussen de verschillende parameters. Het vinden van een optimale romp kost tijd en geduld, de strategie tot het vinden van deze romp zal in dit hoofdstuk uiteengezet worden.

Het Hoofdstuk begint met een uitleg over het programma waarin de schepen ontworpen worden, Rhino 4.1. Vervolgens wordt er uitgelegd hoe we het ontwerpproces versneld hebben, door middel van een variatie studie 4.2.

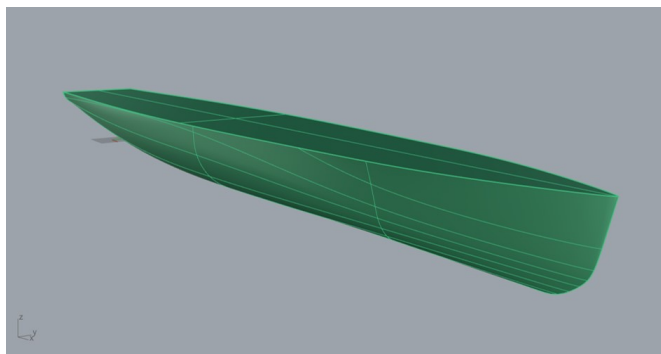
### 4.1. Rhino 7 en grasshopper

Tijdens het ontwerpproces is er gebruik gemaakt van het computertekenprogramma *Rhino 7*, aangestuurd door grasshopper. Er is gebruik gemaakt van de zogenoemde MT1458\_HullGenerator\_V3 van dhr. B. Goris. Met deze generator is het mogelijk bijna alle mogelijke scheepsvormen te genereren door belangrijke parameters als holte, kimstraal, diepgang, Cstern et cetera aan te passen. Alle waarden van het schip zijn te exporteren naar excel, van waaruit doorgerekend kan worden.

Ook bevindt zich in de grasshopper een zogenoemde '*Holtrop en Mennen*' functie om de weerstand mee te berekenen. De methode van *Holtrop en Mennen* is gebaseerd op uitgebreide weerstandstesten: 334 modellen zijn uitvoerig getest op weerstand en opgeslagen in een database. Door middel van interpolatie binnen deze database is het mogelijk de weerstand van een schip te berekenen. De *Holtrop en Mennen* voorspelling geeft een goed beeld van wat ongeveer de weerstand zal zijn, maar om de exacte weerstand te berekenen zijn sleeptanktesten of CFD nodig.

Om alle waarden van het schip door te rekenen is gebruik gemaakt van een model geschreven in de programmeertaal python. Dit veelomvattende model is in staat de waarden van het schip uit excel uit te lezen en daarmee het gehele schip, van doorbuiging tot stabiliteit, door te rekenen. Zo kan van ieder schip bepaald worden of zij aan de ontwerpeisen voldoet.

Een ontwerp begint in *Rhino 7*. Door lijnen aan te passen en parameters te veranderen verandert het resultaat. Met behulp van 'trial and error' ontstaat een idee voor wat werkt en niet werkt, wat de parameters daadwerkelijk doen met de last van het en schip en wat de parameters doen met de weerstand. Zo is het mogelijk tot een eerste ontwerp te komen, hieruit kan de romp verder doorontwikkeld worden.



**Figuur 4.1:** Eerste ontwerp

## 4.2. Verdere optimalisatie

Vanuit het eerste ontwerp kan de romp verder doorontwikkeld worden. Echter, het is eerst belangrijk te onderzoeken welke parameters de grootste invloed hebben op de stabiliteit en de sterkte. Om te onderzoeken welke parameters dit zijn is een variatie studie gedaan.

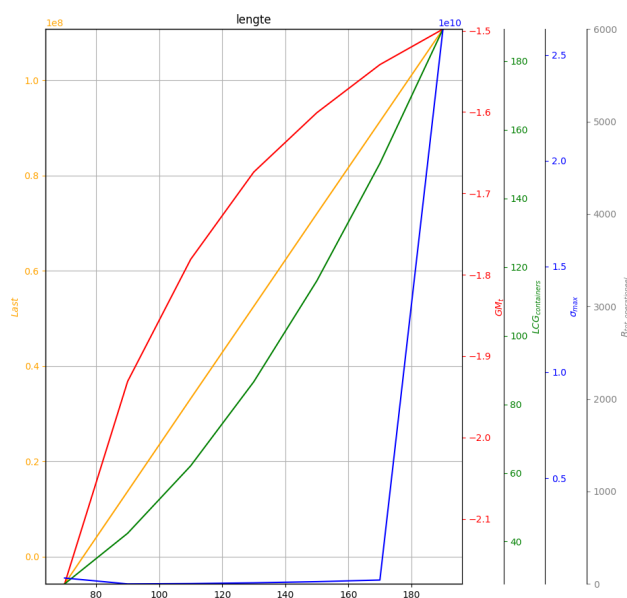
### 4.2.1. Variatie studie

De variatie studie heeft als doel per parameter uitzoeken wat dit verandert aan de eigenschappen en het gedrag van het schip, het is dus belangrijk dat enkel de te onderzoeken parameter verandert.

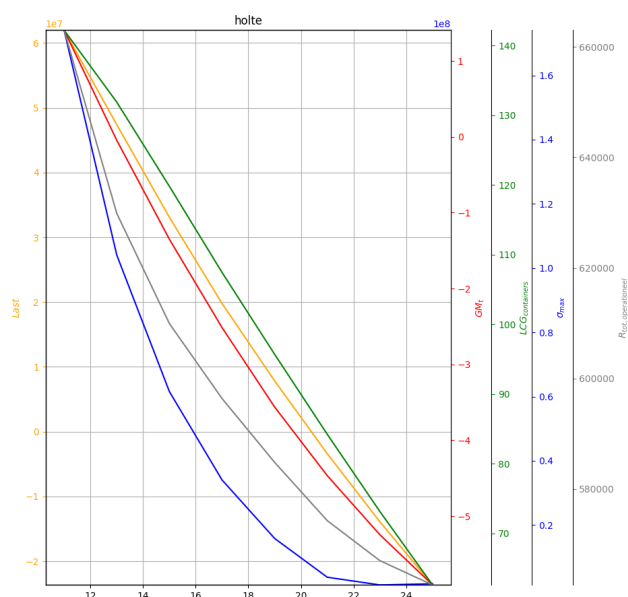
Voor de variatie studie hebben is het uiteindelijke eerste ontwerp (figuur 4.1) als uitgangspunt genomen. Door constant in de grasshopper van dit ontwerp een variabele te variëren is een database aangelegd van waaruit de veranderingen aan het schip in kaart te brengen zijn. Vervolgens is iedere losse excel waar een parameter veranderd is doorgerekend.

De studie is toegepast op de parameters lengte, breedte, holte, diepgang, kimstraal, intrede hoek van de waterlijn en midscheepse lengte. Met de parameters uit hoofdstuk 3 in het achterhoofd is besloten deze parameters nader te onderzoeken om te kijken wat de invloed op het schip is.

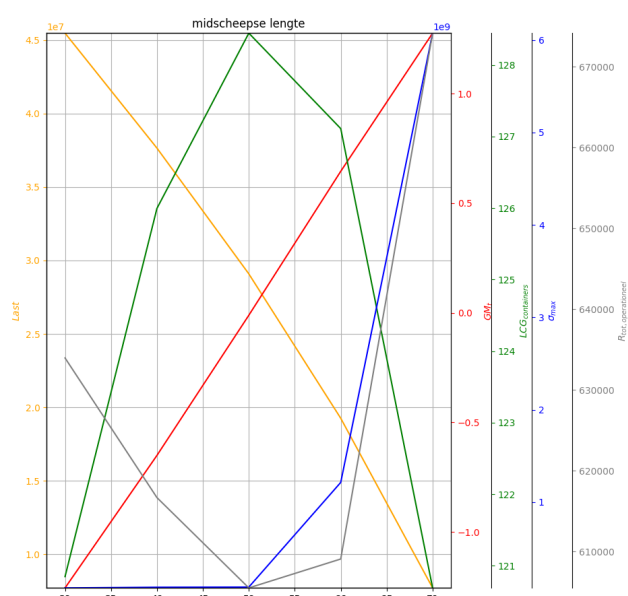
De resultaten van de variatie studie liepen ver uiteen; zo deed het vergroten van de holte alle waarden dalen en leid midscheepse lengte tot een grafiek met vele snijpunten van waaruit optima te bepalen zijn.



**Figuur 4.2:** Variatie studie lengte



**Figuur 4.3:** Variatie studie midscheepse lengte



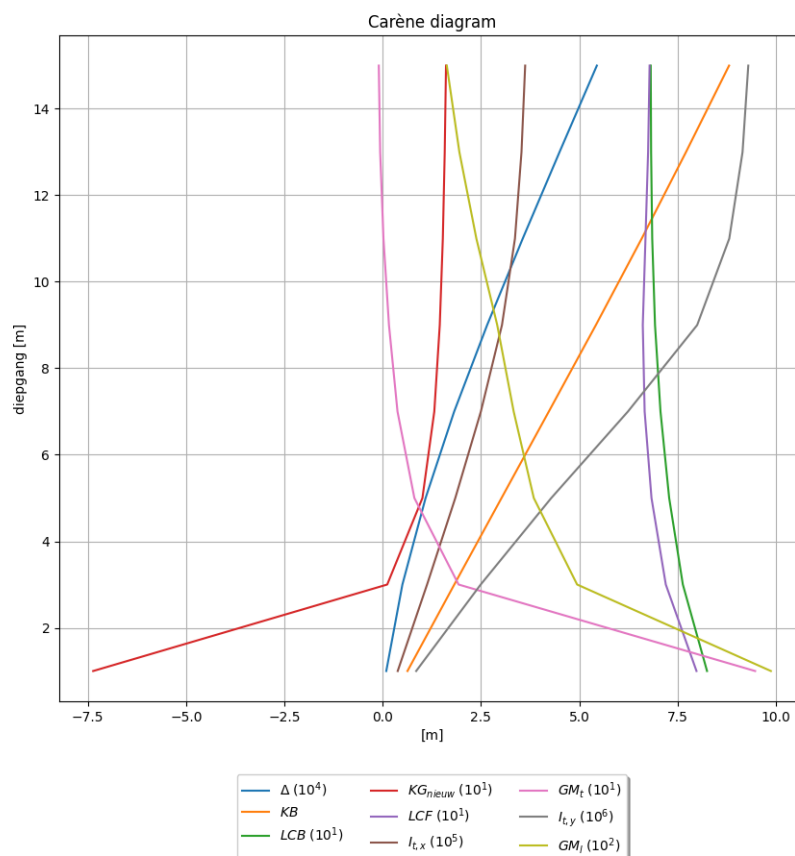
**Figuur 4.4:** Variatie studie holte

De bovenstaande figuren tonen verschillende uitkomsten van de variatie studie. Grofweg kunnen zijn de uitkomsten in deze drie getoonde categorieën in te delen: stijgend, dalend of vele snijpunten. Figuur 4.2 toont hoe de stabiliteit, de plaatsing van de containers, de spanning, de last en de weerstand afhangen van de lengte. Er is duidelijk te zien dat al deze waarden toenemen naarmate de lengte toeneemt, een grotere lengte lijkt dus optimaal. Echter neemt vanaf 170m de spanning enorm snel toe, dit is een reden om een lengte van maximaal 170m te nemen. De optimale lengte is de grootste lengte waarbij de maximale spanning binnen de grenzen blijft. Voor de holte (dalend) is dezelfde strategie te gebruiken; de optimale holte is de holte waarbij de variabelen maximaal zijn. Weliswaar is de weerstand in deze beide gevallen ook maximaal, hiervoor is in het uiteindelijke ontwerp de rompvorm gecorrigeerd om toch een lage weerstand te bereiken. Wanneer, zoals bij midscheepse lengte, er vele snijpunten zijn en het lastiger is een duidelijk optimum vast te stellen kost het optimalisatieproces meer tijd. Door de optima uit de grafieken in te incorporeren in het scheepsontwerp worden grote stappen gezet op

weg naar het optimale schip. Door middel van 'trial and error' zijn er meerdere verbeterde versies van het eerste ontwerp door te rekenen om te bekijken hoe het ontwerp scoort op last en weerstand. Zo is het mogelijk tot een uiteindelijk ontwerp te komen.

### 4.2.2. Carene diagram

Een andere houvast tijdens het ontwerpproces is het Carene diagram. In een Carene diagram zijn verschillende stabiliteitsparamters zoals  $\overline{KG}$ ,  $\overline{KB}$  en  $\overline{GM}$  uitgezet. Zo kan een idee gevormd worden over wat de diepgang veranderd aan de stabiliteit van het schip en of het schip nog aan de gestelde stabiliteitsnormen voldoet.



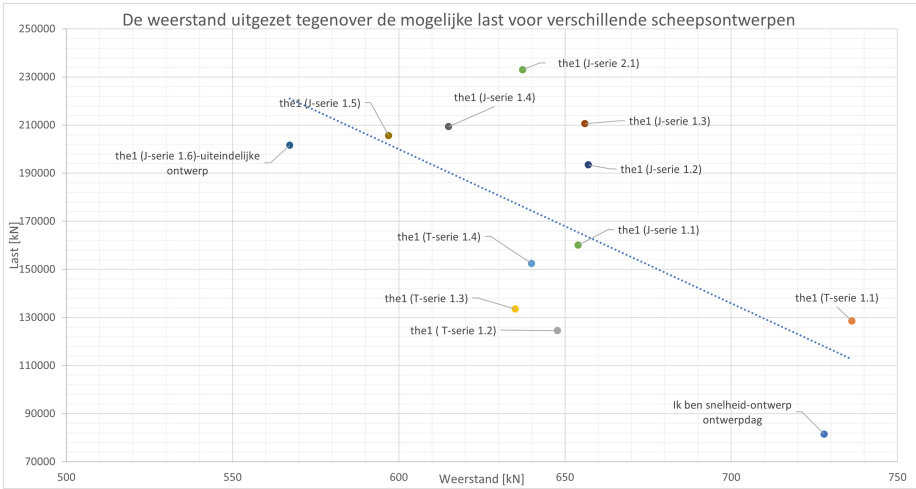
Figuur 4.5: Carène diagram

Ook hier vormt zich een complexe figuur waarin vele snijpunten te herkennen zijn. Door vele iteraties met verschillende van hetzelfde schip door te rekenen kan een uiteindelijk optimum gevonden worden.

### 4.2.3. Ontwerpen vergelijken

Na de vorige twee optimalisatie stappen blijven er nog een gering aantal schepen over waaruit een keuze gemaakt moet worden. Om tot het uiteindelijke ontwerp te komen is het belangrijk te weten hoe iedere schip zich positioneert op het spectrum tussen weerstand en last; het ene schip zal namelijk beter presteren op last en het andere op last. Hoe ieder schip zich plaatst in dit spectrum is te zien in onderstaande figuur 4.6.





**Figuur 4.6:** Uitkomsten van verschillende ontwerpen weergegeven in een grafiek met trendlijn

In de grafiek is te zien dat naarmate de ontwerpen zich verder vorderden zij over het algemeen een lagere weerstand kregen, tegelijkertijd nam de last die de schepen konden dragen ook toe. De verhouding tussen last en weerstand is geschetst met de gestippelde trendlijn. Niet ieder schip scoorde even goed op last als op weerstand, dit is niet onlogisch aangezien de ontwerpparameters voor deze twee condities tegenstrijdig zijn. Om te bepalen welk schip gemiddeld het beste presteert zijn de schepen vervolgens gerangschikt volgens de onderstaande figuur 4.7.

Weerstand [kN]	Last [kN]	Naam Schip	Weerstand	Last	Gemiddeld	Ranking
728	81375	Ik ben snelheid-ontwerp ontwerp	6.2	6	6.1	12
736.2686948	128483.3702	the1 (T-serie 1.1)	6	7.24	6.62	11
647.7624452	124461.5409	the1 ( T-serie 1.2)	8.09	7.14	7.62	10
635.0754603	133507.9652	the1 (T-serie 1.3)	8.39	7.37	7.88	9
640	152409	the1 (T-serie 1.4)	8.28	7.87	8.08	7
654	160050	the1 (J-serie 1.1)	7.95	8.07	8.01	8
657	193488.9607	the1 (J-serie 1.2)	7.88	8.96	8.42	6
656	210613	the1 (J-serie 1.3)	7.9	9.41	8.66	5
615	209400	the1 (J-serie 1.4)	8.87	9.38	9.13	4
597	205550	the1 (J-serie 1.5)	9.3	9.27	9.29	2
567.203	201537.267	the1 (J-serie 1.6)-uiteindelijke ontwerp	10	9.17	9.59	1
637.236	233052.009	the1 (J-serie 2.1)	8.34	10	9.17	3

**Figuur 4.7:** Uitkomsten van verschillende ontwerpen gerangschikt volgens gemiddelde

Deze laatste twee stappen brengen het ontwerp en optimalisatie proces ten einde en leveren het uiteindelijke ontwerp welke in het komende hoofdstuk nader toegelicht wordt.

# 5

## Het ontwerp

Het uiteindelijke ontwerp is tot stand gekomen aan de hand van de variatie studie en de ontwerp strategie. Er het ontwerpproces is meerdere malen geïtereerd om tot een zo efficiënt mogelijk zware ladingsschip te komen. Dit schip voldoet aan de eisen zoals behandeld in hoofdstuk 2 en heeft de optimale combinatie van ontwerp parameters.

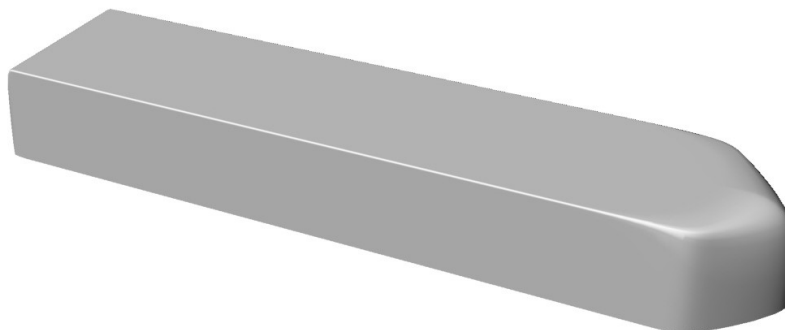
Om tot het eind ontwerp te komen behandelen we in dit hoofdstuk eerst het ideale schip voor de last conditie en het ideale schip voor de varende conditie 5.1. Daarna zal het definitieve ontwerp toegelicht worden 5.2.1.

### 5.1. Ideaal ontwerp voor varende en belaste conditie

Om te komen tot een definitief ontwerp is het belangrijk dat het schip zowel in de varende als in de belaste conditie optimaal presteert. De eisen voor de varende en belaste conditie zijn in strijd met elkaar. Dit omdat in de varende conditie het schip een lage weerstand moet hebben, terwijl in de belaste conditie het schip zo veel mogelijk last aan moet kunnen.

#### 5.1.1. Ideaal schip voor de belaste conditie

Een ideaal schip voor de belaste conditie kan zo veel mogelijk last aan. Aan de belaste conditie zijn een aantal normen gesteld genoemd in subsectie 2.2.1. In sectie 4.2.1 zijn de belangrijke ontwerp parameters beschreven die de verandering van de last en de weerstand veroorzaken. Uit deze grafieken is af te lezen hoe verschillende aspecten van het schip de totale last beïnvloeden. Om een schip te maken dat zo veel mogelijk last kan dragen, moeten we een schip creëren dat de optimale waarden voor last uit de variatie studie volgt. In grote lijnen is het belangrijk om het schip een zo groot mogelijke blokcoëfficiënt en een zo lang mogelijke lengte te hebben. Door deze twee aspecten te maximaliseren wordt een zo groot mogelijk onderwater volume bereikt.

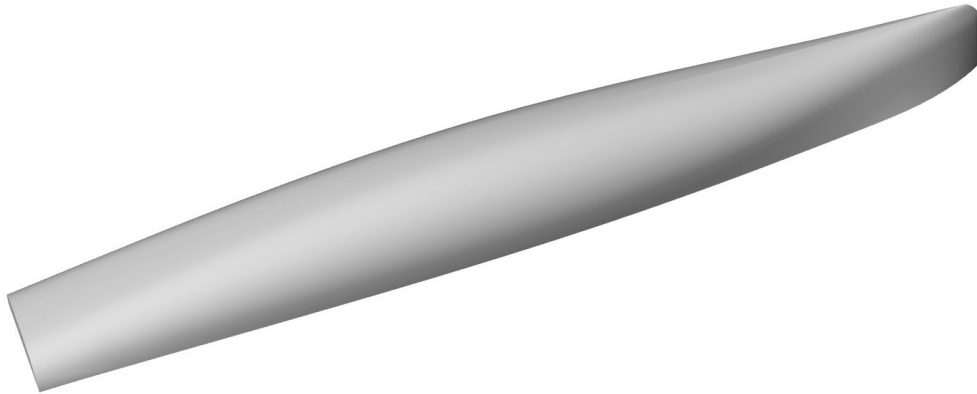


**Figuur 5.1:** Onderkant van de romp van het model schip, geoptimaliseerd op last.

In Figuur 5.1 is de onderkant van het ideale last schip te zien. Er is goed te zien dat het schip het onderwatervolume maximaliseert door middel van een zo klein mogelijke kimstraal en een zo groot mogelijke blokcoëfficiënt over de gehele lengte. De blokcoëfficiënt van dit schip is  $C_b = 0.95$ .

### 5.1.2. Ideaal schip voor varende conditie

Om een ideaal schip voor de varende conditie te creëren, moet de weerstand van het schip zo laag mogelijk zijn. Verder moet het schip ook nog aan de eisen voldoen van de varende conditie, deze zijn besproken in subsectie 2.2.2. Om een schip met zo min mogelijk weerstand te krijgen, gaan we op de zelfde manier te werk als in subsectie 5.1.1. Alleen kijken we ditmaal niet naar de last die het schip kan dragen, maar naar de weerstand die het schip ervaart.



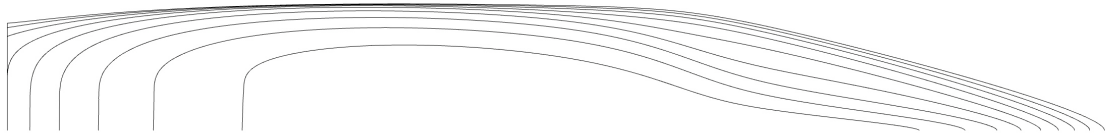
**Figuur 5.2:** Onderkant van de romp van het model schip, geoptimaliseerd op weerstand.

In figuur 5.2 is de onderkant van het model schip te zien. Dit schip heeft een lage weerstand omdat het een grote lengte tot breedte verhouding heeft, en een lange waterlijn. Dit zorgt voor een klein frontaal oppervlak en dus een lage weerstandscoefficiënt. Daarnaast is te zien hoe de spitse boeg geleidelijk overloopt in het middenschip, wat de hydrodynamica ten goede komt. Ook het achterstevan van het schip heeft een geleidelijke vormverandering, hierdoor treedt er weinig weerstand op.

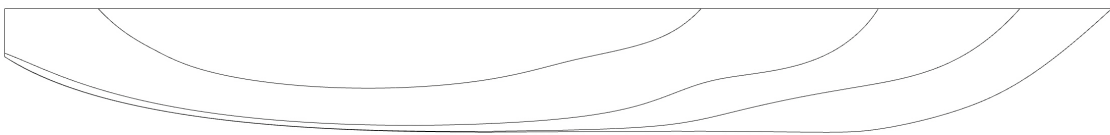
## 5.2. Het definitieve ontwerp

### 5.2.1. De romp en het Lijnenplan

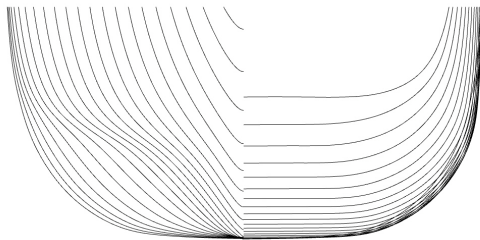
Waterlijnen



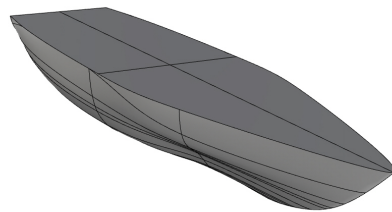
Verticalen



Spanten



Perspectief



**Figuur 5.3:** Lijnenplan

Met behulp van het variatie onderzoek is uiteindelijk het definitieve ontwerp tot stand gekomen. Dit ontwerp heeft een van de laagste weerstanden, maar kan ook een van de grootste lasten aan en dus de meeste kracht genereren (zie figuur 4.6). Het schip genaamd the1(J-series 1.6) is te zien in figuur 5.3.

Wat opvalt als naar het lijnenplan gekeken wordt, is de slankheid van de romp in de onderste helft. Hiervoor is gekozen om het schip in de varende conditie een zo laag mogelijke weerstand te laten hebben. De slanke vorm is onderin de romp het duidelijkst aanwezig aangezien het schip in de varende conditie een mindere diepgang heeft, de boven helft van de romp zal zich in die conditie dus niet in het water bevinden.

De romp is een stuk voller bovenin. Wanneer in de beladen conditie deze helft dus het water in zal zinken, zal het schip een grotere last aan kunnen.

Daarnaast is belangrijk het verschil tussen het voor- en achterschip te bemerken. Het achterschip is een stuk voller dan het voorschip, de last zal zich namelijk op het achterschip bevinden. Door een vol schip op de plek van de last wordt de meeste tegendruk gegenereerd, dit resulteert in een schip wat een grotere last aankan.

### 5.2.2. Optimale parameters

De optimale parameters zijn bereikt door het gebruik van het variatie onderzoek. In de grafiek van de lengte 4.2 is te zien dat de maximale spanning na de 170 meter erg extreem stijgt, daarom is er een lengte gekozen niet groter dan 170 meter.

Over het algemeen valt te zeggen dat een grotere lengte zorgt voor een groter moment (vanwege de grotere arm) ten gevolge van de containers en de ballast tank; dit resulteert in een grotere tegenkracht voor de last waardoor een grotere last mogelijk is. Ook de stabiliteit neemt toen naarmate de lengte toeneemt. Een zo lang mogelijke romp is dus optimaal mits de maximaal toelaatbare spanning niet overschreden wordt. Vanwege deze redenen is er gekozen voor een romp met een lengte van 170 meter.

In de grafiek van de variatie van midscheepse lengte 4.3 is er ook een duidelijk optimum te zien: dit is bij een midscheepse lengte van 50%. Daarom is er bij the1(J-series 1.6) voor deze midscheepse lengte gekozen.

Wanneer de parameters die tot een hoge maximaal draagbare last leidden resulteerden in een te lage stabiliteit moest dit gecorrigeerd worden. Vaak was dit te corrigeren door de holte te verkleinen, de effecten van verandering in de holte zijn te zien in figuur 4.4. Door alle uitkomsten van de variatie studie te analyseren en op deze wijze in het scheepsontwerp te incorporeren is getracht het optimale schip te ontwerpen.

De optimale parameters voor the1(J-series 1.6) zijn te zien in tabel 5.1. Bij de diepgang zijn twee waarden gegeven, de diepgang van 6 meter is voor de varende conditie en de diepgang van 12 meter is voor de last conditie. In tabel 5.2 staan alle waarden van het uiteindelijke ontwerp.

**Tabel 5.1:** Alle hoofdafmetingen van the1(J-series 1.6)

Hoofdafmetingen	Waardes
Lengte	170 [m]
Breedte	39.4 [m]
Holte	19 [m]
Diepgang	6/12 [m]
midscheepse lengte	50 [%]
Kimstraal	11 [m]

**Tabel 5.2:** tabel met de gemeten waarden van the1(J-series 1.6)

	Berekende waarden
Last	201.5 [MN]
Weerstand	567.20 [kN]
Ballast containers	60.33 [MN]
GM, dwarsscheeps beladen	0.152 [m]
GM, dwarsscheeps varende	1.844 [m]
vulhoogte tank, beladen	100 [%]
vulhoogte tank, varende	44 [%]
plaatdikte	66 [mm]
doorbuig	-0.18 [m]
aantal containers	205 [-]

# 6

## Discussie en Conclusie

Om het ontwerp nog verder door te ontwikkelen zijn er een aantal dingen die nog gedaan kunnen worden, die buiten het kader van dit project vallen. Het is zaak om dit te omschrijven zodat het duidelijk wordt wat de limitaties van het ontwerp zijn en wat verbeterd kan worden in het geval van een vervolg onderzoek.

Aangezien we de rompvorm ontworpen hebben aan de hand van een generatie programma, was het niet mogelijk om alle mogelijke romp vormen te krijgen, de limitaties hiervan staan beschreven in sectie 6.1. Daarna worden de limitaties van Holtrop en Mennen beschreven en wat dit voor consequenties heeft 6.2.

### 6.1. MT1458\_HullGenerator\_V3

Allereerst MT1458\_HullGenerator\_V3, hoewel het vele mogelijkheden biedt zitten er natuurlijk wel limitaties aan omdat er niet buiten de grenzen van de Grasshopper getreden kan worden. Echter is het om tot een volledig optimaal ontwerp nodig om alle parameters te kunnen veranderen zonder grenzen.

Voor een eventueel vervolg is het verstandig te onderzoeken wat deze limitaties precies zijn, of deze het ontwerp limiteren en hoe het ontwerp verbeterd zou kunnen worden buiten de grenzen van deze generator.

### 6.2. Holtrop en Mennen

Op het gebied van de scheepsweerstand zijn er eveneens mogelijkheden tot nader onderzoek. Voor dit project is, zoals eerder al beschreven (4.1), gebruik gemaakt van de methode *Holtrop en Mennen*. Deze dataset is natuurlijk niet alles omvattend. Deze methode interpoleert alle waarden van de weerstand binnen deze dataset. Het definitieve ontwerp is met een paar parameters buiten het interpolatie-bereik gekomen. Dit betekent dat de waarde voor de weerstand bepaald is door middel van extrapolatie vanuit de dataset in plaats van interpolatie binnen de dataset.

De weerstand die nu uit de berekeningen volgt kan dus enigszins afwijken van de daadwerkelijke weerstand. Voor een eventueel vervolg onderzoek zal de weerstand dus nauwkeuriger bepaald moeten worden, anders is het ontwerp weer gelimiteerd aan de *Holtrop & Mennen* dataset. Methoden om deze nauwkeurigere weerstand te bepalen zijn sleeptanktesten, CFD-simulaties of interpolatie met dataset met gelijkende schepen.

Hoeveel de afwijkingen met de *Holtrop & Mennen* dataset daadwerkelijk zijn zal hieronder toegelicht worden.

$$\begin{aligned} L/B &= 4.315 & (min = 4.71) \\ LCB/\frac{L_{wl}}{2} \cdot 100\% &= -13.2\% & (max = \pm 5\% \text{ van } 100\%) \\ B/T &= 6.5667 & (max = 4) \end{aligned} \tag{6.1}$$

*Holtropp & Mennen* stelt aan verschillende verhoudingen van het schip (lengte-breedte, LCB-lengte waterlijn/2, breedte-diepgang) minima en maxima. Binnen deze waarden is de methode nauwkeurig, daarbuiten neemt de nauwkeurigheid van de weerstandsbepaling af.

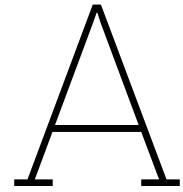
De verhouding lengte/breedte mag niet kleiner zijn dan 4.71, voor het uiteindelijke ontwerp komt deze verhouding uit op 4.315. Tussen de toegestane lengte/breedte verhouding en de lengte/breedte verhouding van het ontwerp zit een verschil is 8.4%. Uitgaande van de enorme hoeveelheid data die de methode gebruikt om tot de berekende weerstand te komen is dit percentage acceptabel. In een dataset van deze omvang zijn zoveel mogelijkheden om een paar procentpunt af te wijken dat 8.4% afwijking geen significante afwijking in de berekende weerstand zal geven. Voor deze kleine afwijking zal extrapolatie vanuit de dataset nog voldoende nauwkeurig zijn.

Volgens *Holtropp & Mennen* mag het percentage berekend door LCB te delen door de halve waterlijn lengte niet meer of minder dan 5% afwijken van 100%, in het ontwerp is deze afwijking -13.2%. Dit is een afwijking van 8.2% van wat toelaatbaar is. Deze afwijking is vergelijkbaar aan de afwijking in de lengte/breedte verhouding en daarom om dezelfde redenen acceptabel.










De verhouding tussen breedte en diepgang mag maximaal op 4.0 uitkomen om binnen het toegestane bereik te blijven, voor het ontwerp komt deze verhouding uit op 6.5667. Dit is een afwijking van 62.2%, deze afwijking is significant. Deze afwijking wekt het idee dat er allicht te ver buiten de dataset van *Holtropp & Mennen* geëxtrapoleerd is. Een sleeptank-test of CFD-simulatie zou uitsluitend kunnen bieden over hoeveel de afwijking in weerstand is, en wat de daadwerkelijke weerstand is.

### 6.3. Conclusie

Een schip ontwerpen voor dusdanig uiteenlopende en tegenstrijdige condities vraagt om een flexibele aanpak en een gedegen ontwerpstrategie. Door veelvuldig variabelen aan te passen en het schip met iedere aanpassing opnieuw door te rekenen kunnen grafieken gemaakt worden die de optimale ontwerpeisen voor het schip tonen. Door het schip op basis van deze optima te ontwerpen en verder te optimaliseren is het mogelijk om tot een uiteindelijk optimaal ontwerp voor deze casus te komen.



## Figuren

Shape		Drag Coefficient
Sphere		0.47
Half-sphere		0.42
Cone		0.50
Cube		1.05
Angled Cube		0.80
Long Cylinder		0.82
Short Cylinder		1.15
Streamlined Body		0.04
Streamlined Half-body		0.09

Measured Drag Coefficients

**Figuur A.1:** Weerstandscoefficiënt voor enkele vormen; [https://en.wikipedia.org/wiki/Drag\\_coefficient](https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient)