



Profielwerkstuk
Technologie & Toepassing
Coornhert Lyceum

VERDUURZAMING VRACHTSCHEEPVAART MET BEHULP VAN WINDENERGIE

Masha Khnykina
Tess de Roo
Milena Vena

2023-2024



VOORWOORD

Wij zijn Masha Khnykina, Tess de Roo en Milena Vena, wij hebben de opdracht gekregen een opdrachtgever te zoeken voor het vak Technologie & Toepassing. We hadden verschillende ideeën, van duurzaamheid tot de muziek- en lichtindustrie. Vanuit die gedachte hebben we een aantal mogelijke festivalorganisatoren een mail gestuurd, maar daar kwam geen bruikbare opdracht uit.

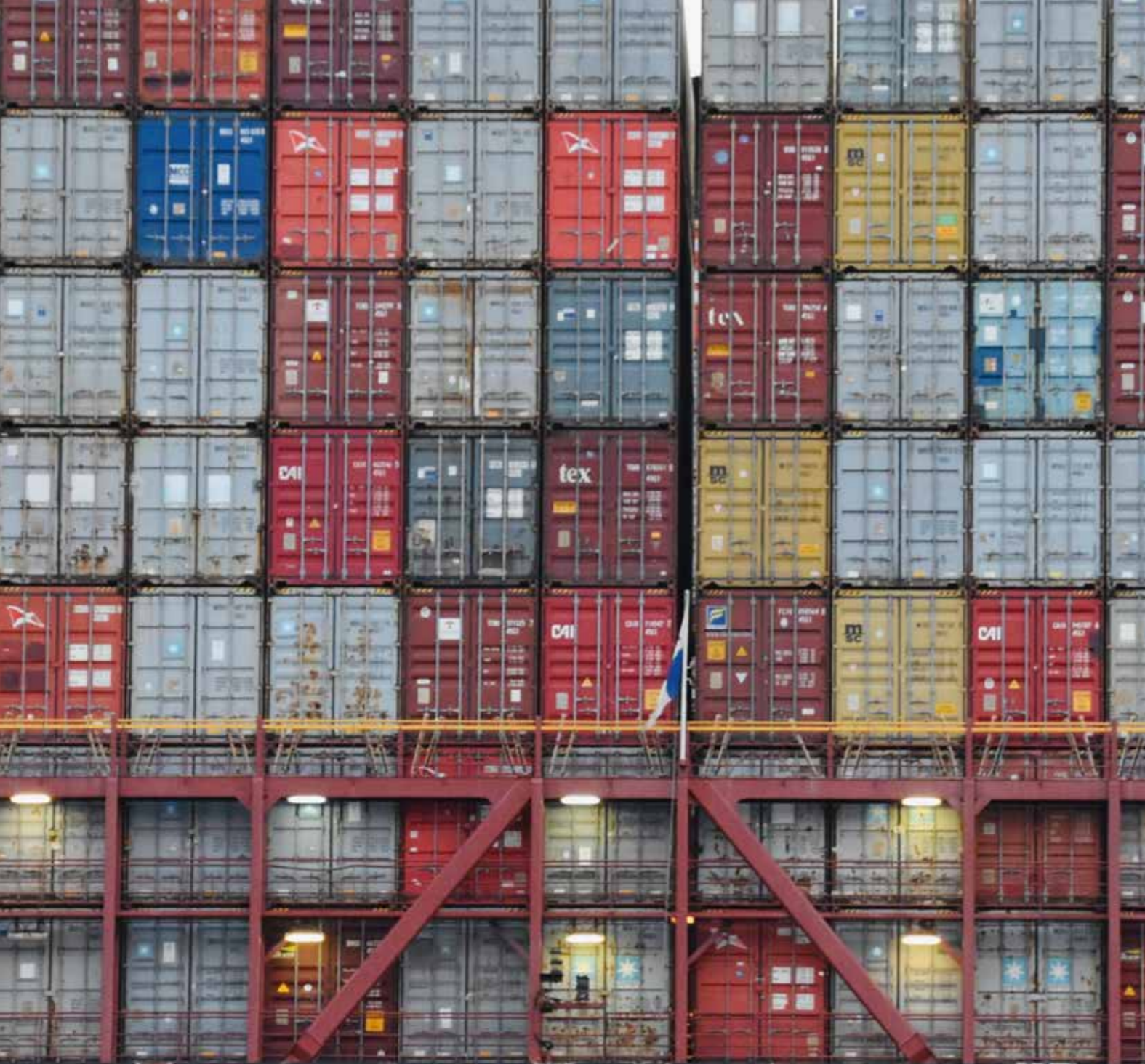
Na een brainstorm met meneer Brouwer over andere mogelijke bedrijven en onderwerpen hebben we iets totaal anders bedacht. We zijn doorgedaan op het idee van duurzaamheid. Via meneer Brouwer zijn we in contact gekomen met Johan Paul Verschuure. Hij werkt voor het technische bedrijf Rebel, dat onder andere gespecialiseerd is in de verduurzaming van de scheepvaart.

ONZE OPDRACHTGEVER

Johan Paul Verschuure is maritiem ondernemer en directeur bij Rebel en voor dit project onze opdrachtgever. Vanuit zijn achtergrond als haveningenieur en financieel-economisch specialist geeft Johan Paul dagelijks financieel en strategisch advies aan uiteenlopende opdrachtgevers in de maritieme sector. Meneer Verschuure is dan ook in staat om business cases te structureren en te beoordelen vanuit

een commercieel, financieel en technisch perspectief. Ook is hij betrokken geweest bij een groot aantal belangrijke transacties in de havensector over de hele wereld, waarbij hij verantwoordelijk was voor de due diligence (tijdens het due diligence-onderzoek wordt een onderneming of een persoon geanalyseerd op economische, juridische en financiële omstandigheden).

Allereerst hebben wij vanuit ons team een e-mail gestuurd met de vraag of Johan Paul het interessant vond ons te helpen. Hij reageerde erg enthousiast en we hebben gelijk met hem gebrainstormd over mogelijke ideeën voor onze opdracht. Omdat meneer Verschuure zelf actief is in de scheepvaart is de opdracht ook gelijk toegespitst op verduurzaming in deze sector. Daarbij gaf hij ons verschillende opties, namelijk onderzoek te doen naar verduurzaming van de scheepvaart door middel van wind, zon of juist door de inzet van milieuvriendelijkere brandstoffen zoals van waterstof. Na intern overleg hebben we besloten verder te gaan met de verduurzaming door middel van wind. We hebben 3 ideeën geschetst uitgewerkt en aan meneer Verschuure gepitcht bij onze eerste afspraak. Hierover meer in hoofdstuk 2.



INHOUD

VOORWOORD	3
INLEIDING	7
1. VERDUURZAMING VAN VRACHTSCHEEPVAART	8
2. DE IDEEËN OP EEN RIJ	12
3. SOORTEN ZEILEN	15
4. HOE WERKEN DE ZEILEN OP EEN VRACHTSCHIP?	19
5. LADEN EN LOSSEN	22
6. BEZOEK AAN ROTTERDAM	24
7. UITWERKING EN PROTOTYPE	28
CONCLUSIE	34
DISCUSSIE	35
NAWOORD	36
LITTERATUURLIJST	38

INLEIDING

Verduurzaming van de scheepvaart is een onderwerp dat je steeds vaker tegenkomt. Doordat veel van onze producten in Azië worden gemaakt wordt er steeds meer gebruik gemaakt van vrachtscheepvaart. De schepen zelf worden steeds groter en daarmee wordt de belasting op het milieu ook steeds groter. De scheepvaart is een stuk vervuilender dan je denkt, uit een maritiem onderzoek bleek dat grote schepen op jaarbasis net zo veel zwaveldioxiden (SO₂) uitstoten als zo'n 50 miljoen auto's. - *Belshof, B. (2022, 30 juli).*

Deze uitstoot heeft grote gevolgen op het milieu en daarmee op onze toekomst. Zwaveldioxide is schadelijk voor planten en andere organismen op land. Daarnaast zorgt SO₂ voor verzuring van het oppervlaktewater, wat weer schade toebrengt aan de voedselketen in zoet en zout water. Zo lijden het hele ecosysteem onder de gevolgen van verzurende stoffen.

Zwaveldioxide heeft ook gevolgen van de gezondheid van de mens, SO₂ verslechtert de longfunctie bij kinderen en veroorzaakt ademhalingsproblemen bij volwassenen. Mensen met bijvoorbeeld astma of mensen die roken kunnen hier nog meer last van hebben.

Het transport met vrachtschepen over de oceanen zorgt voor een dilemma. Aan de ene kant bevordert scheepvaart de wereldwijde handel, waardoor economieën blijven groeien. Aan de andere kant ontstaat er veel vervuiling door het gebruik van stookolie en traditionele brandstoffen. Dit laatste heeft geleid tot een zorgwekkende toename van lucht- en milieuvervuiling.

Dit probleem dwingt ons als samenleving om de scheepvaart te verduurzamen. Alternatieve brandstoffen zoals waterstof en LNG (vloeibaar aardgas) kunnen de scheepvaart verduurzamen. Er zijn zelfs al voorbeelden van binnenvaartschepen (vrachtschepen die over onze binnenwateren varen) die volledig elektrisch of met een hybride aandrijving werken.

De onderzoeksvraag is: Wat is de invloed van zeilen op vrachtschepen?

De deelvragen hierbij horen zijn:

- Hoe duurzaam je vrachtschepen?
- Hoe kan je de verduurzaming realistisch maken?
- Welke soort zeilen zijn er?
- Hoe werken zeilen op een vrachtschip?
- Hoe werkt het laden en lossen in de haven?
- Hoe werkt de haven van Rotterdam?
- Hoe wordt het prototype uitgewerkt?

Dit profielwerkstuk gaat dieper in op de verandering binnen de vrachtscheepvaart op de grote oceanen. Daarbij is elektrificatie (nog) niet mogelijk gezien de grote afstanden. Maar welke invloed zou wind hierbij kunnen spelen? Kunnen vrachtschepen weer (deels) gebruik maken van zeilen? Wat voor soorten zeilen er allemaal zijn en welk effect zou dit hebben bij het laden en lossen van vracht in de havens.

HOOFDSTUK 1

VERDUURZAMING VAN VRACHTSCHEPEN



Duurzame scheepvaart is belangrijker dan ooit! Het probleem is dat jouw pakketje uit China meestal via één van deze grote vrachtschepen wordt vervoerd. Dit klinkt misschien ideaal, maar deze vrachtschepen zorgen voor een enorm uitstoot van milieuvriendelijke stoffen. Dit heeft tot gevolg dat de luchtkwaliteit verslechterd en het milieu achteruit gaat.

De vrachtschepen moeten echt duurzamer worden, maar hoe? De scheepvaart zal hernieuwbare energiebronnen moeten gaan gebruiken, zoals wind- en zonne-energie en in de havens vaker gebruik moeten maken van (groene) walstroom i.p.v. de dieselgeneratoren te laten draaien.

Je kan gebruik maken van windenergie, dit gebeurt al eeuwen. Tot aan de introductie van de stoomboot in 1780 werden alle zeeschepen middels wind voortgeduwd. De zeilen zijn echter verdwenen, omdat er dan meer ruimte was voor vracht en ze in de weg zaten bij het laden en lossen. Maar er zijn heel veel verschillende mogelijkheden qua zeilen.

De energie van de zon kan je gebruiken. Door het plaatsen van zonnepanelen op een schip kan stroom opgewekt worden die we kunnen omzetten in energie voor de motor.

Er kan ook gekozen worden voor andere brandstof. Stookolie kan worden vervangen door waterstof of andere vloeibare aardgassen. Wanneer er minder stookolie wordt gebruikt, worden er minder schadelijke stoffen geproduceerd. Een andere manier om de vrachtscheepvaart duurzamer te maken is het gebruik maken van Liquefied natural gas (LNG) in plaats van brandstoffen op basis van diesel. LNG is aardgas in vloeibare vorm, als LNG onder 160° wordt gehouden behoudt het de vloeibaarheid en is het een goed alternatief voor stookolie. Nadeel is dat je voor een LNG-



Logo van het Green Award certificaat

motor wel een veel grotere grotere tank nodig hebt, hierdoor is er minder ruimte voor de goederen. De kosten voor transport gaan omhoog en dus wordt je pakketje uit China duurder. Vinden mensen dan nog steeds het milieu belangrijker dan de milieuvervuiling?

Om dit te ondervangen geven de havens van Rotterdam en Amsterdam duurzamere schepen korting op het havengeld. Daarnaast kunnen zeeschepen kans maken op de “Green Award certificaat” voor milieu, bemanning en management dat wordt uitgereikt door het onafhankelijk bureau Green Award Foundation. Hiermee krijgen ze ook een korting van 10% op het havengeld. Voor schepen met een lage stikstof-uitstoot wordt de korting zelfs verdubbeld. Door deze beloning hopen havenbedrijven de verduurzaming van de scheepvaart te stimuleren.

Het proces van verduurzaming begint natuurlijk al bij het transport van de goederen naar de haven toe. Voorheen werd 65% van alle containers met vrachtwagens vervoerd. Door nieuwe havenregels mag dit momenteel nog maar 35% zijn. Dit is al bijna een halvering. De rest van het transport moest op een andere manier gedaan worden, bijvoorbeeld per trein of binnenvaartschip. Dit soort maatregelen heeft al een enorme bijdrage geleverd aan de verduurzaming.

Binnenvaartschepen stoten wel meer uit dan een vrachtwagen maar er kunnen wel 500 containers op zo'n schip, zo is 1 binnenvaartschip uiteindelijk duurzamer dan 500 vrachtwagens. Op deze manier wordt niet alleen het containerschip zelf verduurzaamd maar ook het achterlandtransport en dat is een hele grote verandering in de goede richting.



Container transport via vrachtwagens

HOOFDSTUK 2

DE IDEEËN OP EEN RIJ

2.1 ZONNEPANELEN

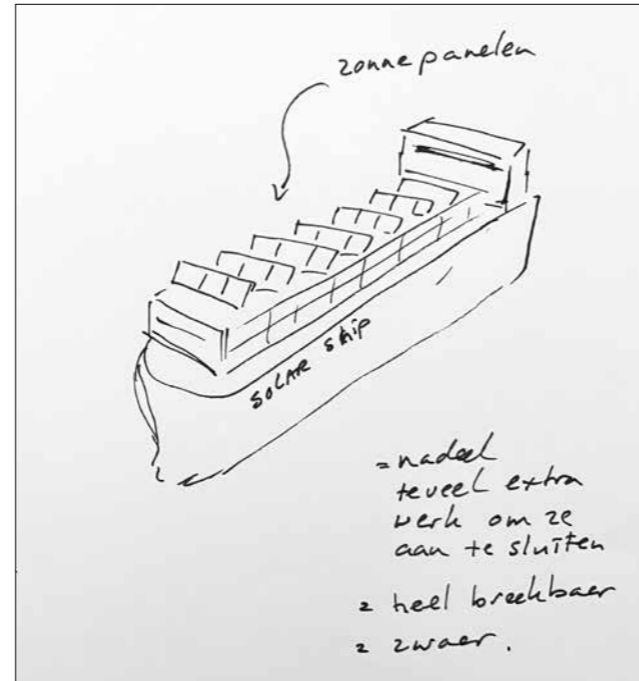
Ons eerste idee was gebaseerd op zonnepanelen. We hadden een constructie bedacht zodat er zonnepanelen op de bovenste rij containers geplaatst kunnen worden (zie schets hiernaast).

Voor- en nadelen

De voordelen zijn dat het relatief weinig ruimte in beslag neemt en je kunt net zoveel vracht meenemen. Daarnaast heb je een groot oppervlak, dus er kan veel energie opgewekt worden die gelijk gebruikt kan worden voor de motor;

Maar er zijn natuurlijk ook nadelen te benoemen, zo is er niet altijd zon op zee en zijn de zonnepanelen onpraktisch door hun kwetsbaarheid bij het laden en lossen. Daarbij is er veel tijd nodig om alle panelen te plaatsen en te verwijderen in de havens.

Meneer Verschuure was het eens met onze feedback. Ook hij was van mening dat zonnepanelen onhandig zijn voor laden en lossen. Aangezien de zonnepanelen erg kwetsbaar zijn en het havenpersoneel niet zuinig omgaat met materiaal, zou dat geen goede optie zijn. De zonnepanelen zouden in principe wel genoeg energie kunnen opwekken, maar de energie kan niet worden opgeslagen, omdat er nog geen accu bestaat die groot genoeg is voor een vrachtschip.



Onze schets van idee met zonnepanelen



Voorbeeld van zonnepanelen op de voorkant
(Bron: Solar Magazine - Wattlab en Blommaert)

2.2 WINDMOLENS

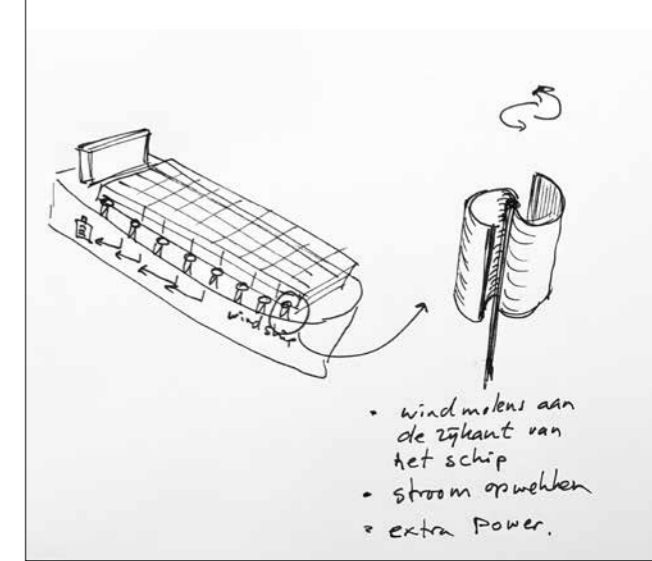
Het tweede idee was een idee met windmolens. Er zouden kleine windmolentjes rondom het schip worden geïnstalleerd. De palen van de windmolentjes zijn inklapbaar waardoor ze niet in de weg zouden zitten tijdens het laden en lossen. De wind wordt omgezet in elektriciteit die wordt opgeslagen in accu's of gelijk wordt gebruikt voor de motor. Ook bij dit idee zijn er een paar voor- en nadelen (zie schets hiernaast).

Voor- en nadelen

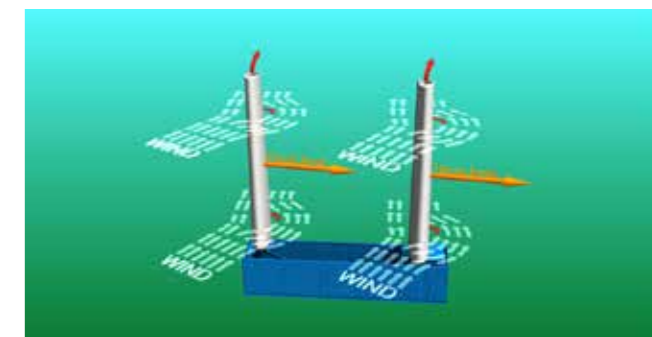
De voordelen zijn dat het systeem niet in de weg zit bij het laden en lossen van de vracht. Het zit ook niet in het gezichtsveld van de kapitein en het waait bijna altijd op zee. Hierdoor kan het schip zelfs energie opwekken als het in de haven ligt.

Er is één groot nadeel voor dit idee, door de palen met daarop de wieken ontstaat er meer weerstand waardoor er meer motorkracht geleverd moet worden. Het voordeel wordt dus tenietgedaan doordat er ook meer brandstof nodig is.

Ook bij dit concept is de niet bestaande accu het probleem, de energie kan niet worden opgeslagen. Over het algemeen vinden wij het nog steeds een goed idee, maar het kan het op dit moment nog niet goed genoeg worden uitgewerkt.

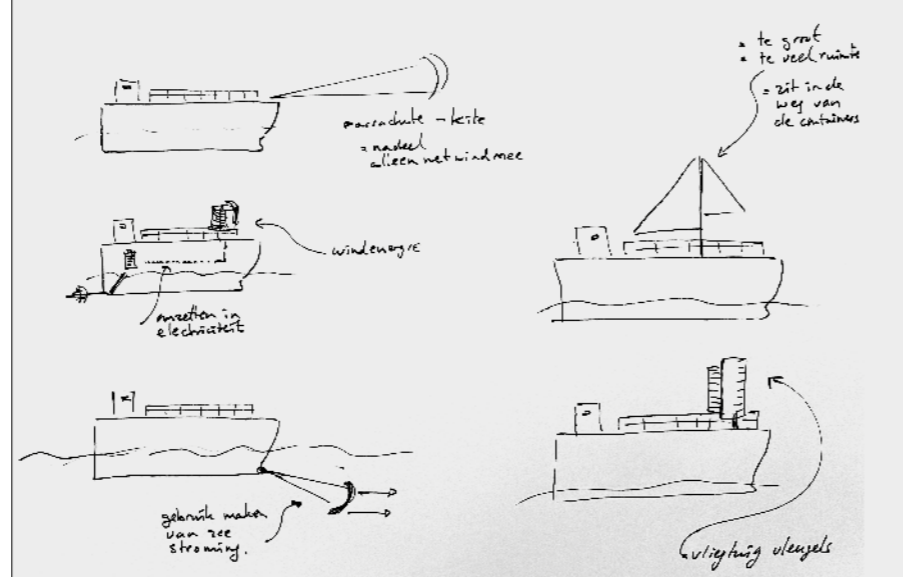


Onze schets van idee met windmolens



Voorbeelden van 'windmolens' op een schip

HOOFDSTUK 3 SOORTEN ZEILEN



2.3 ZEILEN

Als laatste het idee hadden we de inzet van zeilen onderzocht. Dit gebeurt dit al jaren alleen zie je het niet bij vrachtschepen (zie schets hierboven).

Het idee is dat de palen met daarin de zeilen aan de beide kanten van de containers worden geplaatst. De masten zijn draaibaar en het zeil is inklapbaar. De palen worden aan de zijkant van het schip bevestigd zodat het geen ruimte inneemt voor de vracht. Eventueel zouden de zeilen van flexibele zonnepanelen gemaakt kunnen worden waardoor het een dubbele werking heeft.

Voor- en nadelen

Ook bij zeilen zijn er voor- en nadelen deze behandelen we verder op. Het zou erg effectief zijn als de zeilen een dubbele werking kunnen hebben waardoor de zeilen ook ingezet kunnen worden als het niet waait maar de zon wel schijnt.

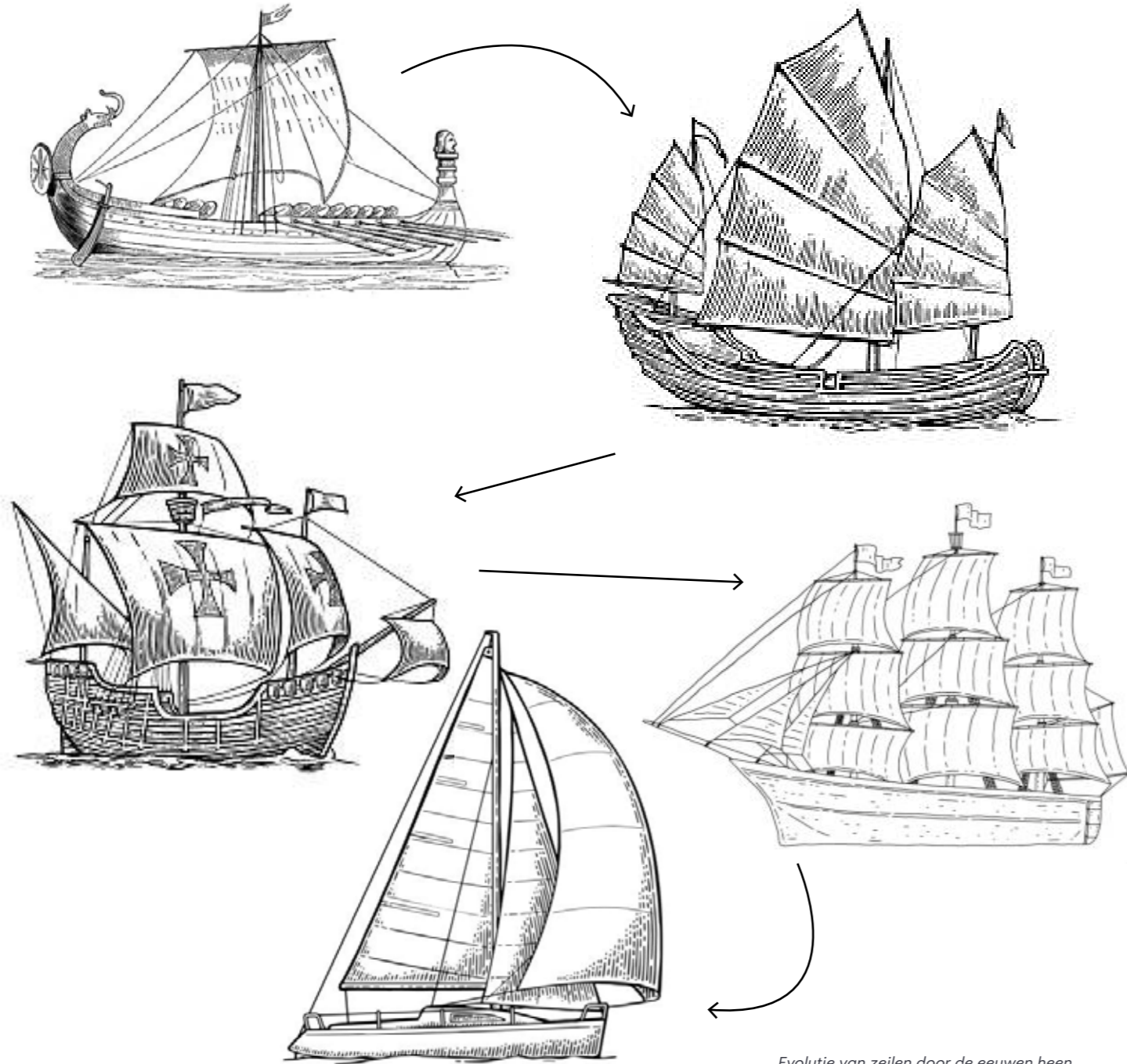
Meneer Verschuure was direct enthousiast over dit idee dus zijn we dit verder gaan onderzoeken. Hij gaf wat punten mee die we hebben uitgezocht en verwerkt in het document. Bijvoorbeeld de windrichtingen, materialen, constructie en hoeveel ruimteverlies er ontstaat op het gebied van de vracht.

Onze schets van idee met zeilen



Een groot zeil voorop een schip

ONTWIKKELING VAN ZEILSCHEPEN



Evolutie van zeilen door de eeuwen heen

Vroeger kende men nog geen motoren om boten te laten varen. Heel vroeg kende men alleen roeiriemen, later zijn daar zeilen aan toegevoegd. Het eerste zeilschip werd in 4.000 voor Christus ontwikkeld door de Egyptenaren, dit was een klein bootje met één zeil. Deze boten voeren alleen op de rivier de Nijl. Na deze uitvinding hadden de Feniciërs de 'galei' ontwikkeld. Dit schip had zowel roeiriemen als een zeil. Hierdoor kon dit schip wel op de Middellandse Zee varen. De Egyptenaren wouden dit ook en gingen steeds grotere schepen bouwen. De schepen werden steeds stabiel, sterker en lichter. Hierdoor konden de zeilen ook steeds groter worden. In de tijd van de ontdekkingsreizigers ging men steeds verder varen. Amerika en Azië werden ontdekt en hierdoor ontstond de behoefte om producten mee terug te nemen. De VOC ontstond en daarmee ook de wereldwijde handel in goederen over onze oceanen. De vrachtschepen van tegenwoordig zijn niet te vergelijken met waar men toen mee voer, maar wat overeenkomt is dat een vrachtschip nog steeds door wind vooruit wordt geduwd.

Op vrachtschepen die nu over oceanen varen kunnen geen zeilen worden bevestigd zoals ze dat vroeger deden. De masten nemen te veel ruimte in beslag voor vracht en staan in de weg bij het laden en lossen, ook is het materiaal niet sterk genoeg om langer dan ongeveer een jaar mee te gaan. Toch zijn er bedrijven die ideeën bedacht hebben om vrachtschepen weer van zeilen te voorzien. Een idee is om door middel van vliegtuigvleugels (oude windmolen vleugels) de wind te gebruiken. Uniek hierbij is dat het er

niet om gaat dat er 'wind in de zeilen komt', maar door de zuigende werking van de wind rondom de vleugels ontstaat voortstuwing. In een later hoofdstuk wordt dit beter uitgelegd.

Een groot vrachtschip zal nooit honderd procent op windenergie kunnen varen, daarvoor zijn de schepen te zwaar. Maar de zeilen zorgen wel voor een duwtje in de rug waardoor de motor een stuk minder hoeft te werken en je brandstof bespaard. Er is een schip ontwikkeld door het bedrijf Neptune Marine, die afgelopen jaar het 'Ship of the Year' award heeft gewonnen. Dit bedrijf heeft zeilen ontwikkeld die los van elkaar bewegen waardoor het schip op de oceanen haar motor helemaal kan uitzetten en honderd procent op windenergie vaart. De motor wordt enkel nog gebruikt om de haven in en uit te varen. Deze schepen worden vooral gebruikt voor vracht die geen snelheid of houdbare producten heeft. Het wordt dan ook niet gebruikt voor containerschepen.

HOOFDSTUK 4: HOE WERKEN DE ZEILEN OP EEN VRACHTSCHIP?

WEGWERKEN VAN ZEILEN OP EEN SCHIP

Er zijn een aantal manieren om zeilen weg te werken op een vrachtschip, zodat ze niet in de weg zitten bij laden en lossen in de haven.

Er zijn zeilen die boven op een soort container staan en er in geklapt kunnen worden als ze niet gebruikt worden. Dit is een concept en is verder nog nooit uitgevoerd (afb. A).

Of de zeilen staan tussen de containers en kunnen ook inklappen (afb. B).

Een ander concept is het naar achter klappen van de zeilen aan de zijkanten van het schip, zo vormen ze geen obstakel zijn (afb. C).

Een voorbeeld wat al getest is is WindWings, metalen masten met een vleugelprofiel, of een soort solide 'zeilen', die per windrichting anders gepositioneerd kunnen worden. Elke WindWing is twintig meter breed en bijna veertig meter hoog. De totale oppervlakte van de vier vleugels is ruim drieduizend vierkante meter. Volgens de schattingen van het bedrijf kunnen de vleugels tot 20% brandstof besparen. Op een lange oversteek zou dit gemiddeld 19,5 ton CO₂ per dag schelen (zeilen.nl).



A. Concept ontwerp van zeilen op en in een container door Econowind



B. Frans Chinees concept ontwerp van zeilen tussen container, Tradewings



C. 300 meter lange bulkcarrier Berge Olympus uitgerust met vier WindWings

Voordat we kunnen kijken hoe de zeilen werken op een vrachtschip moeten we eerst kijken naar de werking van zeilen in het algemeen.

Zoals eerder genoemd werden zeilen vroeger gebruikt om een schip voort te sturen. De wind werd gevangen in het zeil waardoor het schip voortbewoog. Dit kon alleen maar 'voor de wind' dus als de wind van achter kwam. In alle andere gevallen werd er geroeid.

Later ontdekte men dat dat een zeil veel effectiever was wanneer er een kromming in zat, zo ontstond het vleugelprofiel. Het vleugelprofiel houdt in dat het zeil aan de ene kant bol is en aan de andere kant plat. De voorkant van het zeil is afgerond waardoor de wind er gemakkelijker doorheen komt en dus het zeil omhelst. De wind wordt dan gebroken en moet eromheen. De wind die aan de bolle kant is geëindigd moet evenwijdig zijn aan de wind bij de platte kant van het zeil. De afstand tussen beide kanten is dan wel verschillend omdat de wind aan de bolle kant een langere weg aflegt. Omdat de luchtdeeltjes evenwijdig moeten zijn bewegen de deeltjes aan de bolle kant sneller waardoor ze tegelijkertijd weer bij elkaar komen met de luchtdeeltjes onderaan de vleugel.

Dit heet de wet van Bernoulli (afb.1). *(De wet van Bernoulli is een natuurkundige wet die het stromingsgedrag van vloeistoffen en gassen beschrijft en de drukveranderingen aan hoogte- en snelheidsveranderingen relateert. Het is een wet uit de aero- en hydrodynamica, die in de achttiende*

eeuw werd beschreven door Daniel Bernoulli (1700-1782 - www.sailsupply.nl).

HOE KAN EEN ZEIL EEN BOOT VOORTSTUWEN?

De luchtdeeltjes komen alleen gemakkelijk bij elkaar wanneer de hoek van het zeil groot is. Dus hoe kleiner de hoek, hoe meer voortstuwende kracht. De kracht ontstaat niet, zoals de meeste mensen denken, door de wind zelf maar door het vacuüm die gecreëerd wordt aan het eind van het zeil. Als het zeil een scherpe hoek maakt worden de lucht deeltjes aan de bolle kant eerder naar de zijkant geduwd dan de deeltjes aan de platte kant. Omdat de luchtdeeltjes aan de platte kant nog steeds evenwijdig zijn aan de deeltjes aan de bolle kant blijven ze de weg afleggen totdat ze aan het einde zijn. Daar gaan deze deeltjes ook weer omhoog, maar doordat de deeltjes van de bolle kant eerder naar de zijkant zijn gegaan door de scherpe hoek kunnen de deeltjes van de platte kant niet gelijk bij hun aansluiten. Er is dan sprake van vacuüm, oftewel een lift (afb. 2). Dit houdt in dat er aan de bolle kant van het zeil geen lucht is waardoor het dus een zuigende werking heeft, en het schip wordt voortgeduwd.

Met deze kennis hebben we gekeken naar het type zeil voor op een vrachtschip. Op dit moment zijn er twee soorten zeilen op de markt voor vrachtschepen.

Er is een zeil dat meer lijkt op een vliegtuigvleugel dan een echt zeil maar dezelfde werking heeft, er wordt aan de

achterkant van de vleugel vacuüm gecreëerd waardoor het schip dus wordt voortgeduwd. Deze zeilen zijn gemaakt van een vast materiaal en zijn niet flexibel, ook kunnen ze niet meebewegen met de wind waardoor ze niet altijd even nuttig zijn op het water. Wel kunnen ze inklappen waardoor het geen weerstand ontstaat als er wind tegen is.

Een andere manier is minder traditioneel en kan eigenlijk geen zeil genoemd worden. Het zijn meer een soort windturbines, lange ronddraaiende palen die windenergie kunnen omzetten in elektrische energie (afb. 3). Deze palen draaien met de windrichting mee en blijven ronddraaien doordat er windbreking ontstaat en er vacuüm wordt gecreëerd. Door het ronddraaien kan er energie worden opgewekt voor het schip zodat er minder brandstof nodig is. Ook deze zijn inklapbaar wat nuttig is bij het laden en lossen.

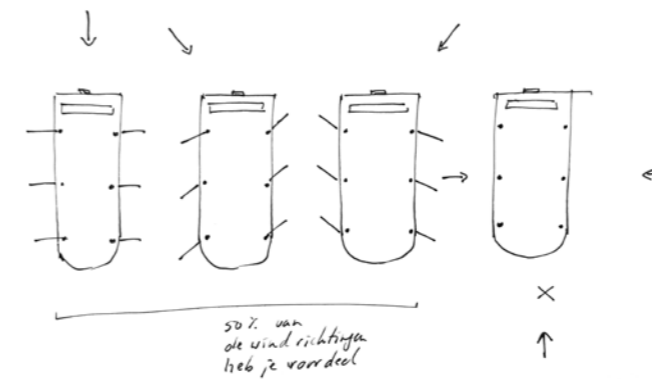
Deze twee voorbeelden zijn al op de markt. Op basis hiervan hebben wij een nieuw soort zeil ontwikkeld. Een vrachtschip is een enorm zwaar object dat niet zomaar kan worden voortgestuwd door een stukje stof. Door flexibele zeilen ontstaan er echter veel meer mogelijkheden. Zo kunnen deze zeilen meedraaien met de windrichting en kunnen we de zeilen te laten inklappen bij tegenwind, zware storm of tijdens het laden en lossen in de haven. De masten en zeilen moeten van een erg stevig materiaal gemaakt moeten worden om tegen extreme omstandigheden te kunnen. Omdat de kracht per mast en zeil enorm kunnen

zijn willen wij juist meerdere kleine zeilen plaatsen. Deze kunnen onafhankelijk van elkaar worden bediend. De inzet is niet om geheel op wind te kunnen zeilen, maar wel om minder brandstof te gebruiken.

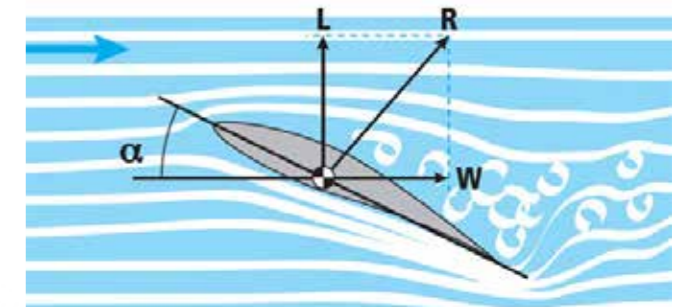
DE WIND

Nu is de vraag hoeveel procent van de wind kunnen de zeilen vangen en hoe duurzaam is dat eigenlijk? De zeilen zijn niet hoger dan de containers, dat betekent dat ze niet 360 graden kunnen draaien en dus niet alle wind kunnen vangen. Wanneer er wind van voren komt of van de zijkant hebben de zeilen geen positieve werking, dat is bij 50% van de wind het geval (afb. 3). De andere 50% van de windrichtingen kan wel gebruikt worden. Hoe duurzaam het precies is en hoeveel procent minder brandstof er wordt gebruikt hebben we niet kunnen uitrekenen. Maar het heeft wel degelijk invloed op het verduurzamen. Wanneer er veel wind van achter is maakt het schip geen gebruik van de motor. Wanneer er dan een hevige storm is of harde tegenwind worden de zeilen ingeklapt en moet het schip de motor gebruiken. Het hangt van de weersomstandigheden af hoe duurzaam het gebruik van zeilen is.

Wind verplaatst zich doordat warme lucht vanuit de aarde stijgt, wat resulteert in de vorming van hogedruk- en lagedrukgebieden. De lucht uit de hogedrukgebieden beweegt naar de lagedrukgebieden, die zich op twee plaatsen bevinden: de noordpool en de zuidpool (afb.5). Vanwege de draaiing van de aarde beweegt deze wind niet

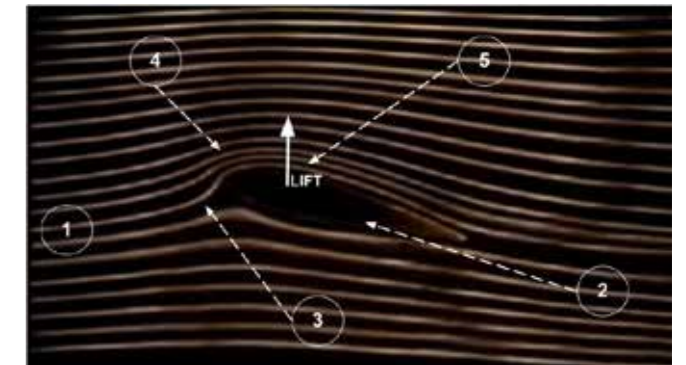


Afbeelding 4: Werking van de wind (bovenaanzicht)

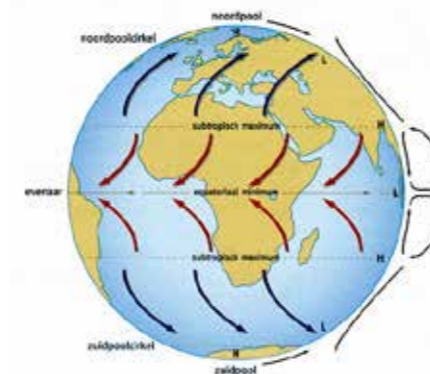


Afbeelding 1: Wet van Bernoulli

in een rechte lijn, maar juist in een gebogen pad. Hierdoor ontstaan in de lagedrukgebieden draaikolken die de wind verder laten draaien. Op het noordelijk halfrond draaien deze draaikolken tegen de klok in, terwijl dit op het zuidelijk halfrond juist omgekeerd is. Dit fenomeen staat bekend als passaatwind. Neem bijvoorbeeld de route van de haven van Rotterdam naar de Haven van Shanghai. Op de heenweg is merkbaar dat er weinig wind gunstig is en er voornamelijk tegenwind is, waardoor de zeilen nauwelijks gebruikt kunnen worden. Echter, op de terugweg is het anders. Op de afbeelding is te zien dat de windrichting van Shanghai naar Rotterdam samenvalt met de beweging van het schip. Hierdoor kunnen de zeilen optimaal benut worden, wat mogelijk resulteert in aanzienlijke brandstofbesparingen.



Afbeelding 2: Uitleg van de werking van de 'lift' van een zeilboot



Afbeelding 5: schematische weergave windrichtingen



Afbeelding 3: concept windturbinezeilen Econowind

HOOFDSTUK 5: LADEN EN LOSSEN



Laden en lossen is een belangrijk onderdeel bij de logistiek van vracht. Maar hoe gaat het in z'n werk? Voor het lossen van vracht staan containerkranen in de haven die de vracht van een schip afhalen. Vervolgens wordt de vracht op elkaar gestapeld en later bijvoorbeeld per vrachtwagen verder over land vervoerd. Bij het laden van vracht wordt hetzelfde gedaan maar dan in omgekeerde volgorde.

De kranen die de vracht laden en lossen hebben ruimte nodig, hierdoor is het onmogelijk om zeilen midden op een schip te plaatsen. Op een gemiddeld vrachtschip passen ongeveer 20.000 containers, dus je hebt alle ruimte nodig. Er zijn al schepen met zeilen, maar die worden niet gebruikt voor vracht en worden ook niet geladen met containers maar met vracht binnen in het schip.

Bij het concept van onze zeilen klappen met giek en al in de mast. Nadat het gehele doek in de mast is gerold schuift de mast benedendeks. Hierdoor zijn ze bijna niet meer zichtbaar en zijn het geen obstakels voor het laden en lossen van vracht. De masten komen naast de containers te staan zodat ze geen onnodige ruimte innemen en alle 20.000 containers op het schip passen. Hierover meer in hoofdstuk 7.

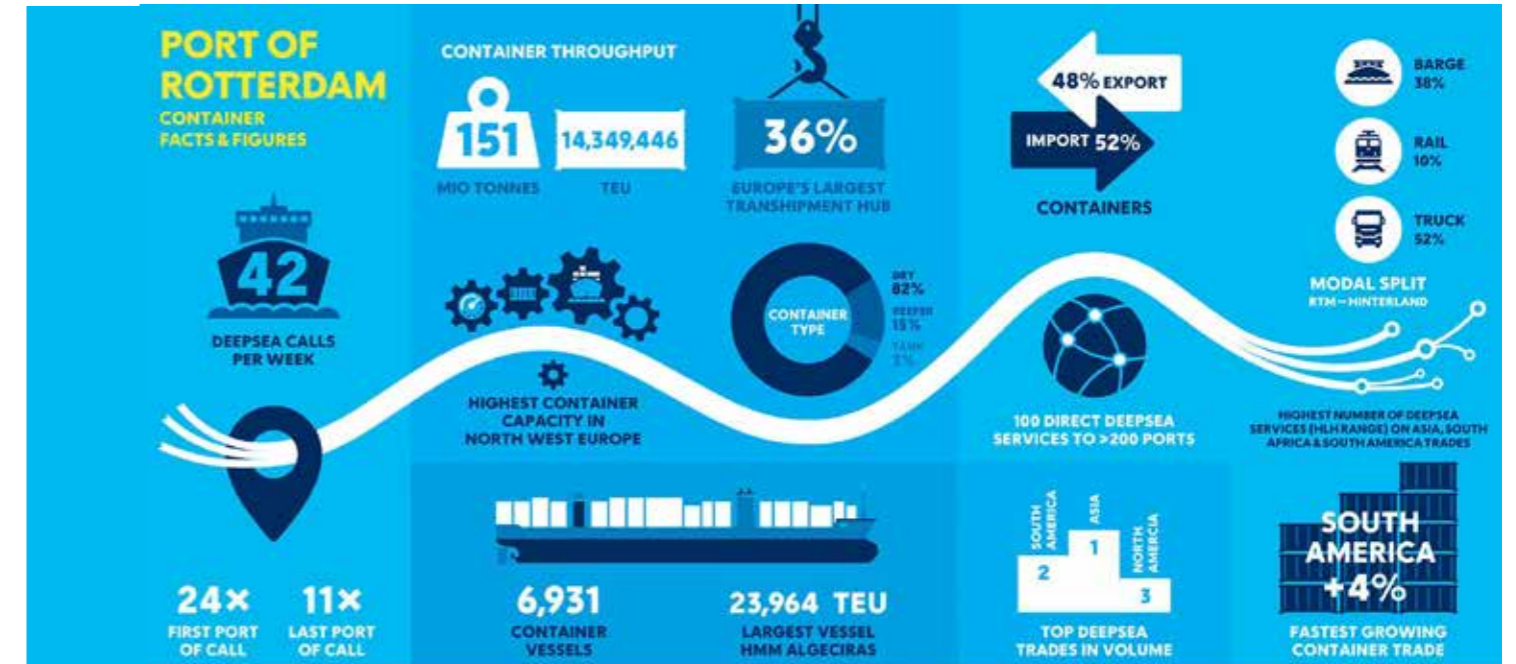
HOOFDSTUK 6: BEZOEK AAN ROTTERDAM

De Rotterdamse haven is de grootste haven en industriecomplex van Europa, de haven is wel 12600 hectare groot. Tussen 1960 en 2002 was de haven van Rotterdam zelfs de grootste haven ter wereld, helaas is die positie nu overgenomen door Shanghai. De haven van Rotterdam heeft veel profijt van de gunstige ligging aan de rivier de Rijn, die voor een goede verbinding met het Europese achterland zorgt.

De haven van Rotterdam heeft een grote rol op het gebied van overslag van containers en massagoederen, dat wordt ook wel 'bulkoverslag' genoemd, het gaat dan om de overslag van producten zoals aardolie, kolen, chemicaliën en ertsen. De beheerder van de haven is het 'havenbedrijf Rotterdam'. Dit bedrijf heeft de gemeente Rotterdam en de Nederlandse Staat als aandeelhouder, het verhuurt bedrijfsterreinen in de Rotterdamse haven en heeft als taak om het scheepvaartverkeer efficiënt en veilig te houden. Het bedrijf zorgt ook voor de infrastructuur van waterwegen, verkeerswegen en kades. De Rotterdamse haven is 24/7 bereikbaar door de ongeëvenaarde diepgang, de brede havenbekkens, de minimale getijden en omdat de haven geen sluisen heeft.

De haven van Rotterdam kent ook veel toerisme. Toeristen komen vaak de havens bekijken en een rondvaarttour maken met de Spido. Veel bedrijven bieden rondleidingen en geven informatie over de haven. Tijdens de rondleidingen kun je goed zien hoe de containers van de schepen worden gehaald. De grootste containerschepen kunnen zo'n 24.000 containers per keer vervoeren. Het kost heel veel tijd om al die containers te laden en lossen, dat duurt gemiddeld wel 2 tot 4 dagen (*Container handling, storage and transshipment. (z.d.). Nautiek.nl -Scheepvaartboeken*).

Jaarlijks komen er ruim 2.000 containerschepen de Rotterdamse haven binnen, 60% van alle containers is afkomstig uit Azië (vooral China) Nadat het schip is aangemeerd bij de kade, tilt de containerkraan alle containers van het schip af, vervolgens gaan de containers naar een containerstack. Een computer stuurt de containers dan naar de juiste plek in de 'stack' daar blijven ze dan vaak een paar dagen liggen. In de tussentijd controleert de douane de inhoud van de containers, om te voorkomen dat er illegale goederen vervoerd worden. Daarna zijn de containers klaar voor de vervolgreis, de containers worden op een ander vervoermiddel geplaatst bijvoorbeeld een andere boot, een



Deze infographic gaat over de resultaten op belangrijke vaarroutes en verbindingen van en naar Rotterdam.

De haven van Rotterdam blijft de haven van de toekoms: snel, efficiënt en best verbonden. (Bron: Port of Rotterdam)



Voorbeeld van vouwbare containers van Holland Container Innovations (HCI)

trein, binnenvaartschip of een vrachtwagen. Als de inhoud is afgeleverd worden de lege containers naar een depot gebracht. Niet elke container gaat weer gevuld mee, 70% van de containers gaan leeg mee en worden later weer gevuld. De lege containers zijn natuurlijk zonde van het transport, omdat ze plek innemen die goed gebruikt kunnen worden. De laatste 20 jaar is men bezig om een vouwbare container te ontwikkelen, zodat er meer lege containers tegelijk vervoerd kunnen worden.

In Ahoy (Rotterdam) wordt elk jaar de Europort Beurs gehouden. Europort is een van de groot-

ste maritieme vakbeurzen ter wereld, op deze beurs kunnen professionals expertise opdoen en kennis maken met de nieuwste innovaties, technieken en producten op maritiem gebied. De Europort trekt elk jaar meer dan 25.000 bezoekers en 1.000 exposanten. Op de beurs staan er mensen die allemaal op verschillende vlakken kennis hebben over de scheepvaart, bijvoorbeeld over de verduurzaming van de scheepvaart, een bedrijf die scheepstoelen maakt, bedrijven die motoren voor schepen maken en bedrijven die zich bezighouden met de wind op zee.



EXCURSIE
EUROPORT AHOY



EXCURSIE
HAVEN ROTTERDAM



HOOFDSTUK 7

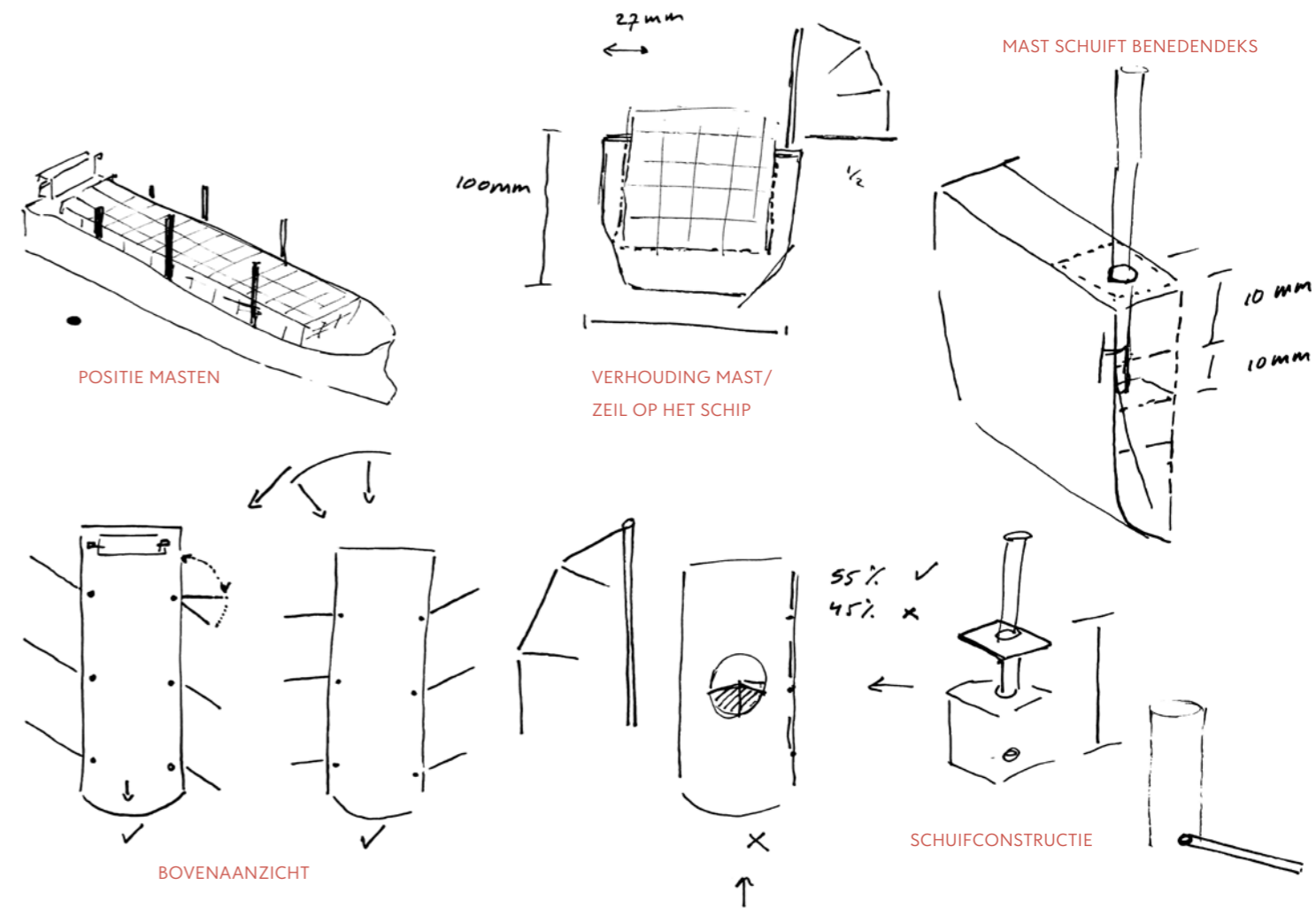
UITWERKING EN HET PROTOTYPE

Het prototype is een belangrijk onderdeel van dit onderzoek en na overleg met meneer Verschuure en meneer Brouwer werd besloten dat voor het technische deel een prototype gecreëerd moest worden van een vrachtschip met zeilen. Er zijn verschillende manieren om dit te realiseren, gelukkig heeft het Coornhert Lyceum vele machines die hierbij kunnen helpen. We hebben eerste gekeken naar een digital prototype die met behulp van een VR-Bril bekeken zo kunnen worden. Uiteindelijk hebben we gekozen voor de 3D-printer, aangezien dit de meest geschikte methode bleek te zijn om een nauwkeurig en gedetailleerd schip te produceren met gemakkelijk aanpasbare onderdelen voor de zeilen.

Het berekenen van proporties van het schip bleek uitdagender dan aanvankelijk gedacht, omdat we de verhoudingen goed willen hebben is hier veel tijd aan besteed. Het schip kan niet te klein zijn, aangezien het dan lastig is om de zeilen op schaal te maken, maar ook niet te groot gezien de beperking van de printer. Bovendien moest er rekening gehouden worden met de ruimte voor containers op het schip, en dit alles op schaal. Kort samengevat, het vereiste veel inspanning, maar na een middag van besprekingen en een second opinion van

meneer Brouwer, kwamen we tot een definitief ontwerp. Belangrijk hierbij was ook dat we veel gewicht hebben kunnen besparen bij het printen

Bij het ontwerpen is gebruik gemaakt van de website *Thingiverse* (*Thingiverse.com vandragon_de (2018, September 1)*). Verschillende vrachtschepen modellen werden grondig bestudeerd om het meest geschikte ontwerp te vinden dat zou passen bij het ontwerp van de zeilen. De zijkant van het schip moest breder gemaakt kunnen worden om de masten te kunnen monteren. Nadat een schip was geselecteerd, werd het ontwerp onder begeleiding van meneer Eenjes aangepast om ervoor te zorgen dat de proporties klopten en onze uitgetekende visie konden realiseren. Toen het printproces eenmaal begon, bleef het spannend vanwege de mogelijkheid van fouten tijdens het printen. De eerste poging faalde, maar kon gelukkig meteen opnieuw worden gestart. Na vier dagen printen was het schip voltooid. Daarna begon het verfijnproces, oneffenheden werden weggewerkt door de gaten op te vullen met de 3D-printer en de buitenkant glad te maken met schuurpapier. Ook werden uitstekende draadjes met een mesje verwijderd.



Schetsen van het ontwerp van de zeilen op het vrachtschip

BOUW PROCES VAN HET PROTOTYPE

De zeilen op een het schip spelen een zeer belangrijke rol. Zoals eerder genoemd is de plaatsing van de zeilen een cruciaal aspect waar rekening mee gehouden moet worden. Naast het praktisch deel moet er ook worden nagedacht over hoe ze op het prototype zouden worden weergegeven.

Zoals de zeilen getoond worden zie je de verschillende stappen die ze ondergaan zodra ze in gebruik worden genomen. De eerste zeilen zijn volledig uitgeklappt, zodat ze duidelijk zichtbaar zijn en een realistisch beeld geven van hoe ze eruit zouden zien op een echt schip. De tweede set zeilen is half ingeklapt om te laten zien dat ze inklapbaar zijn om de werking helder te presenteren. Het laatste paar zeilen is gepresenteerd om te tonen hoe de zeilen eruitzien in ingeklapte vorm, waarbij wordt benadrukt dat ze niet in de weg zouden staan bij het laden en lossen van de vracht. Naast de verkleinde versie is er ook een grote versie van de mast gemaakt om te visualiseren hoe het zeil in de mast wordt weggewerkt. Voor het zeil hebben we contact gezocht met een zeilmaker in de Waardepolder. Zij hebben ons geholpen met een zeildoek materiaal wat geen vocht kan opnemen en bestand is tegen zout water.

Een vrachtschip kan niet zonder containers. In eerste instantie werd overwogen om met behulp van de lasersnijder stukken uit te printen en deze vervolgens samen te voegen om kubussen te vormen. Echter, werd al snel duidelijk dat deze containers dan in verhouding te groot zouden worden. Het tweede idee was om met de 3D-printer individuele containers één voor één te produceren. Het nadeel hiervan was dat de 3D-printer er langer over doet en de kans op een fout veel groter is, waardoor het proces verder vertraagd zou worden.

Tot slot hebben we besloten om met de lasersnijder (zie afbeelding hiernaast) houten blokjes uit te snijden en ze vervolgens op elkaar te plakken. Dit idee werd als het meest geschikt beschouwd, aangezien het uitsnijden van de blokjes snel verliep en ze alleen nog maar aan elkaar gelijmd hoefden te worden. Tijdens het ontwerpproces werd gekeken naar de schaal van het schip om de dikte van de houten plaat te bepalen. Daarna begon het plakken. Er is veel tijd besteed aan het aan elkaar plakken van de houten plaatjes tot containers. Vervolgens werden de blokjes geverfd in verschillende kleuren zodat ze op echte containers begonnen te lijken.



3D printen romp gestart



Het schip is helemaal geprint



Containers op het schip geplaatst



Containers met laser uit hout gesneden

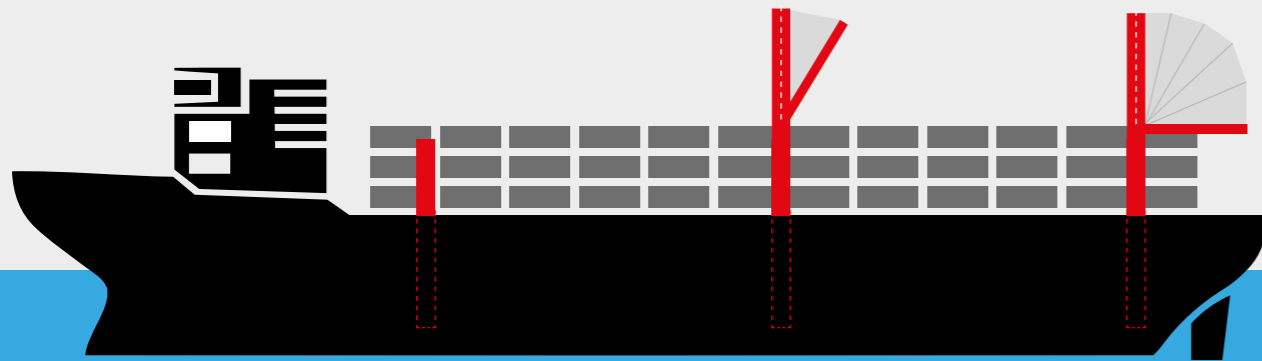


Containers in verschillende kleuren spuiten

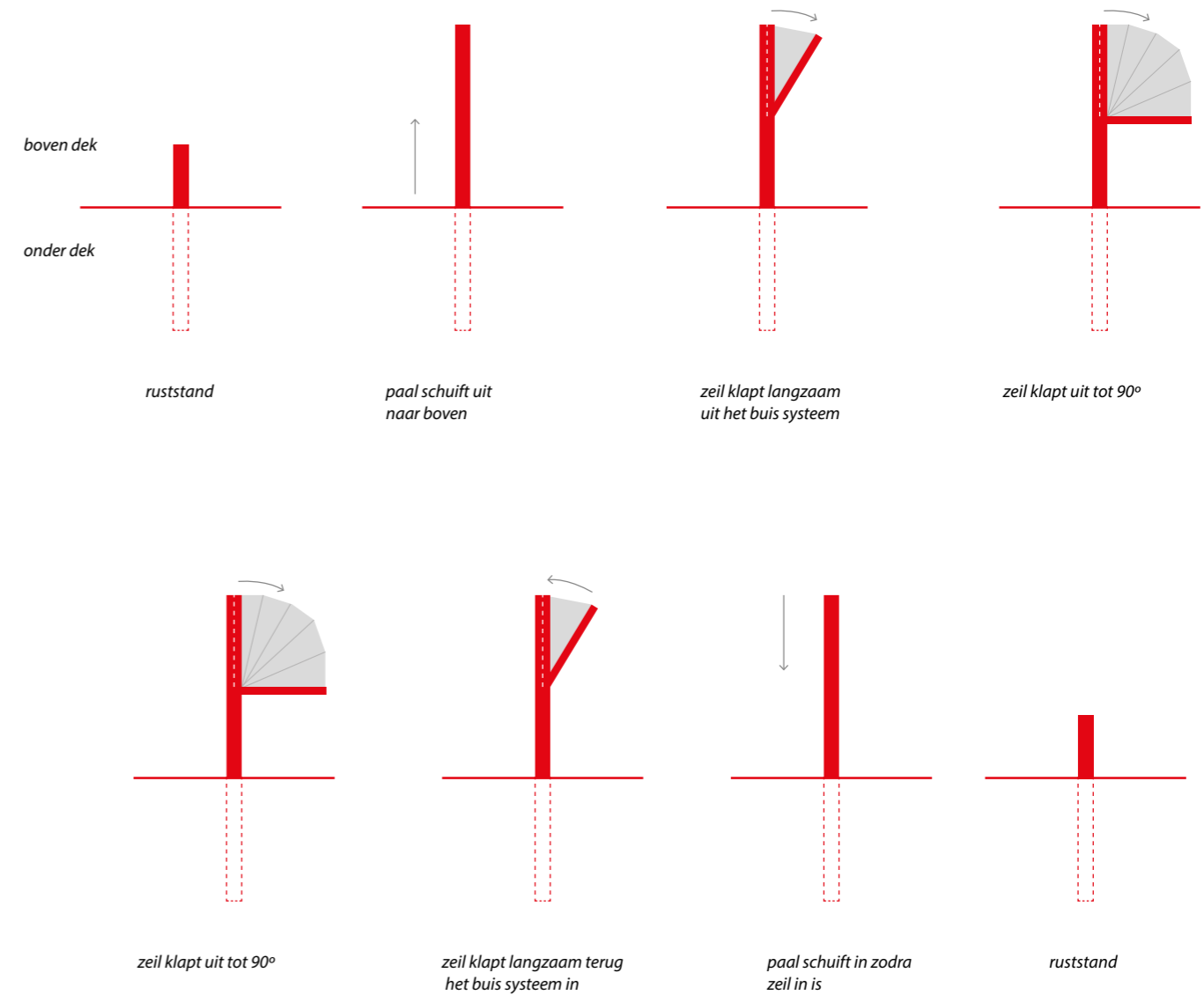


Blok verhoging van hout ter opvulling

WERKING VAN DE ZEILEN



Schets van de positie van de zeilen op het vrachtschip



Schematische weergave van de verschillende stappen die de zeilen ondergaan als je uit- en inklappen (zijaanzicht)

CONCLUSIE

‘Duurzaamheid in de vrachtscheepvaart’ was het uitgangspunt van dit onderzoek. Het broeikas effect dat de afgelopen jaren steeds meer toegenomen door de grote hoeveelheden uitstoot van milieuvriendelijke stoffen. Dit is een groot probleem voor onze wereld en onze toekomst. Om dit op te lossen moeten de grootste vervuilers aangepakt worden, de scheepvaart is daar een van. De schepen die dagelijks lange afstanden afrijzen stoten grote hoeveelheden SO_2 uit wat het broeikas effect versterkt en dus de opwarming van de aarde stimuleert. Om dit tegen te gaan is er een duurzaam alternatief bedacht die het gebruik van de grote hoeveelheden brandstof kan verminderen.

Hier is onderzoek naar gedaan om het meest praktisch en realistisch idee te bedenken. Er is gekeken naar toepassingen met zonnepanelen en windmolens om zo duurzaam mogelijk energie op te wekken, zodat er minder brandstof gebruikt hoeft te worden. Uiteindelijk is er gekozen om een soort zeilen voor vrachtschepen te ontwerpen. Deze zouden het schip voortduwen zodat de motor minder gebruikt hoeft te worden en dus ook het brandstofverbruik verlaagd kan worden. Dit idee was al op de markt maar met harde

zeilen. De soorten zeilen zijn verder onderzocht om het beste ontwerp voor onze zeilen te kiezen. Uiteindelijk hebben we bedacht om zachte zeilen te gebruiken. Dit is bedacht omdat de zeilen inklapbaar moesten zijn zodat ze in het schip geschoven konden worden en ruimte besparen voor de vracht. Daardoor moesten ze flexibel zijn om opgerold te kunnen worden. Ook werd er onderzocht hoe het laden en lossen werkt in de havens. Dit was nodig om te kijken of de zeilen onpraktisch zouden zijn voor de havens en dus ook onaantrekkelijk voor bedrijven om hun schepen te verduurzamen.

De werking van zeilen was ook een belangrijk aspect voor dit onderzoek. Om goede zeilen te maken moest er gekeken worden naar hoe de zeilen precies te werk gaan. De Wet van Bernoulli speelt daarbij een belangrijke rol. Door het vacuüm dat er ontstaat wanneer wind langs een zeil gaat wordt het schip voortgeduwd. Deze kennis is dan ook gebruikt bij het ontwerpproces van de zeilen.

Om een goed beeld te krijgen van alle informatie die we al hebben onderzocht zijn we ook naar meerdere keren naar Rotterdam geweest. De eerste keer zijn we naar Europoort gegaan, dat is een jaarlijkse beurs

DISCUSSIE

In dit verslag is onderzocht hoe de scheepvaart verduurzaamd kan worden door het gebruik van zeilen, dit kan op verschillende punten verbeterd worden.

Als eerst zouden zeilen van een kunststof materiaal niet sterk genoeg kunnen zijn als het te hard waait, het kan gebeuren dat de zeilen door de harde wind scheuren.

Daarnaast zouden de zeilen nooit de motor 100 procent over kunnen nemen. Het bespaart waarschijnlijk een deel van de brandstof, maar daarvoor zou verder onderzoek gedaan moeten worden. Wat tevens ook ons derde punt is.

De zeilen van het prototype zijn goed weg te werken, maar of dat ook daadwerkelijk zoveel meer wind op vangt valt ook nog te onderzoeken.

Tevens zou er nog een onderzoek gedaan kunnen worden naar de windstuwung. Dan kunnen we onderzoeken waar op de boot de zeilen het beste kunnen staan en waar ze dus het meeste wind vangen.

NAWOORD

Wij hebben van dit profielwerkstuk schrijven veel geleerd. We hebben niet alleen teksten geschreven, maar ook onderzoek gedaan, interviews afgenomen en tot slot een prototype van een containerschip gemaakt, waar veel technologie bij kwam kijken. We hebben veel geleerd over verduurzaming van schepen en hoe alles te werk gaat op zo'n schip. Ook hebben we twee excursies gedaan, waardoor we veel te weten zijn gekomen. Zo zijn wij naar de Rotterdamse haven gegaan en naar het evenement de Europort in Ahoy. Dit onderwerp is een goede keuze geweest, aangezien het heel actueel is.

Doordat we op school veel de tijd kregen om verder te gaan aan het werkstuk, hebben we veel met meneer Brouwer kunnen overleggen zodat hij precies wist waar wij mee bezig waren. Dat maakte bijvoorbeeld het ontwerpen van het prototype een stuk eenvoudiger.

Daarom willen wij ook als eerst **meneer Brouwer** bedanken voor het begeleiden en het meedenken over ons profielwerkstuk.

Wij willen in het bijzonder Johan Paul Verschuure bedanken voor het bedenken van deze opdracht en zijn tijd, hulp en medewerking voor ons profielwerkstuk.

Ook willen wij daarbij **meneer Eenjes** bedanken voor het helpen van het maken van ons prototype en het ondersteunen bij alle technische onderdelen.

Daarnaast bedanken we alle mensen van buitenaf die ons enorm hebben geholpen:

De mensen van **Futureland** bedanken voor het regelen van een interview en een rondvaart door de haven van Rotterdam.

Mevrouw **Matty van den Berg en Joella Lucas** voor de hulp bij Europort in Ahoy.

Ook **Louis Stolper** van KVNR voor de Teams-Call om op het laatst moment nog wat extra informatie te geven en mee te denken.

Als laatste willen we **Stefan van der Geer** van Gearmotion bedanken voor de hulp bij de animatie in onze presentatie.

“De hartstochten zijn de winden,
die de zeilen van het schip
doen bollen; zij doen het soms
vergaan maar zonder hen zou
het niet kunnen varen.”

_Voltaire, Frans schrijver en filosoof, 1694-1778



LITERATUURLIJST

- *Advisor and investor for the Future | Rebel.* (2023, 12 september). Rebelgroup - rebelgroup.com
- Ahoy, R. (z.d.). *Rotterdam Ahoy - unieke ervaringen.* Rotterdam Ahoy. www.ahoy.nl
- Belshof, B. (2022, 30 juli). Containerschip net zo vervuilend als tot wel 50 miljoen auto's. Moby. <https://yourmoby.nl/blog/containerschip-net-zo-vervuilend-als-tot-wel-50-miljoen-autos>
- Boer, M. (2022, 24 mei). *3 stappen naar duurzame scheepvaart* - GMS Instruments. GMS Instruments. gms-instruments.com/nlblog/3-stappen-naar-duurzame-scheepvaart
- *Container handling, storage and transshipment.* (z.d.). Nautiek.nl Scheepvaartboeken. nautiek.nl/nl/maritieme-opleiding-boeken/havens-en-logistiek-boeken/21322/container-handling-storage-and-transshipment?c=2577 (Boek)
- *Dichterbij de haven kun je niet komen.* (z.d.). Port of Rotterdam. www.portofrotterdam.com/nl/eropuit/futureland (Interview)
- *Europort 2023.* (z.d.). Port of Rotterdam. www.portofrotterdam.com/nl/evenementen/europort-2023 (interviews)
- Jochem. (2019, 22 november). *Hoe werkt een zeil op een zeilboot?* SailSupply blog. www.sailsupply.nl/blog/hoe-werkt-een-zeil-op-een-zeilboot/
- Ministerie van Algemene Zaken. (2021, 28 september). *Minder uitstoot door zeevaart. Scheepvaart en havens | Rijksoverheid.nl.* www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/scheepvaart-en-havens/verduurzaming-scheepvaart-en-havens/internationale-afspraken-over-duurzame-zeevaart/minder-uitstoot-door-zeevaart
- Ministerie van Algemene Zaken. (2024, 10 januari). *Informatie van de Rijksoverheid* - rijksoverheid.nl
- Natuurkunde.nl - *De wetten van de vliegekunst.* (z.d.). Stichting natuurkunde.nl. www.natuurkunde.nl/artikelen/1762/de-wetten-van-de-vliegekunst
- Schepen Volgen. (2023, 7 augustus). *Schepen volgen Haven Rotterdam | Schepen volgen | Wereldwijd schepen volgen via onze LIVE radar.* schepenvolgen.nl/havens/rotterdam/#google_vignette
- *TB241E - Fysische Transportverschijnselen.* (z.d.). eduweb.eeni.tbm.tudelft.nl/TB241E/?wet_van_Bernoulli
- Wet van Bernoulli - www.sailsupply.nl
- Wikipedia-bijdragers. (2023, 17 december). *Haven van Rotterdam.* Wikipedia. - nl.wikipedia.org/wiki/Haven_van_Rotterdam
- *Grootste 'zeilende' vrachtschip ooit maakt eerste tocht,* zeilen.nl <https://www.zeilen.nl/actueel/nieuws/grootste-zeilende-vrachtschip-ooit-maakt-eerste-tocht/>

"De opdracht is vol enthousiasme opgepakt door Tess, Milena en Masha. Naast de opdracht gingen ze ook op eigen initiatief naar de haven van Rotterdam en een haven conferentie wat die enthousiasme en proactiviteit onderstreept. In korte tijd hebben ze naar een concreet plan toegewerkt. Heel goed gedaan."

_Johan Paul Verschuure (onze opdrachtgever)