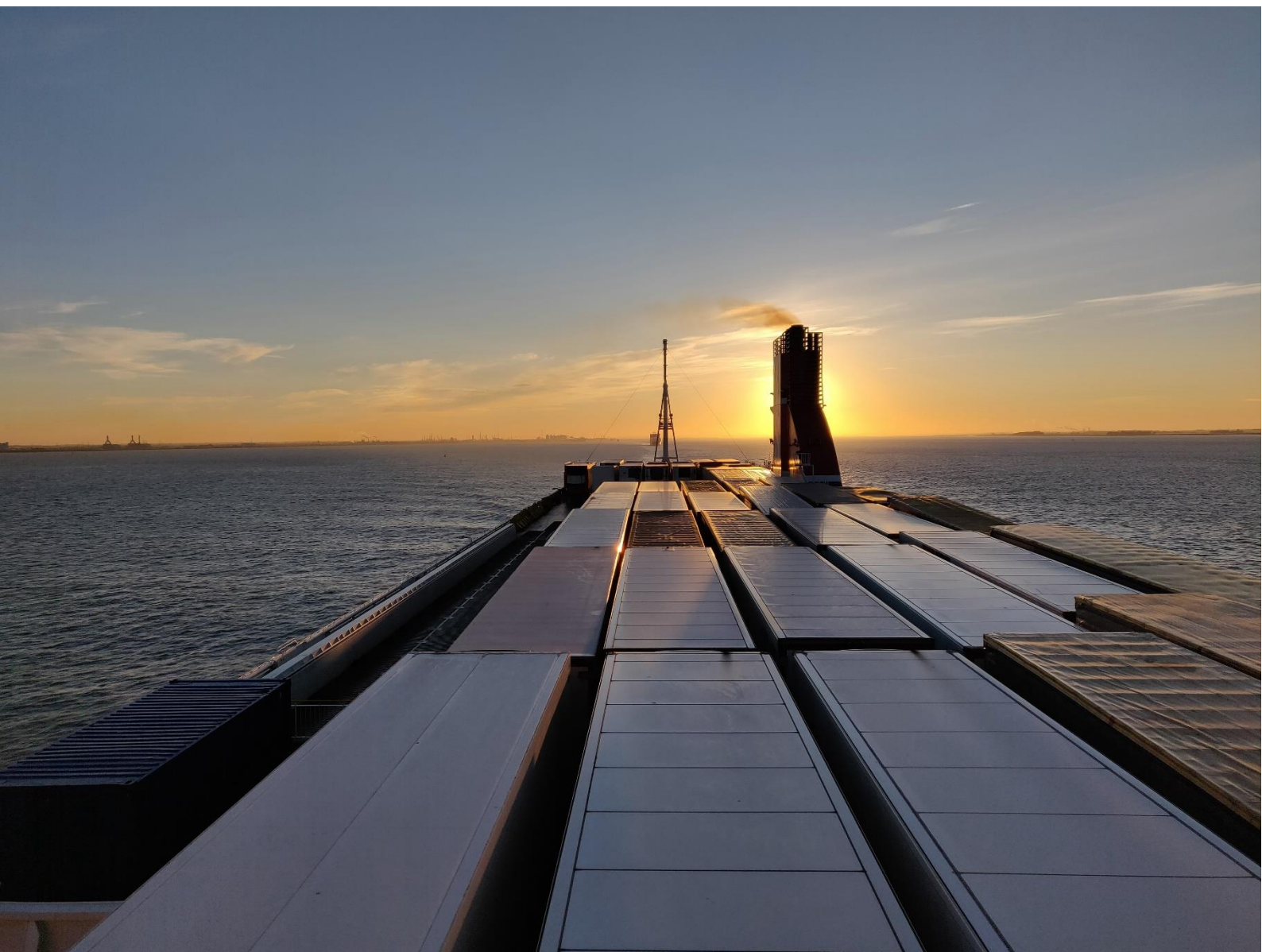


Reductie CO₂-uitstoot

Toepassing van de nieuwe EEXI- en CII-voorschriften

Onderzoeksrapport



Jacky Harthoorn

Hoek van Holland

Studie:
Instelling:
Begeleidend docent:
Datum:
Versie:

Maritiem Officier / technisch
HZ University of Applied Sciences
J.A. Ooms-de Waal
16 juni 2021
1.2

Reductie CO₂-uitstoot

Toepassing van de nieuwe EEXI- en CII-voorschriften

Onderzoeksrapport



Auteur:	Jacky Harthoorn
Begeleiding:	Stena Line BV / Dick van der Ent
Studie:	Maritiem Officier / technisch (HBM18, 2020-2021)
Instelling:	HZ University of Applied Sciences
Begeleidend docent:	J.A. Ooms-de Waal
Plaats van uitgave:	Hoek van Holland
Datum:	16 juni 2021
Versienummer:	1.2
Omslagfoto:	Jacky Harthoorn; Stena Transporter, 2 juli 2018

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport 'Reductie CO₂-uitstoot'. Het onderzoek naar de nieuwe/gewijzigde voorschriften in het Internationaal Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen (MARPOL) met betrekking tot de reductie van CO₂-uitstoot in de internationale scheepvaart. Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de studie Maritiem Officier (met technische specialisatie) aan de HZ University of Applied Sciences in Vlissingen en in opdracht van stagebedrijf Stena Line BV. Het onderzoek en het schrijven van het onderzoeksrapport heb ik van februari 2021 tot en met juni 2021 gedaan.

De probleemstelling voor dit onderzoek heb ik samen met mijn stagebegeleider van Stena Line, Dick van der Ent, bedacht. Met de naderende wijzigingen in het MARPOL waren wij benieuwd naar de gevolgen voor de schepen van het stagebedrijf Stena Line BV. Samen hebben we besloten dit onderzoek uit te voeren met behulp van het schip de Stena Transporter waar ik in 2018 een varende stage genoten heb. Voor het onderzoek heb ik mij veel ingelezen in de huidige en nieuwe wetgeving, dit was erg intensief. Daarnaast heb ik op het kantoor en op het schip veel data verzameld voor de verschillende berekeningen. Tijdens dit onderzoek stonden mijn stagebegeleider, zijn collega's op kantoor en de bemanning aan boord, altijd voor mij klaar. Zij hebben mij geholpen met het verduidelijken van de wetgeving, het verzamelen van de data en het beantwoorden van mijn vragen waardoor ik verder kon met mijn onderzoek.

Bij dezen wil ik graag Dick van der Ent bedanken voor de fijne begeleiding en ondersteuning zo vlak voor het ingaan van zijn pensioen. Ook wil ik de Stena Rederi AB collega's uit Zweden, de bemanning van de Stena Transporter, mijn begeleiders vanuit school en mijn technische klasgenoten bedanken voor de hulp tijdens dit traject. Zonder hun had ik dit onderzoek nooit kunnen voltooien.

Tevens wil ik mijn lieve vrienden graag bedanken voor de motivatie, steun en het geven van het juiste advies op het juiste moment. Het was niet altijd even makkelijk om gefocust te blijven door het vele typwerk en de pandemie. Maar dankzij mijn vrienden heb ik dit onderzoeksrapport kunnen schrijven en tot een goed einde weten te brengen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Jacky Harthoorn

Goes, 16 juni 2021

Samenvatting

In 2018 is door de International Maritime Organization (IMO) twee doelen opgenomen in het IMO Greenhouse Gas Strategy. Ten opzichte van 2008 moet in 2030 de koolstofintensiteit tot 40% gereduceerd zijn en in 2050 moet de totale uitstoot van broeikasgassen door de internationale scheepvaart gehalveerd zijn. Tijdens de 75^e sessie van het Marine Environment Protection Committee (MEPC) zijn de wijzigingen van het Internationaal Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen (MARPOL) Annex VI goedgekeurd. Hierin worden nieuwe voorschriften opgenomen die technische en operationele eisen stellen tot het reduceren van de CO₂-uitstoot van de internationale scheepvaart. In dit onderzoek wordt ingegaan op de vraag *'Welke verbeteringen kunnen er aan boord van de Stena Transporter toegepast worden om aan de nieuwe voorschriften van MARPOL Annex VI hoofdstuk 4 vanaf 2023 te voldoen?'.*

De Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) is de technische eis wat voor elk schip door middel van een berekening de verwachte prestatie op het gebied van energie-efficiënte weergeeft. Deze berekening is gebaseerd op de bestaande Energy Efficiency Design Index (EEDI). De bereikte EEXI-waarde moet voldoen aan de vereiste EEXI-waarde, in sommige gevallen moeten schepen een aanpassing ondergaan om de bereikte EEXI-waarde te verbeteren. Dit kan onder andere door het installeren van een Engine Power Limitation (EPL), wat ervoor zorgt dat het vastgesteld geïnstalleerd vermogen van de hoofdmotoren gelimiteerd wordt. Dit en andere verbeteringen zorgen voor een reductie in de CO₂-uitstoot van een schip en resulteren in een lagere bereikte EEXI-waarde zodat kan worden voldaan aan de vereiste EEXI-waarde.

De jaarlijkse operationele Carbon Intensity Indicator (CII) is de operationele eis van de IMO waardoor schepen verplicht worden de koolstofintensiteit te rapporteren op jaarbasis. Van 2023 tot en met 2030 zal de vereiste CII-waarde jaarlijks een percentage zakken om uiteindelijk de gestelde doelen in het IMO Greenhouse Gas Strategy te halen. Aan de koolstofintensiteit van schepen wordt een graad toegekend welke loopt van A tot en met E. Dit betekent respectievelijk een groot verbeterd tot en met een groot verslechterd prestatieniveau. De vereiste CII-waarde waaraan moet worden voldaan bevindt zich hierbij middenin koolstofintensiteitsgraad C.

Voor dit onderzoek zijn een viertal van de beste aanpassingen geselecteerd om te vergelijken welke het beste toepasbaar is voor de Stena Transporter. Naast de eerdergenoemde EPL is ook gekozen voor de alternatieve brandstoffen LNG en methanol met daarnaast de hybride voortstuwing. Met de theoretische toepassing van deze aanpassingen is duidelijk geworden waar de meeste CO₂-uitstoot reductie behaald kan worden middels de EEXI- en CII-berekeningen.

In dit onderzoek is berekend wat de bereikte EEXI- en CII-waarde van de Stena Transporter is onder de huidige omstandigheden. De resultaten hiervan zijn vergeleken met de resultaten wanneer de Stena Transporter een van de eerdergenoemde aanpassing zou ondergaan ter verbetering van de EEXI- en CII-waarden. Uit het onderzoek is gebleken dat de Stena Transporter voor zowel de bereikte EEXI als de CII-waarde voldoet aan de vereiste waarden gesteld in de nieuwe/aangepaste voorschriften van het *MARPOL Annex VI, hoofdstuk 4*. Hieruit kan geconcludeerd worden dat geen verbetering noodzakelijk is om te voldoen aan de nieuwe voorschriften. Het gebruik van methanol als brandstof resulteert in de meeste reductie van de CO₂-uitstoot en daarmee de EEXI- en CII-waarden.

Abstract

In 2018, the International Maritime Organization (IMO) introduced two goals with the IMO Greenhouse Gas Strategy. Compared to 2008, the carbon intensity must reduce by 40% by 2030, and by 2050 total greenhouse gas emissions from shipping must be halved. At the 75th session of the Marine Environment Protection Committee (MEPC) the amendments to MARPOL Annex VI were approved. Those include new regulations that set technical and operational requirements for reducing CO₂ emissions from international shipping. This research addresses the question '*Which improvements can be applied onboard the Stena Transporter to comply with the amendments to MARPOL Annex VI from 2023?*'.

The Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) is the technical measurement for each ship that indicates the expected performance in terms of energy efficiency by means of a calculation. This calculation is based on the Energy Efficiency Design Index. The attained EEXI value must meet the required EEXI value, in some cases, ships must undergo an adjustment to improve their attained EEXI value. This can be done, among other things, by installing an Engine Power Limitation (EPL), which ensures that the maximum continuous rating (MCR) of the main engines is limited. This and other improvements ensure a reduction in a ship's CO₂ emissions and result in a lower attained EEXI value.

The annual operational Carbon Intensity Indicator (CII) is the operational measurement from the IMO that requires ships to report the carbon intensity on an annual basis. From 2023 to 2030, the required CII value will decrease by a percentage annually to ultimately achieve the goals set in the IMO Greenhouse Gas Strategy. The carbon intensity of ships is rated from A to E, which respectively describes a superior to an inferior performance level. The required CII value is in the middle of carbon intensity rating C.

Four of the best improvements have been selected for this research to compare which is most suitable for the Stena Transporter. In addition to the mentioned EPL, the alternative fuels LNG and methanol have been chosen, as well as hybrid propulsion, which will all be compared.

In this study, the attained EEXI and CII value of the Stena Transporter was calculated under the current circumstances. The results of this have been compared with the results as if the Stena Transporter were to undergo an adjustment to improve the EEXI and CII values. The research has shown that the Stena Transporter for both the attained EEXI and the CII value complies with the required values set out in the new/amended regulations of MARPOL Annex VI, chapter 4. It can therefore be concluded that no improvement is necessary to comply with the new regulations. The use of methanol as fuel results in the most reduction of CO₂ emissions and therefore the lowest attained EEXI and CII values.

Begrippenlijst

CII	Carbon Intensity Indicator (Koolstofintensiteitsindicator)
CO ₂	Koolstofdioxide, een broeikasgas
CO ₂ e	Broeikasgassen, bestaande uit koolstofdioxide (CO ₂), methaan (CH ₄) en distikstofoxide (N ₂ O)
Dual-fuel	Techniek waarbij een motor op twee brandstoftypes kan functioneren
EEDI	Energy Efficiency Design Index (Ontwerpindex Energie-Efficiëntie)
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator (Operationele Index Energie-Efficiëntie)
EEXI	Energy Efficiency Existing Ship Index (Energie-Efficiëntie Index voor Bestaande Schepen)
gCO ₂ /t·nm	Eenheid voor koolstofintensiteit in gram CO ₂ per ton lading (t) een zeemijl (nm) vervoerd.
GHG	Greenhouse gas (Broeikasgassen)
IEEC	International Energy Efficiency Certificate (Internationaal Energie-Efficiëntie Certificaat)
IMO	International Maritime Organization (Internationale Maritieme Organisatie)
Koolstofintensiteit	De hoeveelheid CO ₂ -uitstoot per getransporteerd werk (gCO ₂ /t·nm)
LNG	Liquefied Natural Gas (Vloeibaar aardgas)
MARPOL	Internationaal Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen uit 1973
MCR	Maximum continuous rating (vastgesteld geïnstalleerd motorvermogen)
MEPC	Marine Environment Protection Committee (Mariene milieubeschermingscomité van de IMO)
Ro-ro schepen	Roll on roll off schepen, schepen met een helling voor rijdende lading
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan (Scheeps Energie-Efficiëntie ManagementPlan)

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
2.	Theoretisch kader	2
2.1	IMO Broeikasgassen-onderzoek 2020	2
2.2	MARPOL Annex VI, hoofdstuk 4	3
2.2.1	Huidige voorschriften	4
2.2.2	Voorstel nieuwe/aangepaste voorschriften.....	5
2.3	Toepassing op de Stena Transporter	8
2.4	Maatregelen voor de reductie van CO ₂ -uitstoot.....	9
2.4.1	Technische maatregelen.....	9
2.4.2	Operationele maatregelen.....	9
2.4.3	Alternatieve brandstoffen en energie	10
2.4.4	Maatregelen opgenomen in dit onderzoek	11
2.5	Conceptueel model.....	12
3.	Methode.....	13
4.	Resultaten.....	14
4.1	EEXI-formule en variabelen	14
4.2	CII-formule en variabelen.....	17
4.3	Vereiste EEXI-waarde.....	18
4.4	Vereiste CII-waarde	18
4.5	Resultaten bereikte EEXI- en CII-waarde.....	19
4.6	Analyse maatregelen resultaten.....	19
4.6.1	Engine Power Limitation (EPL)	20
4.6.2	LNG	20
4.6.3	Methanol.....	20
4.6.4	Hybride	20
4.6.5	Grafische weergave EEXI-resultaten	21
4.6.6	Grafische weergave CII-resultaten.....	21
5.	Discussie	22
6.	Conclusies en aanbevelingen	23
6.1	Aanbevelingen	24
	Literatuurlijst	25
	Bijlage 1: Voorbeeld Excel-sheet berekeningen	26
	Bijlage 2: Algemene scheepsgegevens Stena Transporter	27
	Bijlage 3: EEXI- en CII-berekening en resultaten	28
	Bijlage 4: Verloop koolstofintensiteitsgraad voor CII-waarden	29

1. Inleiding

De **aanleiding** voor dit onderzoek zijn wijzigingen (amendments) van het *Internationaal Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen uit 1973* (MARPOL) met betrekking tot het reduceren van de uitstoot van broeikasgassen in de scheepvaart. Deze wijzigingen verplichten schepen een technische en operationele aanpak te combineren om de uitstoot van koolstofdioxide (CO₂) te reduceren. Dit staat in lijn met de ambitie van de Internationale Maritieme Organisatie (IMO) met het doel de koolstofintensiteit tot 40% te reduceren in 2030 ten opzichte van 2008. Dit is in 2018 besloten in de IMO Greenhouse Gas Strategy naast het ambitieuze doel om de uitstoot van broeikasgassen in de scheepvaart te halveren in 2050 ten opzichte van 2008 (IMO, 2020).

De **doelstelling** van het onderzoek is het in beeld brengen van de mogelijke optie(s) ter verbetering van de technische installatie aan boord van de Stena Transporter, het te onderzoeken schip. Daarnaast is het duidelijk krijgen van de verplichtingen om te voldoen aan de aangepaste wetgeving van belang. Dit gebeurt aan de hand van de wijzigingen die de IMO besluit te maken in *MARPOL Annex VI, hoofdstuk 4* voor bestaande schepen. Hierdoor zal uiteindelijk het schip van Stena Line kunnen voldoen aan deze toekomstige wijzigingen en bijdragen aan een schoner milieu.

De **onderzoeksvraag** van dit onderzoek luidt: *Welke verbeteringen kunnen er aan boord van de Stena Transporter toegepast worden om aan de nieuwe voorschriften van MARPOL Annex VI hoofdstuk 4 vanaf 2023 te voldoen?*

Deze onderzoeksvraag is opgedeeld in de volgende **deelvragen**:

1. Wat houden de nieuwe voorschriften van *MARPOL Annex VI hoofdstuk 4* in?
2. Wat is de toepassing van deze voorschriften aan boord van de Stena Transporter?
3. Welke maatregelen zijn beschikbaar om te voldoen aan de nieuwe voorschriften?
4. Welke maatregel heeft de meeste potentie voor uitvoering en waarom?

De **onderzoeksmethode** is gebaseerd op gedeeltelijk kwantitatief- en kwalitatief onderzoek. Voor het verduidelijken van de wijzigingen van het MARPOL Annex VI conventie zijn alle feiten op een rij gezet door het doen van een kwalitatief onderzoek met behulp van onder andere de websites en documenten van de IMO en wetenschappelijke bronnen. In dit onderzoek is eerst gekeken naar de huidige omstandigheden van de Stena Transporter. Vervolgens is de toepassing van de wijzigingen in kaart gebracht voor het schip van Stena Line BV en de daarbij behorende gevolgen. Afsluitend is kwantitatief onderzoek gedaan naar de huidige omstandigheden en de verbeteringen die eventueel nodig zijn voor dit type schip waarbij duidelijk werd welke mogelijkheden er zijn om aan de toekomstige MARPOL Annex VI eisen te kunnen voldoen.

[Hoofdstuk 2](#) presenteert de achtergrond van het onderzoek, de relevante MARPOL-wetgeving, de toepassing van de wetgeving en de beschikbare maatregelen voor de reductie van CO₂-uitstoot. [Hoofdstuk 3](#) behandelt vervolgens de onderzoeksmethodologie. In [hoofdstuk 4](#) wordt ingegaan op de resultaten van het onderzoek waarna in [hoofdstuk 5](#) de discussie uiteen is gezet. Tot slot wordt op basis hiervan in [hoofdstuk 6](#) antwoord gegeven op de hoofdvraag en worden de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd. Bijgevoegd zijn de [literatuurlijst](#) en enkele bijlagen.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk is de achtergrond van het onderwerp verder toegelicht en worden relevante begrippen beschreven. Daarnaast is ook antwoord gegeven op een aantal deelvragen die nodig zijn om het antwoord te geven op de onderzoeksvraag. Het onderwerp is met behulp van relevante wetgeving, wetenschappelijke en niet-wetenschappelijke artikelen en onderzoeken toegelicht. Het theoretisch kader vormt hiermee een wetenschappelijke basis voor het onderzoek.

2.1 IMO Broeikasgassen-onderzoek 2020

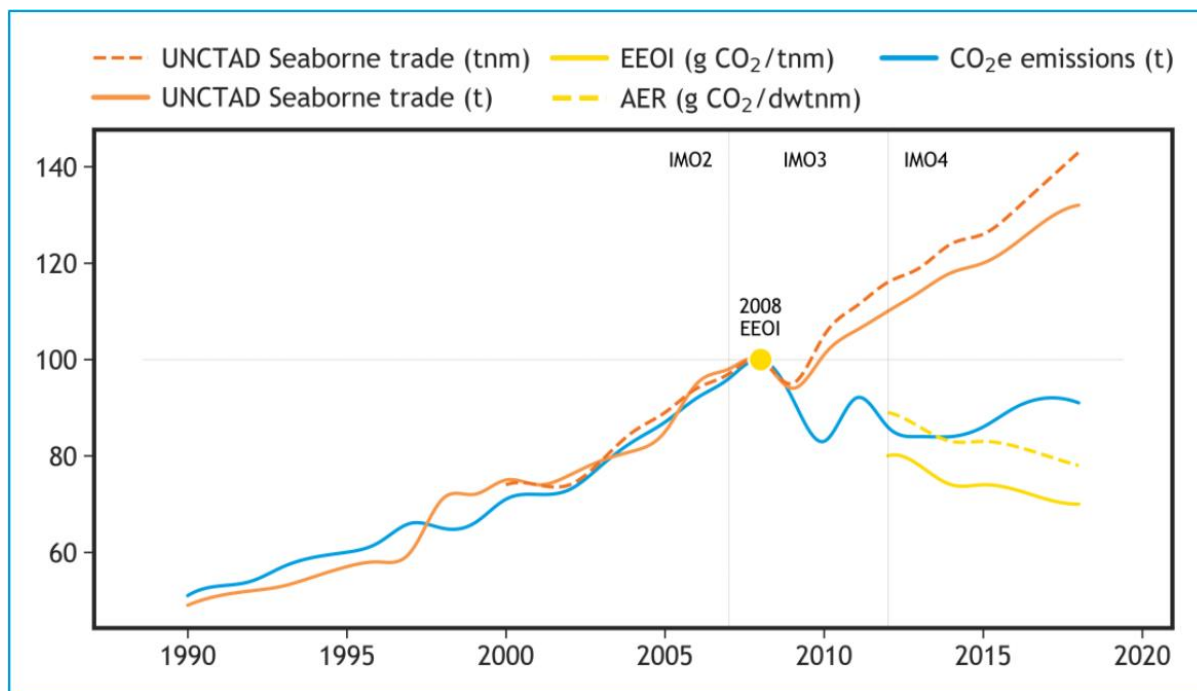
De uitstoot van broeikasgassen door de internationale scheepvaart is met 9,6% toegenomen van 977 miljoen ton in 2012 naar 1076 miljoen ton in 2018. In 2008 was deze uitstoot geschat op nog maar 794 miljoen ton CO₂e. Broeikasgassen bestaan uit koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en distikstofoxide (N₂O) en worden uitgedrukt met CO₂e. Koolstofdioxide vervult met meer dan 98% verreweg het grootste aandeel broeikasgassen, in 2018 werd hier 1056 miljoen ton van uitgestoten door de scheepvaart. Het aandeel van de scheepvaart in de antropogene uitstoot was 2,89% in 2018. (Faber, et al., 2020)

Volgens het onderzoek uitgevoerd door CE Delft is de koolstofintensiteit verbeterd tussen 2012 en 2018 voor de internationale scheepvaart als geheel, alsook voor de meeste scheepstypes. Koolstofintensiteit is de hoeveelheid CO₂-uitstoot per getransporteerd werk. De globale koolstofintensiteit voor de internationale scheepvaart was gemiddeld 29% beter ten opzichte van 2008, gemeten in Operationele Energie-Efficiëntie Index (EEOI in gCO₂/t-nm) en reis-gebaseerd; en 32% verbetering schip-gebaseerd. De verbetering van de koolstofintensiteit is voor ruim de helft behaald voor 2012 en de reductie hiervan is vertraagd sinds 2015 met een gemiddeld jaarlijks percentage van 1 tot 2% (Faber, et al., 2020).

Year	EEOI (gCO ₂ /t-nm)				AER (gCO ₂ /dwt-nm)				DIST (kgCO ₂ /nm)				TIME (tCO ₂ /hr)			
	Vessel-based		Voyage-based		Vessel-based		Voyage-based		Vessel-based		Voyage-based		Vessel-based		Voyage-based	
	Value	Change	Value	Change	Value	Change	Value	Change	Value	Change	Value	Change	Value	Change	Value	Change
2008	17.10	—	15.16	—	8.08	—	7.40	—	306.46	—	350.36	—	3.64	—	4.38	—
2012	13.16	-23.1%	12.19	-19.6%	7.06	-12.7%	6.61	-10.7%	362.65	18.3%	387.01	10.5%	4.32	18.6%	4.74	8.1%
2013	12.87	-24.7%	11.83	-22.0%	6.89	-14.8%	6.40	-13.5%	357.73	16.7%	380.68	8.7%	4.18	14.6%	4.57	4.1%
2014	12.34	-27.9%	11.29	-25.6%	6.71	-16.9%	6.20	-16.1%	360.44	17.6%	382.09	9.1%	4.17	14.4%	4.54	3.5%
2015	12.33	-27.9%	11.30	-25.5%	6.64	-17.8%	6.15	-16.9%	366.56	19.6%	388.62	10.9%	4.25	16.6%	4.64	5.7%
2016	12.22	-28.6%	11.21	-26.1%	6.58	-18.6%	6.09	-17.7%	373.46	21.9%	397.05	13.3%	4.35	19.3%	4.77	8.7%
2017	11.87	-30.6%	10.88	-28.2%	6.43	-20.4%	5.96	-19.5%	370.97	21.0%	399.38	14.0%	4.31	18.2%	4.79	9.2%
2018	11.67	-31.8%	10.70	-29.4%	6.31	-22.0%	5.84	-21.0%	376.81	23.0%	401.91	14.7%	4.34	19.1%	4.79	9.2%

Figuur 1: Gemiddelde koolstofintensiteitswaarden van scheepvaart tussen 2008 tot 2018 (Faber, et al., 2020)

De CO₂-uitstoot zal naar verwachting toenemen tot 2050 met 90 – 130% van het 2008-niveau geprojecteerd in een aantal aannemelijke lange termijn scenario's. Tussen 1990 en 2008 was er een toename in de uitstoot en is deze gerelateerd aan de groei in zeegaande handel. Tussen 2008 en 2014 is deze relatie tussen groeiende zeehandels en CO₂-uitstoot verbroken doordat deze laatste een sterke daling maakte onder andere dankzij de verbeterende koolstofintensiteit. Vanaf 2014 is verbetering in koolstofintensiteit zichtbaar maar daalt deze met hetzelfde tempo als de zeegaande handel groeit, hierdoor blijft de totale uitstoot nagenoeg constant. Deze analyse is goed zichtbaar in figuur 2.



Figuur 2: CO₂-uitstoot en groei zeegaande handel tussen 1990 en 2020 (Faber, et al., 2020)

Zeven scheepstypen zijn gekozen als representatief voor de wereldvloot, namelijk bulkschepen, olietankers, containerschepen, chemicaliëntankers, vloeibaar gastankers, algemene ladingschepen en koelschepen. Deze schepen stoten bij elkaar ongeveer 88% CO₂ uit en vertegenwoordigen 98% van de zeegaande handel (Faber, et al., 2020). De Stena Transporter is een ro-ro passagiersschip en valt met de andere niet genoemde scheepstypen tot de overige 2% van de zeegaande handel welke bij elkaar en afzonderlijk relatief veel minder uit stoten.

2.2 MARPOL Annex VI, hoofdstuk 4

In het *Internationaal Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen uit 1973* (MARPOL) zijn zes bijlagen opgenomen die de verschillende verontreinigingen moeten voorkomen middels voorschriften. *Annex VI* van het MARPOL bevat voorschriften ter voorkoming van luchtverontreiniging en is in dit onderzoek van toepassing. Deze Annex bevat vijf hoofdstukken waarvan *hoofdstuk 4* voorschriften inzake energie-efficiëntie voor schepen inhoudt. Dit hoofdstuk bevat de voorschriften 19 tot en met 23. De andere hoofdstukken en voorschriften worden in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. In paragraaf 2.2.1 zijn de huidige geldende voorschriften van het benoemde deel uit het MARPOL samengevat met in paragraaf 2.2.2 een samenvatting van de nieuwe/aangepaste voorschriften van het MARPOL die gepland staan om in juni 2021 officieel opgenomen te worden.

2.2.1 Huidige voorschriften

Voorschrift 19

In voorschrift 19 wordt gesteld dat het hoofdstuk van toepassing is op alle schepen met een bruto tonnage van 400 of meer met enkele uitzonderingen daargelaten.

Voorschrift 20

Dit voorschrift gaat over de bereikte ontwerpindex voor energie-efficiëntie (EEDI). De EEDI wordt berekend voor elk nieuw schip, elk nieuw schip dat een belangrijke wijziging heeft ondergaan en elk nieuw of bestaand schip dat een belangrijke wijziging heeft ondergaan die zo omvangrijk is dat het schip wordt beschouwd als een nieuw gebouwd schip. De berekening wordt uitgevoerd met inachtneming van de richtlijnen.

Voorschrift 21

Hier wordt de vereiste EEDI vastgesteld voor de in voorschrift 20 genoemde schepen. De volgende formule wordt hiervoor gebruikt:

$$\text{Bereikte EEDI} \leq \text{Vereiste EEDI} = \left(1 - \frac{X}{100}\right) * \text{EEDI waarde referentielijn}$$

Hierbij is X de vermelde reductiefactor is voor de vereiste EEDI ten opzichte van de EEDI-referentielijn, te vinden in de tabel in het voorschrift.

De waarden van de referentielijn dienen als volgt te worden berekend:

$$\text{Waarde referentielijn} = a * b^{-c}$$

Hierbij is a, b en c in de tabel in het voorschrift gegeven parameters zijn.

Voorschrift 22

Dit voorschrift beschrijft het energie-efficiëntie managementplan (SEEMP). Hierin wordt gesteld dat elk schip een op het schip van toepassing zijnde zogeheten plan aan boord dient te hebben. Het SEEMP moet worden ontwikkeld met inachtneming van de aangenomen richtlijnen.

Voorschrift 22A

Voorschrift 22A gaat in op het verzamelen en rapporteren van gegevens over het brandstofolieverbruik van schepen. Elk schip met een bruto tonnage van 5000 of meer dient in Aanhangsel IX genoemde gegevens per kalenderjaar te verzamelen. Deze gegevens worden onder andere gebruikt en verwerkt in de IMO-database Brandstofolieverbruik van schepen.

Voorschrift 23

In voorschrift 23 wordt bevordering van technische samenwerking en overdracht van technieken met betrekking tot het verbeteren van de energie-efficiëntie van schepen aangehaald. Hiermee wordt samenwerking gestimuleerd en kunnen ontwikkelende staten technische bijstand verzoeken (MARPOL 73/78, 1973).

2.2.2 Voorstel nieuwe/aangepaste voorschriften

De voorstel wijzigingen van Annex VI in het MARPOL zijn gepland om definitief te worden opgenomen in het verdrag medio juni 2021. Hiervoor zijn verschillende voorstellen ingediend door verschillende lidstaten (DNV GL, 2020) (IMO, 2020). De meest recente voorstellen zijn in dit onderzoek gebruikt en zijn onderhevig aan eventuele wijzigingen. Wijzigingen aan *hoofdstuk 4* van *MARPOL Annex VI* die door de Marine Environment Protection Committee sessie 75 (MEPC75) zijn goedgekeurd zijn als volgt:

De titel van *hoofdstuk 4* veranderd in 'Voorschriften inzake de koolstofintensiteit van internationale scheepvaart'. Aan dit hoofdstuk worden de voorschriften 19A, 19B, 20A, 21A en 22B toegevoegd en zal voorschrift 22 deels aangepast worden.

Voorschrift 19A

Dit voorschrift beschrijft het doel van *hoofdstuk 4*. Het doel van het hoofdstuk is het reduceren van de koolstofintensiteit van internationale scheepvaart toewerkend naar het ambitieuze niveau van het *Initial IMO Strategy on reduction of GHG emissions from ships*.

- 40% reductie van de koolstofintensiteit in 2030 ten opzichte van 2008
- 50% reductie van de CO₂-uitstoot in 2050 ten opzichte van 2008

Voorschrift 19B

Om de doelen beschreven in voorschrift 19A te behalen zal elk schip waar dit hoofdstuk op van toepassing is moeten voldoen aan de volgende functionele vereisten ter vermindering van haar koolstofintensiteit. De technische eisen zoals genoemd in de voorschriften 20, 20A, 21 en 21A en de operationele eisen zoals genoemd in de voorschriften 22, 22A en 22B van deze Annex.

Voorschrift 20A

Dit voorschrift gaat over de bereikte index voor energie-efficiëntie van bestaande schepen (EEXI). De EEXI wordt berekend voor elk schip en elke schip dat een grote aanpassing heeft ondergaan. De EEXI is specifiek voor elk schip en geeft een indicatie voor de verwachte prestatie van het schip op het gebied van energie-efficiëntie en komt samen met de EEXI technical file dat de informatie bevat voor de berekening van de EEXI en laat de wijze van berekening zien. De bereikte EEXI moet worden geverifieerd door de lidstaat of klassebureau van het schip. De bereikte EEXI moet worden berekend met inachtneming van de richtlijnen uitgegeven door de IMO.

Elk schip waarbij voorschrift 20 is toegepast mag de bereikte EEDI welke geverifieerd is bij een geautoriseerde partij gebruiken als bereikte EEXI op het moment dat de EEDI-waarde gelijk of lager is dan de vereiste EEXI-waarde. In dit geval wordt de bereikte EEXI geverifieerd op basis van de EEDI technical file.

Voorschrift 21A

De vereiste EEXI-waarde voor elk schip en elk schip dat een grote aanpassing heeft ondergaan waarop dit hoofdstuk van toepassing is de bereikte EEXI als volgt:

$$\text{Bereikte EEXI} \leq \text{Vereiste EEXI} = \left(1 - \frac{Y}{100}\right) * \text{EEDI waarde referentielijn}$$

Hierbij is Y de reductiefactor is gespecificeerd in de opgenomen tabel voor de vereiste EEXI ten opzichte van de EEDI-referentielijn.

Ship type	Size	Reduction factor
Ro-ro passenger ship	1,000 DWT and Above	5
	250 and above but less than 1,000 DWT	0-5

Figuur 3: Reductiefactortabel uitgesneden voor ro-ro passagiersschepen (MARPOL 73/78, 1973)

De EEDI-referentielijn moet worden berekend in overeenstemming met voorschriften 21.3 en 21.4 van deze Annex. Voor ro-ro vrachtschepen en ro-ro passagiersschepen zal de referentielijn waarde van fase 2 gebruikt moeten worden, verwijzend naar voorschrift 21.3.

Een onderzoek van de organisatie waarbij de effectiviteit van dit voorschrift wordt beoordeeld, zal worden afgerond op 1 januari 2026. Wijzigingen aan dit voorschrift kunnen aan de hand van dit onderzoek worden aangenomen door middel van de procedures uit artikel 16 van het verdrag.

Voorschrift 22

Dit voorschrift bestaat al en wordt aangevuld met enkele regels. De SEEMP zal gemaakt en beoordeeld moeten worden met behulp van de richtlijnen aangenomen door de organisatie.

Voor of op 1 januari 2023 zullen alle schepen met een bruto tonnage van 5000 ton en hoger een SEEMP hebben met de volgende onderdelen:

- Een omschrijving van de rekenmethode die is gebruikt voor de bereikte jaarlijkse operationele CII vereist in voorschrift 22B en het proces van rapporteren in de scheepsadministratie;
- de vereiste jaarlijkse operationele CII voor de komende drie jaar zoals gespecificeerd in voorschrift 22B;
- een implementatieplan dat beschrijft hoe de vereiste jaarlijkse operational CII behaald gaat worden in de komende 3 jaar;
- en een procedure voor zelfreflectie en verbetering.

Schepen die onder voorschrift 22B voor drie opeenvolgende jaren D of E beoordeeld zijn moeten de SEEMP herzien en aanvullen met corrigerende maatregelen om de vereiste jaarlijkse operationele CII te behalen in overeenstemming met voorschrift 22B.8.

De SEEMP is onderdeel van verificatie- en bedrijfs-audits met inachtneming van de richtlijnen van de organisatie.

Voorschrift 22B Operationele koolstofintensiteit

Dit voorschrift heeft betrekking op de volgende categorieën schepen:

2.25 (Bulk carrier), 2.31 (Combination carrier), 2.33 (Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)), 2.35 (Ro-ro passenger ship), 2.38 (LNG carrier), 2.39 (Cruise passenger ship).

Bereikte jaarlijkse operationele koolstofintensiteitsindicator (CII)

Alle schepen met een bruto tonnage van 5000 ton of hoger welke vallen onder de bovengenoemde categorieën moeten na elk kalenderjaar de bereikte jaarlijkse operationele CII berekenen met gebruik van de data verzameld onder voorschrift 22A en met inachtneming van de richtlijnen aangedragen door de organisatie. De bereikte jaarlijkse operationele CII moet elk schip binnen drie maanden na het einde van een kalenderjaar elektronisch rapporteren middels een standaard format.

In het geval van een overdracht van een schip zoals beschreven in voorschriften 22A.4, 22A.5 of 22A.6 vanaf 1 januari 2024 zal de jaarlijkse operationele koolstofintensiteitsgraad van de periode voor de overdracht gelden als de bereikte jaarlijkse operationele koolstofintensiteitsgraad. Niets in de voorschriften weerhoudt een bedrijf van het rapporteren van de data onder de voorschriften 22A of 22B van deze Annex.

Vereiste jaarlijkse operationele koolstofintensiteitsindicator (CII)

Alle schepen met een bruto tonnage van 5000 ton of hoger moeten voldoen aan de vereiste jaarlijkse operationele CII volgens:

$$\text{Required annual operational CII} = \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \times CII_R$$

Hierbij is Z de jaarlijkse reductiefactor; en CII_R de referentiewaarde is. De jaarlijkse reductiefactor Z en de referentiewaarde CII_R worden bepaald aan de hand van de richtlijnen opgesteld door de organisatie.

Operationele koolstofintensiteitsgraad

De bereikte jaarlijkse operationele CII zal worden gedocumenteerd en geverifieerd met de vereiste jaarlijkse operationele CII om de koolstofintensiteitsgraad A, B, C, D of E te bepalen. A, B, C, D en E staat voor een grote verbeterde, kleine verbeterde, gemiddelde, kleine verslechterde en verslechterde prestatieniveau. Het midden van graad C zal de waarde gelijkgesteld aan de vereiste jaarlijkse operationele CII van hierboven zijn.

Elk schip met een D graad voor drie opeenvolgende jaren of E graad zal een plan moeten opstellen met corrigerende maatregelen om de vereiste jaarlijkse operationele CII te bereiken. Het plan moet worden opgenomen in het SEEMP met inachtneming van de richtlijnen van de organisatie. Het aangepaste SEEMP moet voorgelegd worden bij de autoriteit voor verificatie binnen een maand na rapporteren van de bereikte jaarlijkse operationele CII in lijn met dit voorschrift. Elk schip met een D of E graad voor drie opeenvolgende jaren moet de acties ondernemen zoals beschreven in het geüpdatet SEEMP. Lidstaten, havenautoriteiten en aandeelhouders worden aangemoedigd schepen met een A of B graad te stimuleren.

Beoordeling

Een onderzoek door de organisatie zal worden afgerond op 1 januari 2026 om het volgende te beoordelen;

De effectiviteit van dit voorschrift in het terugdringen van de koolstofintensiteit van internationale scheepvaart. De behoefte voor corrigerende maatregelen of andere extra EEXI-maatregelen. De behoefte aan verbetering van handhaving. De behoefte aan verbetering van datacollectie. Revisie van de Z factor en CII_R -waarden. Wanneer op basis van het onderzoek wijzigingen aan dit voorschrift worden overwogen zal dit aan de hand van artikel 16 van dit verdrag gaan (MEPC, 2020).

2.3 Toepassing op de Stena Transporter

Op het moment van schrijven (2021) gelden alleen voorschriften 22 en 22A van *hoofdstuk 4* van *MARPOL Annex VI* voor de Stena Transporter. Dit houdt in dat er voor de Stena Transporter een SEEMP is en dat van dit schip het brandstofverbruik wordt bijgehouden en geregistreerd. Het SEEMP is een plan waarin brandstof besparende en/of uitstoot reducerende maatregelen staan die uitgevoerd worden op het schip. Op de Stena Transporter zijn afgelopen jaren meerdere succesvolle projecten afgerond. Sinds 2012 ligt dit schip bij afmeren in Nederland aan de walstroomaansluiting. In 2015 zijn de closed-loop scrubbers geïnstalleerd en zijn er nieuwe schroeven en rudderbulbs geplaatst welke voor 3,3% brandstofbesparing zorgen. Uit metingen is gebleken dat de Stena Transporter met 0,5 meter trim voorover de minste brandstof verbruikt ten opzichte van elke trim achterover welke voor 0,5 – 1,25% brandstof bespaard. Al langere tijd wordt gebruik gemaakt van een zeer uitgebreid Fuel Measuring System (FMS) dat naast het brandstofverbruik vele andere parameters elke tien minuten bijhoudt. Door middel van dit systeem kan op lange termijn brandstofverbruik gemonitord worden en de effecten van besparende maatregelen zichtbaar gemaakt worden. Dit in combinatie met veel uiteenlopende factoren waaronder weer- en stroomgegevens. Er is nu de mogelijkheid dat deze hoeveelheid data gekoppeld aan kunstmatige intelligentie kan gaan zorgen dat er zuiniger en efficiënter wordt gevaren.

Nadat de wijzigingen in het *MARPOL-verdrag* wat betreft de koolstofintensiteit (*Annex VI, hoofdstuk 4*) in 2023 van kracht worden zal deze toegepast worden op de Stena Transporter. Dit houdt onder andere in dat er een energie-efficiëntie index (EEXI) berekend moet worden. Volgens de nieuwe regelgeving zal de Stena Transporter met deze EEXI een waarde van 5% onder de al bestaande EEDI-referentielijn moeten hebben om te voldoen. Ten opzichte van andere scheepstypen is dit een relatief kleine reductie. Wanneer de berekening en de waarde van de EEXI gecontroleerd en geverifieerd zijn door het klassebureau kan een certificaat worden uitgegeven; het International Energy Efficiency Certificate (IEEC). (MEPC, 2020)

Naast deze EEXI-eis moet de Stena Transporter vanaf 2023 een jaarlijkse operationele CII monitoren en wordt hier een koolstofintensiteitsgraad aan gegeven lopende van A tot en met E waarbij met midden van C de vereiste CII-waarde is. Deze berekening en manier van dataverzameling moet gedocumenteerd en goedgekeurd worden. In het begin van elk jaar moet een Statement of Compliance aangaande het brandstofverbruik en de operationele koolstofintensiteitsgraad worden uitgegeven met de gegevens van het hele afgelopen jaar. Tevens moet er in het SEEMP een implementatieplan komen dat beschrijft hoe de vereiste jaarlijkse operationele CII behaald gaat worden in de komende 3 jaar (MEPC, 2020).

2.4 Maatregelen voor de reductie van CO₂-uitstoot

In het onderzoek 'Decarbonising Maritime Transport' van het International Transport Forum uitgegeven door Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) worden maatregelen beschreven voor de reductie van de CO₂-uitstoot in de scheepvaart. Hier worden de verschillende maatregelen verdeeld in drie categorieën; technische, operationele en alternatieve brandstof/energie maatregelen en in dit hoofdstuk behandeld. (OECD, 2018) Van alle maatregelen is een selectie gemaakt met de beste vier opties die vervolgens zijn gebruikt in het onderzoek.

2.4.1 Technische maatregelen

Technische maatregelen omvatten technieken die helpen bij het verhogen van de energie efficiëntie van een schip. Het gewicht van het schip (lichtere materialen), het ontwerp van het schip, manieren om de wrijving te verminderen (anti-fouling en luchtsmering) en manieren om energie terug te winnen, zoals door middel van uitlaatgassenwarmte zijn technische maatregelen. In figuur 4 zijn verschillende van deze maatregelen in combinatie met hun potentiële brandstofbesparing uiteengezet. (OECD, 2018)

Maatregelen	Potentiële brandstofbesparing (in %)
Lichtere materialen	0 – 10
Slank ontwerp	10 – 15
Voortstuwingsverbeterende middelen	1 – 25
Bulbboeg	2 – 7
Luchtsmering en rompoppervlak	2 – 9
Warmterugwinning	0 – 4

Figuur 4: Technische maatregelen (OECD, 2018)

Dit onderzoek is verder niet ingegaan op het gebruik van technische maatregelen om brandstof te besparen. De reden hiervoor is dat deze maatregelen vooral betrekking hebben op nieuw te ontwerpen schepen en enkele maatregelen zijn al uitgevoerd op de Stena Transporter. Daarnaast hebben deze maatregelen met maximaal 25% een relatief lage invloed op de uitstoot.

2.4.2 Operationele maatregelen

De manier waarop een schip ingezet wordt, kan verbeterd worden door middel van operationele maatregelen. Dit omvat vier belangrijke maatregelen welke in figuur 5 in combinatie met de potentiële CO₂-uitstoot reductie uiteen is gezet.

Maatregelen	Potentiële CO ₂ -uitstoot reductie (in %)
Snelheid	0 – 60
Scheepsgrootte	0 – 30
Schip-haven interface	1
Walspanning	0 – 3

Figuur 5: Operationele maatregelen (OECD, 2018)

Opvallend is dat de snelheid een grote potentie heeft om de CO₂-uitstoot te reduceren. Hierbij kan zowel de snelheid geoptimaliseerd worden waardoor minder vermogen nodig is, alsook gelimiteerd worden waarbij het maximale bruikbare vermogen verlaagd wordt. Een vuistregel is dat in theorie het motorvermogen van een schip een derdemacht van de snelheid is. Concreet betekent dit ongeveer dat een snelheidsverlaging van 10% zich vertaalt in een reductie van 27% benodigd vermogen van de hoofdmotor(en). Voor een reis kan de benodigde energie 19% lager liggen bij een snelheidsverlaging van 10%. Dit levert tevens lagere brandstofkosten op (OECD, 2018).

2.4.3 Alternatieve brandstoffen en energie

Als alternatieve brandstoffen en energie gebruikt worden voor de voortstuwing van schepen, kan dit leiden tot hele lage of zelfs CO₂-neutrale uitstoot. Dit onderdeel heeft een veelbelovende toekomst maar is nog niet op alle vlakken volwassen genoeg voor de markt. In figuur 6 zijn de verschillende maatregelen opgenomen in combinatie met de CO₂-uitstoot reductie. (OECD, 2018)

Maatregelen	CO ₂ -uitstoot reductie (in %)
Geavanceerde biobrandstoffen	25 - 100
LNG	0 – 20
Waterstof	0 – 100
Ammoniak	0 – 100
Methanol	0 – 25
Brandstofcellen	2 – 20
Elektriciteit	0 – 100
Wind	1 – 32
Zonne-energie	0 – 12
Nucleaire energie	0 – 100

Figuur 6: Alternatieve brandstoffen en energie (OECD, 2018)

Biobrandstoffen of geavanceerde biobrandstoffen, waterstof en ammoniak zijn brandstoffen die momenteel in ontwikkeling zijn en in de toekomst een grote rol kunnen spelen. Deze brandstoffen kunnen gemixt worden met fossiele brandstoffen om zo geleidelijk de uitstoot van CO₂ te reduceren. De brandstofcel is ook een techniek met veel uitdagingen en is nog in ontwikkeling, deze is momenteel niet of nauwelijks toepasbaar.

Op het gebied van windenergie zijn verschillende technieken ontwikkeld. Veel van deze concepten zijn nog redelijk ingewikkeld, hebben een relatief klein effect en de toepassing is afhankelijk van veel factoren. Zonne-energie is een dure techniek die relatief weinig oplevert. Nucleaire energie wordt sinds 1955 gebruikt, voornamelijk op militaire schepen, duikboten en ijsbrekers. Voor koopvaardischepen is deze vorm van energie op korte termijn niet interessant omdat het veel uitdaging geeft op het gebied van milieu en veiligheid. Mogelijk is er in de toekomst ruimte voor zogenoemde thorium reactoren waar het risico lager ligt dan bij uranium reactoren.

Liquefied natural gas (LNG) is een bekende en inmiddels ontwikkelde alternatieve brandstof. Het gebruik hiervan levert bijna 100% reductie in de uitstoot van zwaveloxides en fijnstof in vergelijking met fossiele brandstoffen. De reductie van CO₂-uitstoot ligt op 5 – 30% ten opzichte van zware stookolie. Een groot nadeel van LNG is de uitstoot van methaan (zogenoemde methane slip), dit is een broeikasgas die veel schadelijker dan CO₂ is. Bij een methaan uitstoot van 5,8 g/kWh of hoger is LNG geen schoner alternatief meer. LNG is op

korte termijn een optie maar op lange termijn kan gekeken worden naar manieren om de huidige infrastructuur hiervan voor te bereiden op biobrandstoffen.

Methanol is een goed alternatief dat ruim beschikbaar is. Een ferry tussen Kiel en Gothenburg, de Stena Germanica is in 2015 omgebouwd en vaart sindsdien op methanol. De CO₂-uitstoot kan met methanol tot 25% gereduceerd worden. De kleine aanpassingen aan bestaande schepen en bunkermogelijkheden zijn een groot voordeel van deze alternatieve brandstof. Methanol kan gebruikt worden in bestaande verbrandingsmotoren.

Het gebruik van batterijen kan een relatief dure techniek zijn wanneer dit de enige energiebron is. Met name de prijs van batterijen per energie-eenheid en de ruimte-inname aan boord maken het prijzig. Hybride oplossingen daarentegen bieden meer toepasbare mogelijkheden waarbij meer flexibiliteit ontstaat en financiële beperkingen kleiner worden (OECD, 2018).

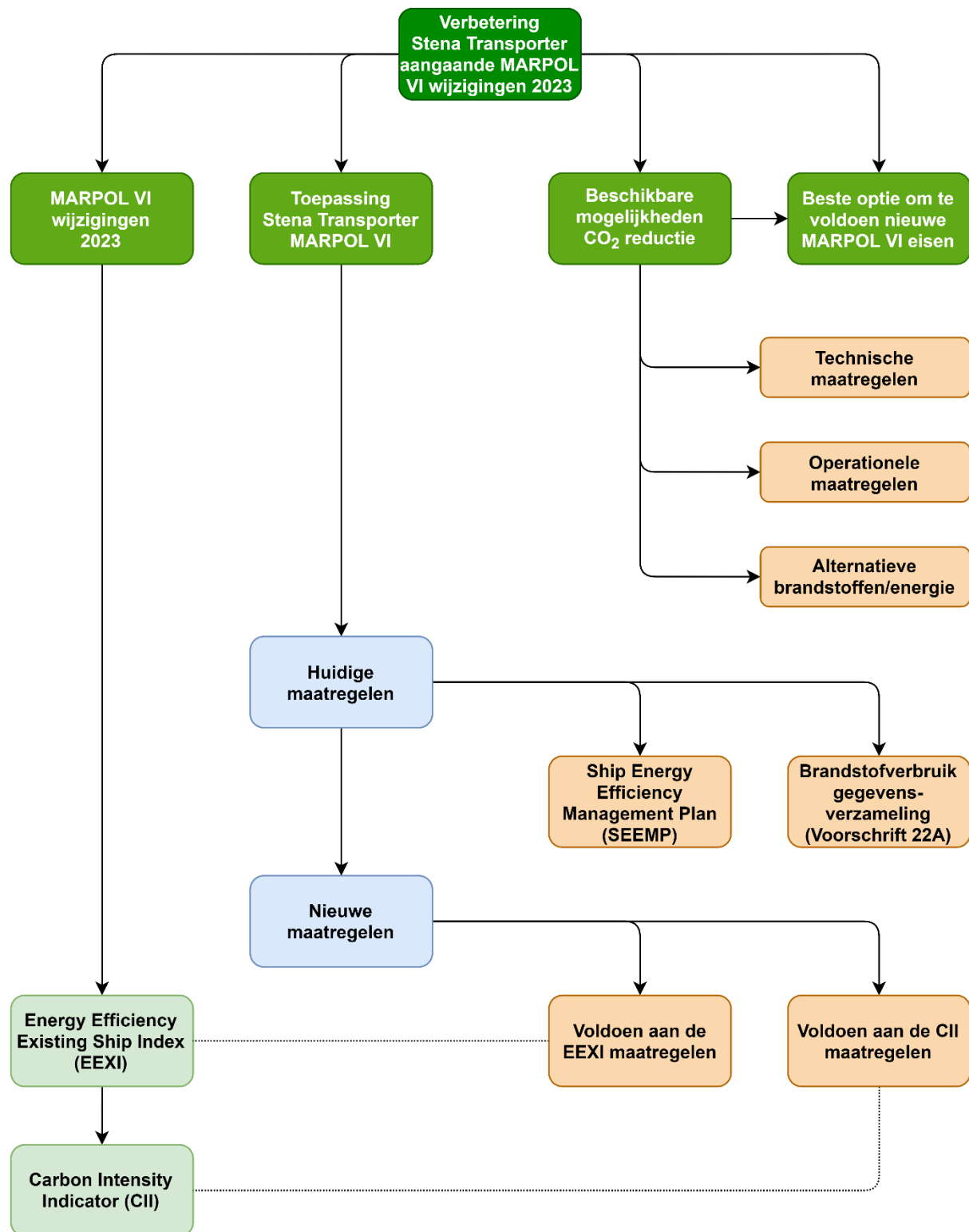
2.4.4 Maatregelen opgenomen in dit onderzoek

Omdat dit onderzoek betrekking heeft op een bestaand schip kunnen bepaalde eerdergenoemde maatregelen niet meegewogen worden. De argumenten benoemd bij de verschillende maatregelen hebben geleid tot de vier maatregelen met de meeste potentie voor dit onderzoek, zoals hieronder vermeld.

- Snelheidsreductie door middel van een Engine Power Limitation (EPL).
- LNG als alternatieve brandstof in plaats van gasolie of zware stookolie.
- Methanol als alternatieve brandstof in plaats van gasolie of zware stookolie.
- Elektriciteit/hybride door middel van een deel motorvermogen wat vervangen wordt door batterijen.

2.5 Conceptueel model

Hieronder is het conceptueel model gepresenteerd waarin voorafgaand aan het onderzoek de hoofd- en deelvragen uitgezet zijn. Dit zorgde voor meer duidelijkheid in het onderzoek.



3. Methode

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de kwantitatieve en kwalitatieve onderzoeksmethoden. Concreet betekent dit dat in het theoretisch kader de kwalitatieve onderzoeksmethode is toegepast. Met het verkrijgen van de resultaten door middel van berekeningen in dit eindrapport is de kwantitatieve onderzoeksmethode toegepast.

Deelvraag 1 is in het theoretisch kader beantwoord door middel van het vergelijken van bestaande literatuur met betrekking tot de nieuwe wijzigingen in de voorschriften van *MARPOL Annex VI, hoofdstuk 4* ten opzichte van de huidige MARPOL-voorschriften.

Deelvraag 2 over de toepassing van de voorschriften bij de Stena Transporter is deels beantwoord in het theoretisch kader onder [hoofdstuk 2.3](#). Zoals beschreven moet de Stena Transporter vanaf 2023 voldoen aan de nieuwe voorschriften die worden toegevoegd aan *MARPOL VI, hoofdstuk 4*. Hiervoor moet onder andere de specifieke EEXI voor dit schip berekend worden. Dit is zo nauwkeurig mogelijk gedaan aan de hand van de richtlijnen voor de berekening van de EEDI en EEXI uitgegeven door de MEPC die op dat moment beschikbaar waren. Ook moet vanaf 2023 een jaarlijkse operationele CII bijgehouden worden. De CII-berekening voor 2020 is voor dit onderzoek zo nauwkeurig mogelijk gedaan aan de hand van de richtlijnen voor de berekening van de CII uitgegeven door de MEPC. Met de bereikte EEXI- en CII-waarden ten opzichte van de vereiste waarden hiervan is bepaald of de Stena Transporter voldoet aan de nieuwe voorschriften in de huidige situatie.

Om antwoord te geven op **deelvraag 3** zijn in [paragraaf 2.4](#) technische- en operationele maatregelen en alternatieve brandstoffen/energiebronnen gegeven om de uitstoot van CO₂ te reduceren. De genoemde maatregelen in [paragraaf 2.4.4](#) worden gezien als de vier best toepasbare maatregelen welke enkel gebruikt zijn in dit onderzoek.

Door de vier gekozen maatregelen uit [paragraaf 2.4.4](#) theoretisch toe te passen op de technische installatie van de Stena Transporter kunnen aan de hand van de gegevens per situatie een specifieke EEXI- en CII-waarde berekend worden. Om tot het antwoord op **deelvraag 4** te komen is een vergelijking van de waarden van de vier maatregelen gemaakt. Hierdoor is duidelijk geworden welke maatregel de meeste reductie van koolstofintensiteit oplevert en daarmee de uitstoot van CO₂ terugdringt.

Om tot de resultaten voor de deelvragen 2 en 4 te komen is de Excel-sheet uit [bijlage 1](#) gebruikt. Hiermee zijn alle benodigde gegevens verzameld en de berekeningen voor de EEXI- en CII-waarden gemaakt. Door middel van de resultaten uit het Excel-bestand konden twee conclusies worden getrokken die antwoord geven op de hoofdvraag van dit onderzoek. De eerste conclusie geeft aan of de Stena Transporter voldoet en de tweede conclusie geeft aan welke verbetering het beste uitgevoerd kan worden om de CO₂-uitstoot te reduceren.

Dit onderzoek is onder andere afgebakend op de wetgeving, waarbij uitsluitend gekeken is naar *MARPOL Annex VI, hoofdstuk 4; Voorschriften inzake energie-efficiëntie voor schepen*. Hierbij is gekeken naar de huidige tekst en de voorgestelde gewijzigde tekst. Bij de uitstoot verbeterende maatregelen zijn de vier meest potentiële maatregelen afgebakend. Bij de conclusie voor de beste maatregel, is geen aandacht besteed aan de financiële en technische uitdagingen voor wat betreft de toepassing ervan.

Ten behoeve van het schrijven van de conclusie is gebruik gemaakt van de resultaten uit [hoofdstuk 4](#) in dit onderzoek, deze zijn opgesteld met behulp van de verschillende gemaakte berekeningen. In de conclusie is antwoord gegeven op de hoofd- en deelvragen.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk is allereerst gekeken naar de formules en variabelen gebruikt voor de berekening van de EEXI- en CII-waarden, vervolgens worden de vereiste maximaal toelaatbare waarden berekend. Dan zijn de bereikte waarden voor de Stena Transporter voor de EEXI- en CII-berekening gegeven met afsluitend de resultaten van de analyse van de vier CO₂ reducerende maatregelen.

4.1 EEXI-formule en variabelen

De berekening van de bereikte EEXI-waarde van de Stena Transporter wordt gedaan aan de hand van de '2018 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships' en de 'Draft Guidelines on the Method of the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)'. De formule gegeven in de richtlijnen voor het bereiken van de EEXI-waarde is als volgt.

$$\frac{(\prod_{j=1}^n f_j)(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} *) + \left((\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)}) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - (\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} **)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

Waarbij;

C_F is een dimensieloze conversie factor tussen brandstofverbruik gemeten in gram en CO₂-uitstoot gemeten in gram. De waarde van C_F is als volgt:

Type of fuel	Reference	Lower calorific value (kJ/kg)	Carbon content	C _F (t-CO ₂ /t- Fuel)
1 Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMB	42,700	0.8744	3.206
2 Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	41,200	0.8594	3.151
3 Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	40,200	0.8493	3.114
4 Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	46,300	0.8182	3.000
	Butane	45,700	0.8264	3.030
5 Liquefied Natural Gas (LNG)		48,000	0.7500	2.750
6 Methanol		19,900	0.3750	1.375
7 Ethanol		26,800	0.5217	1.913

Figuur 7: Vastgestelde brandstof conversiefactoren

V_{ref} is de referentie scheepsnelheid, gemeten in nautische mijl per uur (knopen).

Capacity voor ro-ro passagiersschepen wordt *deadweight* gebruikt als *capacity*.

Deadweight is het verschil in ton tussen het displacement van een schip in water met een relatieve dichtheid van 1,025 kg/m³ op zomer diepgang en het gewicht van het ledig schip.

P is het vermogen van de hoofd- en hulpmotoren uitgedrukt in kW.

$P_{ME(i)}$ is 75% van het vastgesteld geïnstalleerd vermogen (MCR) van elke hoofdmotor (i). Van toepassing is de formule als volgt:

$$\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} = 0,75 \times \left(\sum MCR_{ME(i)} - \sum P_{PTO(i)} \right) \text{ with } 0,75 \times \sum P_{PTO(i)} \leq P_{AE}$$

$P_{PTO(i)}$ is 75% van het vastgesteld elektrisch vermogen van elke asgenerator (i).

$P_{PTI(i)}$ is 75% van het vastgesteld vermogensverbruik van elke asmotor (i) gedeeld door het gemiddelde rendement van de generator(en).

$P_{eff(i)}$ is de opbrengst van de innovatieve mechanische energie-efficiënte technieken voor de voortstuwing op 75% hoofdmotor vermogen.

P_{AEff} is de reductie van hulpvermogen door innovatieve mechanische energie-efficiënte technieken.

P_{AE} is het benodigde hulpmotor vermogen voor normale maximale belasting op zee.

SFC is het gecertificeerd specifiek brandstofverbruik uitgedrukt in g/kWh van de motoren.

f_j is een correctiefactor die rekening houdt met specifieke ontwerpelementen. Hieronder vallen vier verschillende factoren voor verschillende type schepen. Van toepassing is de correctiefactor voor ro-ro vracht- en passagiersschepen (f_{jRoRo}). Wanneer $f_{jRoRo} > 1$ dan is $f_j = 1$.

$$f_j = f_{jRoRo} = \frac{1}{F_{nL}^{\alpha} \cdot \left(\frac{L_{pp}}{B_s}\right)^{\beta} \cdot \left(\frac{B_s}{d_s}\right)^{\gamma} \cdot \left(\frac{L_{pp}}{\nabla^{1/3}}\right)^{\delta}}$$

Hierbij is het getal van Froude, F_{nL} , gedefinieerd is als:

$$F_{nL} = \frac{0,5144 \cdot v_{ref}}{\sqrt{L_{pp} \cdot g}}$$

En de exponenten α , β , γ en δ zijn gedefinieerd als volgt:

Ship Type	Exponent:			
	α	β	γ	δ
Ro-ro cargo ship	2.00	0.50	0.75	1.00
Ro-ro passenger ship	2.50	0.75	0.75	1.00

Figuur 8: Gegeven exponenten in de richtlijnen (MEPC, 2018)

L_{pp} is de lengte tussen de loodlijnen in meter.

B_s is de grootste afgevlakte breedte van het schip in meter.

d_s is de diepgang op het zomermerk in meter.

∇ is het volumetrisch displacement in kubieke meter (m^3).

g is de zwaartekrachtversnelling $9,81 \text{ m/s}^2$.

f_w is een dimensieloze coëfficiënt die de snelheidsafname aangeeft in representatieve zee condities met golfhoogte, golffrequentie en windsnelheid, gedefinieerd als 1,0.

$f_{eff(i)}$ is de beschikbaarheidsfactor voor elke energie-efficiënte techniek.

f_i is de capaciteitsfactor voor elke technische/juridische beperkingen op de capaciteit en zal 1,0 veronderstelt worden als de noodzaak van de factor niet wordt toegekend. Van toepassing is de capaciteitscorrectiefactor voor ijs-klasse schepen. Deze wordt berekend als volgt:

$$f_i = f_{i(ice\ class)} \cdot f_{iC_b}$$

Hierbij is $f_{i(ice\ class)}$ door middel van figuur 9 berekend kan worden.

Ice class ^{footnote}	$f_{i(ice\ class)}$
IC	$f_{i(IC)} = 1.0041 + 58.5/DWT$
IB	$f_{i(IB)} = 1.0067 + 62.7/DWT$
IA	$f_{i(IA)} = 1.0099 + 95.1/DWT$
IA Super	$f_{i(IAS)} = 1.0151 + 228.7/DWT$

Figuur 9: Gegeven formules voor $f_{i(ice\ class)}$ in de richtlijnen (MEPC, 2018)

Voor scheepstypen anders dan bulk-, algemene ladingschepen en tankers,

$$f_{iC_b} = 1,0$$

f_c is de kubieke capaciteitsfactor en zal 1,0 veronderstelt worden als de noodzaak van de factor niet wordt toegekend. Van toepassing is de f_c voor ro-ro passagiersschepen (f_{cRoPax}). Voor ro-ro schepen met een DWT/GT-verhouding van minder dan 0,25; de kubieke capaciteitscorrectiefactor is:

$$f_{cRoPax} = \left(\frac{DWT/GT}{0,25} \right)^{-0,8}$$

Waarbij DWT de Capacity is en GT het brutotonnage van het schip is.

f_l is de factor voor general cargo schepen uitgerust met kranen en andere lading-gerelateerd tuig ter compensatie van verlies in draagvermogen van het schip.

f_m is de factor voor ijs-klasse schepen met IA Super of IA. Hierbij is $f_m = 1,05$ (MEPC, 2018) (MEPC, 2021)

De variabelen P_{AEff} , $P_{eff(i)}$, $P_{PT(i)}$, $f_{eff(i)}$ en f_l zijn niet van toepassing op de berekening van de EEXI voor de Stena Transporter. De reden hiervoor is dat de berekening van de EEXI uitgaat van het basismodel van het schip waarbij energie efficiënte technieken niet zijn toegepast. Daarnaast beschikt de Stena Transporter niet over een asmotor. Voor het berekenen van de EEXI wordt daarom de volgende formule toegepast:

$$\frac{(\prod_{j=1}^n f_j)(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} *)}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

4.2 CII-formule en variabelen

De berekening van de bereikte CII-waarde van de Stena Transporter wordt gedaan aan de hand van de *Draft Guidelines on Operational Carbon Intensity Indicators and the Calculation Methods* (MEPC, 2021). Omdat dit een voorstel betreft en de wijzigingen in het MARPOL nog opgenomen moeten worden, bestaat de kans dat deze richtlijnen nog veranderen. De ontwikkeling is op het moment van dit onderzoek in een vergevorderd stadium. De formule voor de bereikte CII-waarde is als volgt:

$$attained\ CII_{ship} = M/W$$

Waarbij;

M is de totale uitgestoten massa CO₂ in een bepaald jaar (in gram).

W is de totale transportwerkzaamheden in een bepaald jaar (t·nm).

De totale uitgestoten massa CO₂ in een bepaald kalenderjaar wordt berekend als volgt:

$$M = \sum_j (FC_j - FE_j) C_{Fj}$$

Waarbij;

j is het brandstoftype.

FC_j is de totale massa verbruikte brandstof (van brandstoftype **j**) in het kalenderjaar.

FE_j is de massa verbruikte brandstof (van brandstoftype **j**) die in overeenstemming met de richtlijnen uitgesloten moet worden.

C_{Fj} is de brandstofmassa naar CO₂-massa conversiefactor.

De totale transportwerkzaamheden in een bepaald kalenderjaar wordt berekend als volgt:

$$W_s = C \times (D_t - D_x)$$

Waarbij;

C is de capaciteit van het schip:

- Voor bulkschepen, tankers, containerschepen, gastankers, LNG-tankers, ro-ro vrachtschepen, algemene lading schepen, koelschepen en combinatie-schepen wordt draagvermogen (*DWT*) gebruikt voor capaciteit.
- Voor cruiseschepen, ro-ro voertuigschepen en ro-ro passagiersschepen wordt bruto tonnage (*GT*) gebruikt voor capaciteit.

D_t is de totale afstand afgelegd in nautische mijlen.

D_x is de afstand afgelegd in nautische mijlen die in overeenstemming met de richtlijnen uitgesloten moet worden (MEPC, 2021).

4.3 Vereiste EEXI-waarde

De vereiste EEXI-waarde voor de Stena Transporter wordt berekend aan de hand van de al bestaande EEDI-referentielijn waarop een reductie wordt toegepast zoals in voorschriften 21 en 21A in het theoretisch kader wordt toegelicht. De berekening van de EEDI-referentielijn is als volgt:

$$EEDI\ referentielijn = a * b^{-c}$$

Waarbij de gegevens voor **a**, **b** en **c** uit de tabel onder scheepstype 2.35 in voorschrift 21 gehaald kunnen worden. Voor **b** wordt het draagvermogen gebruikt.

<i>a</i>	902,590
<i>b</i>	9132,000
<i>c</i>	0,381

$$EEDI\ referentielijn = 902,590 * 9132,000^{-0,381} = 27,959\ gCO_2/t \cdot nm$$

Vervolgens kan de vereiste EEXI-waarde worden berekend waarbij de waarde voor **Y** specifiek per scheepstype en draagvermogen bepaald wordt en deze voor ro-ro passagiersschepen met een draagvermogen groter dan 1000 ton op 5% gesteld wordt (MEPC, 2020).

$$Vereiste\ EEXI = \left(1 - \frac{Y}{100}\right) * EEDI\ referentielijn$$

$$Vereiste\ EEXI = \left(1 - \frac{5}{100}\right) * 27,959 = 26,561\ gCO_2/t \cdot nm$$

4.4 Vereiste CII-waarde

De vereiste CII-waarde voor de Stena Transporter wordt berekend aan de hand van de CII-referentiewaarde van 2019. Deze referentiewaarde wordt bepaald met de volgende formule:

$$CII_{ref} = a * Capacity^{-c}$$

Waarbij de gegevens voor **a**, **Capacity** en **c** uit de tabel in de *richtlijnen referentielijnen voor gebruik van de operationele CII* gehaald kunnen worden. Voor **Capacity** wordt het bruto tonnage (GT) gebruikt.

<i>a</i>	7691,000
<i>Capacity</i>	33690,000
<i>c</i>	0,586

$$CII_{ref} = 7691,000 * 33690,000^{-0,586} = 17,095\ gCO_2/t \cdot nm$$

De vereiste jaarlijkse operationele CII wordt voor elk jaar apart berekend tussen 2023 en 2030 met de volgende formule:

$$Required\ annual\ operational\ CII = \left(1 - \frac{Z}{100}\right) \times CII_{ref}$$

Waarbij **Z** de reductiefactor is voor een bepaald jaar van 2023 tot en met 2030. Gekeken naar vraag en aanbod zijn er verschillende reductie-factors die gehanteerd worden. Gebaseerd op aanbod zal er sterker gereduceerd moeten worden dan wanneer gebaseerd wordt op vraag. Met de formule en gegeven reductie-factors kunnen alle vereiste CII-waarden per jaar berekend worden (MEPC, 2021).

$$\text{Required annual operational CII}_{(2023, \text{vraag})} = \left(1 - \frac{2}{100}\right) \times 17,095 = 16,753 \text{ gCO}_2/\text{t} \cdot \text{nm}$$

jaar	vraag (gCO ₂ /t×nm)	reductie (%)	aanbod (gCO ₂ /t×nm)	reductie (%)
2023	16,753	2,0	15,727	8,0
2024	16,668	2,5	15,385	10,0
2025	16,582	3,0	15,044	12,0
2026	16,497	3,5	14,702	14,0
2027	16,411	4,0	14,360	16,0
2028	16,326	4,5	14,018	18,0
2029	16,240	5,0	13,676	20,0
2030	16,155	5,5	13,334	22,0

Figuur 10: Vereiste CII-waarden per jaar op vraag (links) en aanbod (rechts) gebaseerd met bijbehorende reductiefactor

4.5 Resultaten bereikte EEXI- en CII-waarde

De berekening van de bereikte EEXI-waarde van de Stena Transporter is door middel van de eerdergenoemde formules en variabelen uitgevoerd met behulp van Excel. In [bijlage 2](#) staan aanvullende algemene scheepsgegevens van de Stena Transporter die gebruikt zijn. De resultaten en de berekeningen zijn te vinden in [bijlage 3](#). De huidige EEXI-waarde en CII-waarde (2020) zijn als volgt:

$$\begin{aligned}
 EEXI_{\text{Stena Transporter}} &= \\
 &= \frac{(0,325)(15074,628 \cdot 3,206 \cdot 184,100) + (1125,372 \cdot 3,206 \cdot 184,100)}{1,020 \cdot 1,000 \cdot 9132,000 \cdot 1,000 \cdot 21,763 \cdot 1,050} \\
 &= 16,701 \text{ gCO}_2/\text{t} \cdot \text{nm} \\
 CII_{\text{Stena Transporter}(2020)} &= \frac{30275335620,000}{2322960537,600} = 13,033 \text{ gCO}_2/\text{t} \cdot \text{nm}
 \end{aligned}$$

Voor de bereikte CII-waarde worden schepen ingedeeld in een koolstofintensiteitsgraad welke loopt van A tot en met E. De Stena Transporter zou met de data van 2020 de graad B krijgen, dit betekent beter dan gemiddeld. De verlopen van de koolstofintensiteitsgraad voor de Stena Transporter specifiek is te vinden in de grafieken in [bijlage 4](#). Deze is samengesteld met behulp van de CII-beoordelingsrichtlijnen (MEPC, 2021).

4.6 Analyse maatregelen resultaten

In figuur 11 zijn de berekende waarden voor EEXI en CII in de huidige situatie en in de specifieke situaties met de vier toegepaste CO₂ reducerende maatregelen opgesomd.

EEXI resultaten	Waarde (gCO ₂ /t-nm)	CII resultaten	Waarde (gCO ₂ /t-nm)
<i>EEDI</i> _{Referentielijn}	27,959	<i>CII</i> _{Referentielijn}	17,095
<i>EEXI</i> _{Vereistewaarde}	26,561	<i>CII</i> _{Vereiste waarde(2023)}	15,727
<i>EEXI</i> _{StenaTransporter}	16,701	<i>CII</i> _{StenaTransporter(2020)}	13,033
<i>EEXI</i> _{StenaTransporter(EPL)}	14,248	<i>CII</i> _{StenaTransporter(EPL)}	10,062
<i>EEXI</i> _{StenaTransporter(LNG)}	10,545	<i>CII</i> _{StenaTransporter(LNG)}	7,603
<i>EEXI</i> _{StenaTransporter(Methanol)}	7,163	<i>CII</i> _{StenaTransporter(Methanol)}	5,755
<i>EEXI</i> _{StenaTransporter(Hybride)}	13,052	<i>CII</i> _{StenaTransporter(Hybride)}	9,775

Figuur 11: Resultaten EEXI- en CII-berekeningen van dit onderzoek

De vier maatregelen zijn Engine Power Limitation (EPL), de alternatieve brandstoffen LNG en methanol en een hybride voortstuwing met batterijen. De berekening van de waarden bij de vier maatregelen is met behulp van de berekening en data van de huidige situatie gemaakt. In de onderliggende paragrafen is de toepassing van de verschillende maatregelen toegelicht met afsluitend de grafische weergaven van figuur 11.

4.6.1 Engine Power Limitation (EPL)

Met de toepassing van een EPL wordt het vastgestelde geïnstalleerd motorvermogen (*MCR*) gelimiteerd waarbij de CO₂-uitstoot reduceert. De snelheid zal afnemen met ± 8,4%. In de berekeningen van de EEXI- en CII-waarden is uitgegaan van een EPL op 75% van het *MCR*.

4.6.2 LNG

Wanneer de alternatieve brandstof LNG wordt toegepast zullen de hoofdmotoren moeten worden aangepast naar een dual-fuel configuratie. Hierbij veranderen de eigenschappen van de hoofdmotoren en daarmee ook de variabelen in de berekening. Als referentie is de MAN 9L51/60DF motor gekozen om de berekening uit te voeren. Echter resulteert dit in een vermogensverlies van ± 19% en een snelheidsverlies van ± 6%. Verder is enkel de conversiefactor van de brandstof anders.

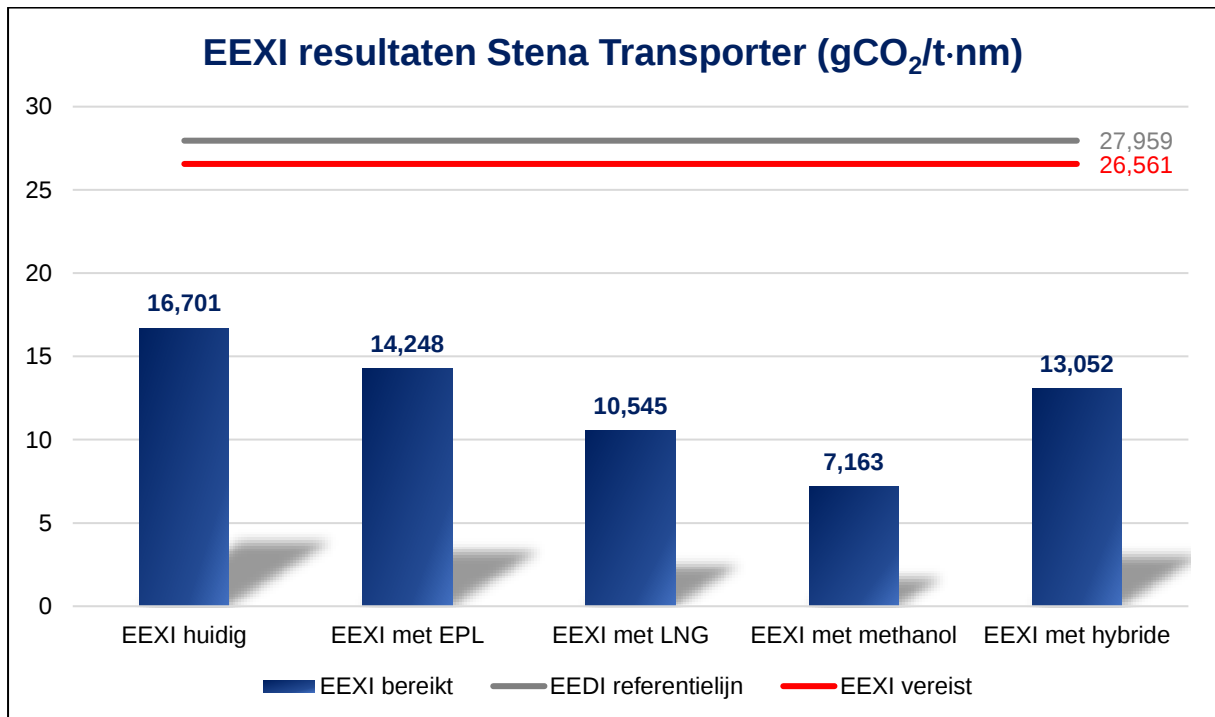
4.6.3 Methanol

De Stena Germanica is een van de eerste schepen omgebouwd om te varen op methanol (The Motorship, 2020). De conversiefactor van de brandstof is bij methanol de enige veranderende variabele, daardoor blijven vermogen (*P_{ME}*) en snelheid (*V_{ref}*) behouden.

4.6.4 Hybride

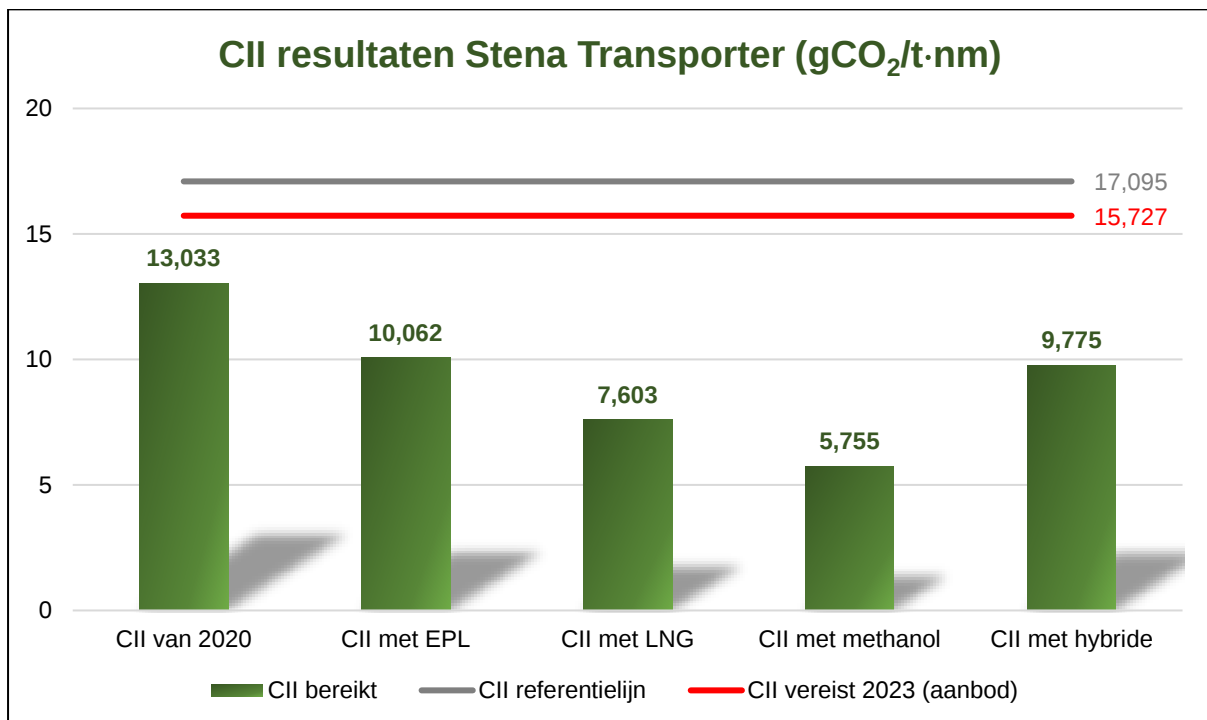
De toepassing van hybride voortstuwing zal gedaan worden met het plaatsen van batterijen aan boord om een deel van het *MCR* van de hoofdmotoren over te nemen. In dit onderzoek wordt 25% van het *MCR* voorzien door batterijen waardoor de CO₂-uitstoot gereduceerd wordt. In tegenstelling tot andere maatregelen blijft de snelheid (*V_{ref}*) ongewijzigd.

4.6.5 Grafische weergave EEXI-resultaten



Figuur 12

4.6.6 Grafische weergave CII-resultaten



Figuur 13

5. Discussie

Validiteit

Bij afronding van dit onderzoek zijn de nieuwe MARPOL Annex VI voorschriften waarop dit onderzoek van toepassing is nog in ontwikkeling. De berekeningen en resultaten in dit onderzoek zijn zo nauwkeurig mogelijk uitgevoerd met de laatst beschikbare concepten van de nieuwe voorschriften. Omdat de ontwikkeling van de gebruikte voorschriften zich in hun laatste fase bevinden kan gesteld worden dat de resultaten in dit onderzoek valide zijn.

Interpretatie resultaten

In de onderzoeksvraag van dit onderzoek wordt de verwachting geschept dat een verbetering van de Stena Transporter nodig is om te kunnen voldoen aan de nieuwe voorschriften. De resultaten komen niet overeen met deze verwachting want het schip voldoet zonder verbeteringen aan de nieuwe voorschriften wat daarmee een gunstige uitkomst is. Een verklaring van deze gunstige uitkomst is dat de Stena Transporter slechts 5% moet reduceren ten opzichte van de referentiewaarde, waardoor de vereiste EEXI-waarde relatief hoog ligt. De relatief lage bereikte EEXI-waarde is onder andere verklaarbaar door de f_{jRoRo} correctiefactor die toegepast wordt en specifiek bij ro-ro vracht- en passagiersschepen van toepassing is.

Bij de CII-berekeningen wordt gebruik gemaakt van het bruto tonnage van het schip in plaats van de vervoerde lading of draagvermogen in tonnen. Dit verklaart de wederom gunstige resultaten omdat het bruto tonnage bijna viermaal het draagvermogen betreft. Met dit onderzoek is aangetoond dat specifiek ro-ro vracht- en passagiersschepen weinig problemen zullen ondervinden van de invoering van de nieuwe voorschriften in het MARPOL Annex VI doordat ze mogelijk gunstige waarden hebben.

Beperkingen onderzoek

Doordat de nieuwe voorschriften van het MARPOL Annex VI nog in ontwikkeling zijn, zijn de bronnen hiervan voor dit onderzoek beperkt of zijn alleen beschikbaar als concept. Wanneer de nieuwe voorschriften officieel zijn opgenomen in het MARPOL kunnen de resultaten uit dit onderzoek gecontroleerd en eventueel verbeterd worden. De resultaten van de vergelijkingsanalyse tussen de verschillende maatregelen zullen daarmee betrouwbaarder worden. Stena Rederi AB in Zweden heeft de resultaten van het onderzoek gecontroleerd. In dit onderzoek zijn de financiële en technische uitdagingen voor wat betreft de toepassing van CO₂ reducerende maatregelen buiten beschouwing gelaten. Dit is een beperking wat in een vervolgonderzoek verder uitgewerkt kan worden, omdat deze uitdagingen een grote rol kunnen spelen voor een rederij in de keuze tussen verschillende maatregelen.

Implicaties

Aan de hand van dit onderzoek kan in de komende tijd alles worden voorbereid om te voldoen aan de definitieve nieuwe voorschriften van het MARPOL waardoor uiteindelijk de nieuwe certificaten uitgegeven kunnen worden voor de Stena Transporter en andere schepen. Wanneer er gekozen wordt de uitstoot verder te reduceren kan dit onderzoek helpen de juiste beslissing voor een bepaalde uitstoot reducerende maatregel te maken.

6. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de hoofd- en deelvragen teruggekoppeld en beantwoord met de conclusies die getrokken zijn naar aanleiding van het onderzoek en de resultaten ervan.

1. *Wat houden de nieuwe voorschriften van MARPOL Annex VI hoofdstuk 4 in?*

In [paragraaf 2.2](#) zijn de huidige en nieuwe voorschriften uitgebreid samengevat. Hieruit komt duidelijk naar voren dat vanaf 2023 alle bestaande schepen moeten voldoen aan de technische eis waarbij de bereikte EEXI-waarde onder de vereiste EEXI-waarde moet liggen. Daarnaast moet de jaarlijkse operationele CII opgegeven worden welke tot en met 2030 jaarlijkse CO₂-uitstoot reductie bevordert en schepen een koolstofintensiteitsgraad uitdeelt.

2. *Wat is de toepassing van deze voorschriften aan boord van de Stena Transporter?*

Op de Stena Transporter wordt onder de huidige voorschriften voldaan aan de SEEMP-richtlijnen (voorschrift 22) en het opgeven van de brandstofverbruiksgegevens (voorschrift 22A). Met de nieuwe voorschriften zal de Stena Transporter vanaf 2023 moeten voldoen aan de vereiste EEXI-waarde en de jaarlijkse operationele CII moeten opgeven. In [hoofdstuk 4](#) zijn de bereikte EEXI- en bereikte CII-waarden berekend voor de Stena Transporter.

3. *Welke maatregelen zijn beschikbaar om te voldoen aan de nieuwe voorschriften?*

In het theoretisch kader onder [paragraaf 2.4](#) zijn alle mogelijke maatregelen voor de reductie van CO₂-uitstoot samengevat. Hier is geconcludeerd dat de volgende vier maatregelen het beste konden worden opgenomen in dit onderzoek: Engine Power Limitation (EPL), de alternatieve brandstoffen LNG en methanol en een hybride voortstuwing met batterijen.

4. *Welke maatregel heeft de meeste potentie voor uitvoering en waarom?*

Naar aanleiding van de resultaten in [hoofdstuk 4](#) is geconcludeerd dat de maatregel met de meeste potentie de alternatieve brandstof methanol is. Door de bestaande motoren voor te bereiden op het varen op methanol kan theoretisch gezien ruim de helft aan CO₂-uitstoot gereduceerd worden.

In dit onderzoek is gezocht naar antwoord op de hoofdvraag: *Welke verbeteringen kunnen er aan boord van de Stena Transporter toegepast worden om aan de nieuwe voorschriften van MARPOL Annex VI hoofdstuk 4 vanaf 2023 te voldoen?*

Om te voldoen aan de nieuwe voorschriften vanaf 2023 moeten de bereikte EEXI- en CII-waarden onder de gestelde vereiste waarden liggen. De bereikte EEXI-waarde van 16,701 gCO₂/t-nm ligt $\pm 37\%$ onder de vereiste EEXI-waarde (26,561 gCO₂/t-nm) en voldoet daarmee. De bereikte CII-waarde voor 2020 van 13,033 gCO₂/t-nm ligt $\pm 17\%$ onder de vereiste CII-waarde voor 2023 en voldoet daarmee. Wanneer de jaarlijkse CII gelijk blijft of zakt zal de Stena Transporter ook in 2030 voldoen aan de MARPOL-voorschriften. Dat betekent dat voor dit schip geen verbetering vereist is om de CO₂-uitstoot te reduceren. Gezien het antwoord op deelvraag 4, is methanol als alternatief voor zware stookolie de verbetering die voor de grootste CO₂-uitstoot reductie zorgt en daarom het beste kan worden toegepast. Ondanks er geen technische aanpassing vereist is, zal de Stena Transporter wel moeten worden voorzien van een nieuw International Energy Efficiency Certificate (IEEC) en een Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) update.

6.1 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de conclusie wordt aanbevolen de huidige situatie in stand te houden daar geen technische aanpassing en/of verbetering ten behoeve van de CO₂-uitstoot noodzakelijk is. Dit is de eenvoudigste optie en voorkomt uitdagingen op financieel en technisch gebied. Het is goed om voor de lange termijn te kijken naar mogelijkheden om deze uitdagingen aan te gaan en alsnog CO₂-uitstoot te reduceren vanaf het huidige niveau. In de nieuwe voorschriften worden eisen gesteld tot en met het jaar 2030, na dit jaar zullen de voorschriften hoogstwaarschijnlijk strikter worden en uiteindelijk zal er CO₂ neutraal gevaren moeten worden. Verder wordt aanbevolen de berekeningen voor alle schepen van Stena Line BV uit te voeren zodat ook bij deze schepen de huidige situatie bekend wordt en eventuele vervolgstappen gemaakt kunnen worden aan de hand van de resultaten.

Na afronding van dit onderzoek zal naar verwachting de definitieve aanpassing van de voorschriften worden opgenomen in het MARPOL Annex VI. Aanbevolen wordt om aan de hand van de definitief geldende voorschriften en dit onderzoek de berekening te controleren en corrigeren waar nodig. Vervolgens kunnen de verplichte documenten in orde gemaakt worden om aan te leveren bij het klassebureau die de juiste certificaten zal uitgeven.

Wanneer op dit onderwerp van CO₂-uitstoot verder onderzoek wordt gedaan worden de volgende suggesties gedaan voor eventuele vervolgonderzoeken.

- Onderzoek naar de financiële en technische uitdagingen van bepaalde CO₂-uitstoot reducerende maatregelen, zoals de alternatieve brandstof methanol.
- Onderzoek naar de verwachte levensduur van de Stena Transporter in relatie met de verwachte dalende CO₂-uitstootnormen.
- Onderzoek naar de mogelijkheden om ro-ro passagiersschepen met een lagere CO₂-uitstoot of zelfs CO₂-neutraal te laten varen.

Literatuurlijst

- DNV GL. (2020, november 20). *New GHG regulations for ships approved during IMO MEPC 75 meeting*. Opgehaald van DNV: <https://www.dnv.com/news/new-ghg-regulations-for-ships-approved-during-imo-mepc-75-meeting-191311>
- Faber, J., Hanayama, S., Zhang, S., Pereda, P., Comer, B., Hauerhof, E., . . . Kleijn, A. (2020). *Fourth IMO GHG Study*. Delft: CE Delft. doi:20.190164.093a
- IMO. (2020, november 18). *IMO Environment Committee approves amendments to cut ship emissions*. Opgehaald van International Maritime Organization: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/42-MEPC-short-term-measure.aspx>
- MARPOL 73/78. (1973, november 2). Internationaal Verdrag ter voorkoming van verontreiniging door schepen, 1973, zoals gewijzigd door het Protocol van 1978 daarbij. Londen: International Maritime Organization. Opgehaald van <https://wetten.overheid.nl/BWBV0003241/2021-01-01/>
- MEPC. (2018). 2018 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS. *RESOLUTION MEPC.308(73)*. Londen: International Maritime Organization.
- MEPC. (2020). DRAFT AMENDMENTS TO MARPOL ANNEX VI. Londen: International Maritime Organization.
- MEPC. (2021). DRAFT GUIDELINES ON METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY EXISTING SHIP INDEX (EEXI). *MEPC 76/7/X*. Londen: International Maritime Organization.
- MEPC. (2021). Draft Guidelines on Operational Carbon Intensity Indicators and the Calculation Methods. *CII guidelines*. Londen: International Maritime Organization.
- MEPC. (2021). Draft Guidelines on the Operational Carbon Intensity Rating of Ships. *CII Rating Guidelines*. Londen: International Maritime Organization.
- MEPC. (2021). Draft Guidelines on the Operational Carbon Intensity Reduction Factors Relative to Reference Lines. *CII Reduction factor guidelines*. Londen: International Maritime Organization.
- MEPC. (2021). Draft Guidelines on the Reference Lines for Use with Operational Carbon Intensity Indicators. *CII Reference line guidelines*. Londen: International Maritime Organization.
- OECD. (2018). *Decarbonising Maritime Transport - Pathways to zero-carbon shipping by 2035*. Parijs: The International Transport Forum - OECD. Opgehaald van <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/decarbonising-maritime-transport.pdf>
- The Motorship. (2020, april 14). *STENA GERMANICA REACHES METHANOL OPERATION MILESTONE*. Opgehaald van The Motorship: <https://www.motorship.com/news101/alternative-fuels/stena-germanica-reaches-methanol-operation-milestone>

Bijlage 1: Voorbeeld Excel-sheet berekeningen

S/N	Variabele	Gegevensbron	Waarde	Eenheid
1	$Capacity$	Stability booklet		t
2	$C_{FME(i)}$	MEPC.308(73)		
3	C_{FAE}	MEPC.308(73)		
4	P_{AE}	NAPA (2020)		kW
5	$P_{ME(i)}$	NOx Technical File		kW
6	$P_{PTO(i)}$	Electric Load Analysis		kW
7	SFC_{AE}	NOx Technical File		g/kWh
8	SFC_{ME}	NOx Technical File		g/kWh
9	V_{ref}	Speed Trial Analysis		kn
10	f_c	MEPC.308(73)		
10.1	DWT	Stability booklet		t
10.2	GT	Stability booklet		
11	f_i	MEPC.308(73)		
11.1	$f_{i(ice\ class)}$	Stability booklet		
11.2	f_{ic_b}	MEPC.308(73)		
12	f_j	MEPC.308(73)		
12.1	F_{n_L}	MEPC.308(73)		
12.2	L_{pp}	Stability booklet		m
12.3	g	MEPC.308(73)		m/s ²
12.4	B_s	Stability booklet		m
12.5	d_s	Stability booklet		m
12.6	∇	Stability booklet		m ³
12.7	α	MEPC.308(73)		
12.9	β	MEPC.308(73)		
12.10	γ	MEPC.308(73)		
12.11	δ	MEPC.308(73)		
13	f_m	MEPC.308(73)		
14	f_w	MEPC.308(73)		
$EEXI_{Stena\ Transporter}$				gCO ₂ /t·nm

S/N	Variabele	Gegevensbron	Waarde	Eenheid
1	M	CII guidelines		gCO ₂
1.1	j	MEPC.308(73)		
1.2	FC_j	Logboek 2020		g
1.3	FE_j	Logboek 2020		g
1.4	C_{Fj}	MEPC.308(73)		
2	W_s	CII guidelines		t·nm
2.1	C	Stability booklet		t
2.2	D_t	Logboek 2020		nm
2.3	D_x	Logboek 2020		nm
$CII_{Stena\ Transporter(2020)}$				gCO ₂ /t·nm

Bijlage 2: Algemene scheepsgegevens Stena Transporter

Gegeven	Gegevensbron	Waarde	Eenheid
Schip		Stena Transporter	
IMO-nummer		9469376	
IJsklasse (ice-class)	Stability booklet	IA	
Draagvermogen (<i>DWT</i>)	Stability booklet	9132,000 t	
Bruto-tonnenmaat (<i>GT</i>)	Stability booklet	33690,000	
Lengte tussen loodlijnen (<i>L_{pp}</i>)	Stability booklet	194,800 m	
Breedte	Stability booklet	26,700 m	
Diepgang	Stability booklet	6,300 m	
Displacement (Δ)	Stability booklet	21442,000 t	
Volumetrisch displacement (∇)	Stability booklet	20919,024 m ³	
Hoofdmotoren			
Brandstoftype	NOx Technical File	Marine Diesel Oil	
Vermogen (<i>MCR</i>)	NOx Technical File	21600,000 kW	
Spec. brandstofverbruik (<i>SFC</i>)	NOx Technical File	184,100 g/kWh	
Conversiefactor (C_F)	MEPC.308(73) 2.2.1	3,206	
Hulpmotoren			
Brandstoftype	NOx Technical File	Marine Diesel Oil	
Vermogen (<i>MCR</i>)	NOx Technical File	2900,000 kW	
Spec. brandstofverbruik (<i>SFC</i>)	NOx Technical File	179,900 g/kWh	
Conversiefactor (C_F)	MEPC.308(73) 2.2.1	3,206	
Asgeneratorvermogen	Electric Load Analysis	4100,000 kW	
Snelheid (V_{ref})	Speed Trial Analysis	21,763 kn	

Bijlage 3: EEXI- en CII-berekening en resultaten

S/N	Variabele	Gegevensbron	Waarde	Eenheid
1	$Capacity$	Stability booklet	9132,000 t	
2	$C_{FME(i)}$	MEPC.308(73)	3,206	
3	C_{FAE}	MEPC.308(73)	3,206	
4	P_{AE}	NAPA (2020)	1125,372 kW	
5	$P_{ME(i)}$	NOx Technical File	15074,628 kW	
6	$P_{PTO(i)}$	Electric Load Analysis	3075,000 kW	
7	SFC_{AE}	NOx Technical File	184,100 g/kWh	
8	SFC_{ME}	NOx Technical File	184,100 g/kWh	
9	V_{ref}	Speed Trial Analysis	21,763 kn	
10	f_c	MEPC.308(73)	1,000	
10.1	DWT	Stability booklet	9132,000 t	
10.2	GT	Stability booklet	33690,000	
11	f_i	MEPC.308(73)	1,020	
11.1	$f_{i(ice\ class)}$	Stability booklet	1,020	
11.2	f_{ic_b}	MEPC.308(73)	1,000	
12	f_j	MEPC.308(73)	0,325	
12.1	F_{n_L}	MEPC.308(73)	0,256	
12.2	L_{pp}	Stability booklet	194,800 m	
12.3	g	MEPC.308(73)	9,810 m/s ²	
12.4	B_s	Stability booklet	26,700 m	
12.5	d_s	Stability booklet	6,300 m	
12.6	∇	Stability booklet	20919,024 m ³	
12.7	α	MEPC.308(73)	2,500	
12.9	β	MEPC.308(73)	0,750	
12.10	γ	MEPC.308(73)	0,750	
12.11	δ	MEPC.308(73)	1,000	
13	f_m	MEPC.308(73)	1,050	
14	f_w	MEPC.308(73)	1,000	
<i>EEXI_{StenaTransporter}</i>			16,701 gCO₂/t·nm	

S/N	Variabele	Gegevensbron	Waarde	Eenheid
1	M	CII guidelines	30275335620,000 gCO ₂	
1.1	j	MEPC.308(73)	Heavy Fuel Oil	
1.2	FC_j	Logboek 2020	9722330000,000 g	
1.3	FE_j	Logboek 2020	0,000 g	
1.4	C_{Fj}	MEPC.308(73)	3,114	
2	W_s	CII guidelines	2322960537,600 t·nm	
2.1	C	Stability booklet	33690,000 t	
2.2	D_t	Logboek 2020	68951,040 nm	
2.3	D_x	Logboek 2020	0,000 nm	
<i>CII_{StenaTransporter(2020)}</i>			13,033 gCO₂/t·nm	

Bijlage 4: Verloop koolstofintensiteitsgraad voor CII-waarden

In de onderstaande grafieken is te achterhalen welke koolstofintensiteitsgraad gegeven wordt voor een bepaalde bereikte CII-waarde wanneer gekeken wordt naar vraag of aanbod. De zwarte strepenlijn is de vereiste CII-waarde waarop de 'rating' gebaseerd is. Wanneer de Stena Transporter tot en met 2030 gelijke prestaties blijft leveren zal deze graad C krijgen.

