

LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Scheepsbrandstoffen voor werk- en transportschepen

Hoofdstuk 18

Datum rapportage: 12 05 2025
Versie rapportage: v1.0

Opdrachtgever: Havenbedrijf Rotterdam , Rijkswaterstaat en Vereniging van
Waterbouwers
Opdrachtnemer(s): EcoReview NL B.V.

Auteur(s): Stijn Mulder, EcoReview NL B.V.
Peer reviewer(s): Martijn van Hovell, SGS

Wijzigingenregister

Versie rapport	Datum	Opsteller	Peer Reviewer	Gewijzigde productkaarten	Toelichting
1	07/05/2025	Stijn Mulder	Martijn van Hovell	-	Originele rapportage

Toelichting: Wanneer er verschillende versies zijn gehanteerd voor de (deel)producten / productkaarten in het rapport (bijv. als er (deel)producten / productkaarten op een later moment zijn toegevoegd), dient dit hier duidelijk te zijn aangegeven welke (deel)producten / productkaarten zijn opgesteld met de desbetreffende versie van het rapport



Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1. Inleiding.....	8
Doelstelling en doelgroep	9
Verantwoording.....	9
Leeswijzer	10
2. Methode	11
Aanpak.....	11
Scope.....	11
Systeemgrenzen	13
3. Levenscyclusinventarisatie (LCI).....	14
Dataverzameling	14
3.1 LCI Basisprocessen	15
3.1.1 Energiedragers.....	15
3.1.2. Emissieprofielen.....	49
3.1.3. Kapitaalgoederen	53
4. LCI Combinaties	60
4.1. Werkschepen Combinaties.....	60
4.1.1. Zout.....	60
4.1.2 Zoet	64
4.2. Transport	67
4.2.1. Transport Zeegaand.....	68
4.2.2. Transport Binnenvaart.....	70
5. Resultaten	72
Berekening milieuprofiel	72
5.1 Gekarakteriseerde resultaten en gewogen resultaat	73
5.1.3. Werken Zout en Zoet	73
5.1.4. Transport Zeegaand.....	77
5.1.5. Transport Binnenvaart.....	79
5.2 Duiding van de resultaten (Zwaartepuntanalyse)	81
5.2.4 Transport zeegaand	99
5.3 Gevoeligheidsanalyse.....	102
6. Conclusie.....	111
7. Referenties	118
8. Bijlagen resultaten tabellen transport kaarten	120
9. Bijlagen veranderingen register Ecolnvent 3.6 versus 3.6.....	137

Samenvatting

Aanleiding

Vanuit de groep opdrachtgevers is de wens om de bestaande LCA cat.3. voor werk- en transportschepen bij te werken en uit te breiden. Deze resultaten zijn relevant voor zowel beleidsmakers in relatie tot aanbestedingen, transitiestrategie en klimaatdoelen en voor de scheepvaartsector voor investeringsbeslissingen.

Scope

De resultaten uit deze LCA-rapportage geven inzicht in de milieu impact van werk en transportschepen, zowel zeegaand als binnenvaart. Met werkschepen wordt gerefereerd naar werken en varen t.b.v. baggerwerk, bouwwerkzaamheden, funderingswerk. Voor los materieel aan boord van schepen (b.v. een kraan) kunnen de droogmaterieel milieuprofielen worden toegepast. Met transport wordt gerefereerd naar ton*km vervoer van (bulk)materialen op een zeegaand of binnenvaartschip. Het rapport bevat diverse energiedragers, fossiel, biobrandstoffen en RFNBOs, met name de RFNBOs zijn veelal nog niet beschikbaar op de markt. Deze zijn meegenomen om een toekomstbeeld te schetsen van het potentieel van alternatieve energiedragers.

Methoden

Dit rapport schets een beeld van de (relatieve) milieu impact als gevolg van het gebruiken van diverse energiedragers in schepen. De focus ligt op de Milieu Kosten Indicator (MKI:A2 en MKI:A1). De MKI-score is monetaire score in euro's welke verkregen wordt door diverse impact categorieën te wegen en op te tellen. In de LCA-methoden (EN15804 en NMD-bepalingsmethoden) worden onder andere de grondstoffen en kapitaalgoederen meegenomen, denk hierbij aan het produceren en onderhouden van windmolens of zonnepanelen. Om deze reden hebben ook de duurzame alternatieven milieu impact.

In dit rapport wordt er met name vergeleken op de geleverde arbeid op de as. Deze benadering is gekozen zodat er een vergelijking gemaakt kan worden op MKI tussen alle alternatieven. De energie-inhoud van de energiedragers lopen namelijk sterk uiteenlopen (zo bevat 1 ton H₂ 6 zes keer meer energie dan 1 ton Methanol).

Opbouw

In het document zal eerst de context worden geschetst in de inleiding vervolgens wordt de aanpak en scope toegelicht in hoofdstuk 2. De LCI (hoofdstuk 3) beschrijft alle aannamen, modelleringen en datapunten voor alle basisprocessen. De basisprocessen zijn de diverse elementen (bouwstenen) waar uiteindelijk de diverse energiedrager-schip combinaties mee gemaakt kunnen worden. Deze bouwstenen zijn ingedeeld in drie categorieën; energiedrager, emissieprofiel en kapitaalgoederen. De benadering om van deze basisprocessen tot combinaties te komen staat toegelicht in hoofdstuk 4.

Voor de werkschepen (zoet en zout) is een apart Excel-rekeninstrument gemaakt, deze kaarten zullen niet worden ingevoerd in de NMD. Het rekeninstrument stelt de gebruiker in staat om zelf alle mogelijke combinaties voor de diverse werkschepen uit te rekenen. Er is een selectie gemaakt van 15 transport schepen welke wel in de NMD ingevoerd zullen worden, deze zijn niet beschikbaar in de Excel-rekentool

In hoofdstuk 5 worden alle resultaten voor de werk- en transportschepen visueel toegelicht. De resultatentabellen zijn alleen voor de transportschepen weergegeven en voor de werkschepen is dit te vinden in de Excel-rekentool. Ten slotte, worden in de gevoeligheidsanalyse diverse belangrijke

onzekerheden uitgelicht. Het hoofddoel van deze analyses is om een gevoel te geven over de doorslaggevende variabelen die de relatieve verhoudingen tussen energiedragers kunnen beïnvloeden. Deze zijn cruciaal voor de nuance achter de resultaten welke meegewogen dienen te worden in beleids- en investeringskeuzes.

Context en onzekerheden

De resultaten geven een duidelijke hoofdlijnen waar strategie op afgestemd kan worden. De lezer dient tijdens het interpreteren van de resultaten in ogenschouw te nemen de onderliggende aannames effect kunnen hebben op de relatieve verschillen. De datapunten zijn een moment opname van de huidige beschikbare data en kunnen een grote spreiding hebben, zowel in het heden als naar de toekomst toe. De studie beschrijft een groot scala aan energiedragers en technieken welke allen een andere TRL (Technology Readiness Level) hebben. Zeker voor de energiedragers van de toekomst (RFNBOs) geldt dat er grote onzekerheden zijn omtrent productie, opslag, gebruik, beschikbaarheid etc.. Dergelijke onzekerheden werken twee kanten op en kunnen de MKI zowel laten stijgen als dalen. De implicaties van deze onzekerheden, worden in het rapport waar mogelijk toegelicht en uitgediept in de gevoeligheidsanalyses.

Beknorte Resultaten

Fossiel

Op dit moment kunnen er verschillende fossiele energiedragers worden toegepast (zoals MGO, LNG en Ultra Low Sulfur Diesel) en verbrandingsmotoren met verschillende emissieklassen. De grijze varianten van de innovatieve energiedragers zijn ook in deze categorie opgenomen (grijze ammoniak, waterstof en methanol). Voor zoute schepen loopt de MKI van deze varianten uiteen tussen de €45 MKI:A2 per GJ en €30 MKI:A2 per GJ. Voor zoete werkschepen loopt de MKI uiteen van €51 MKI:A2 per GJ tot €30 MKI:A2 per GJ in de schoonste verbrandingsmotor. In vergelijking met de MKI voor de andere energiedragers is de spreiding beperkt. Concluderend laten de resultaten zien dat er op de korte termijn MKI-reductie behaald kan worden door de emissieklassen van de huidige schepen te verbeteren (20-30% MKI reductie t.o.v. pre TIER/pre CCR).

Biobrandstoffen

Op dit moment kunnen er verschillende biobrandstoffen worden toegepast (zoals HVO, FAME, bio-LNG en in de toekomst bio-Methanol) en verbrandingsmotoren met verschillende emissieklassen. Voor werk schepen loopt de MKI van deze varianten uiteen tussen de €30 MKI:A2 per GJ en €10 MKI:A2 per GJ in de schoonste verbrandingsmotor. De biobrandstoffen geven een lage MKI maar worden vanwege beschikbaarheid gezien als een transitiebrandstof. Bio-methanol is specifiek interessant aangezien dit ook in een brandstofcel toegepast kan worden. Dit is de enige energiedrager waar overgang van fossiel, naar biobrandstof naar RFNBO in dezelfde energiedrager (en aandrijving) mogelijk is.

Richting de Toekomst - RFNBOs

Er verschillende innovatieve energiedragers welke in de toekomst kunnen worden toegepast. Het TRL van deze varianten loopt uiteen en niet alle varianten zijn al beschikbaar op de markt. Deze categorie omvat waterstof (groen en wind), synthetische ammoniak, e-Methanol en elektrisch varen. Voor de zoute werk schepen loopt de MKI van deze varianten uiteen tussen de €30 MKI:A2 per GJ en €6 MKI:A2 per GJ. Voor de zoete werkschepen loopt dit uiteen tussen de €36 MKI:A2 per GJ en €4,8 MKI:A2 per GJ.

Accu elektrisch varen geeft de laagste MKI en de daaropvolgend laagste MKI is waterstof (elektrolyse wind). De RFNBO-varianten van methanol (e-methanol) of van ammoniak (synthetische ammoniak)

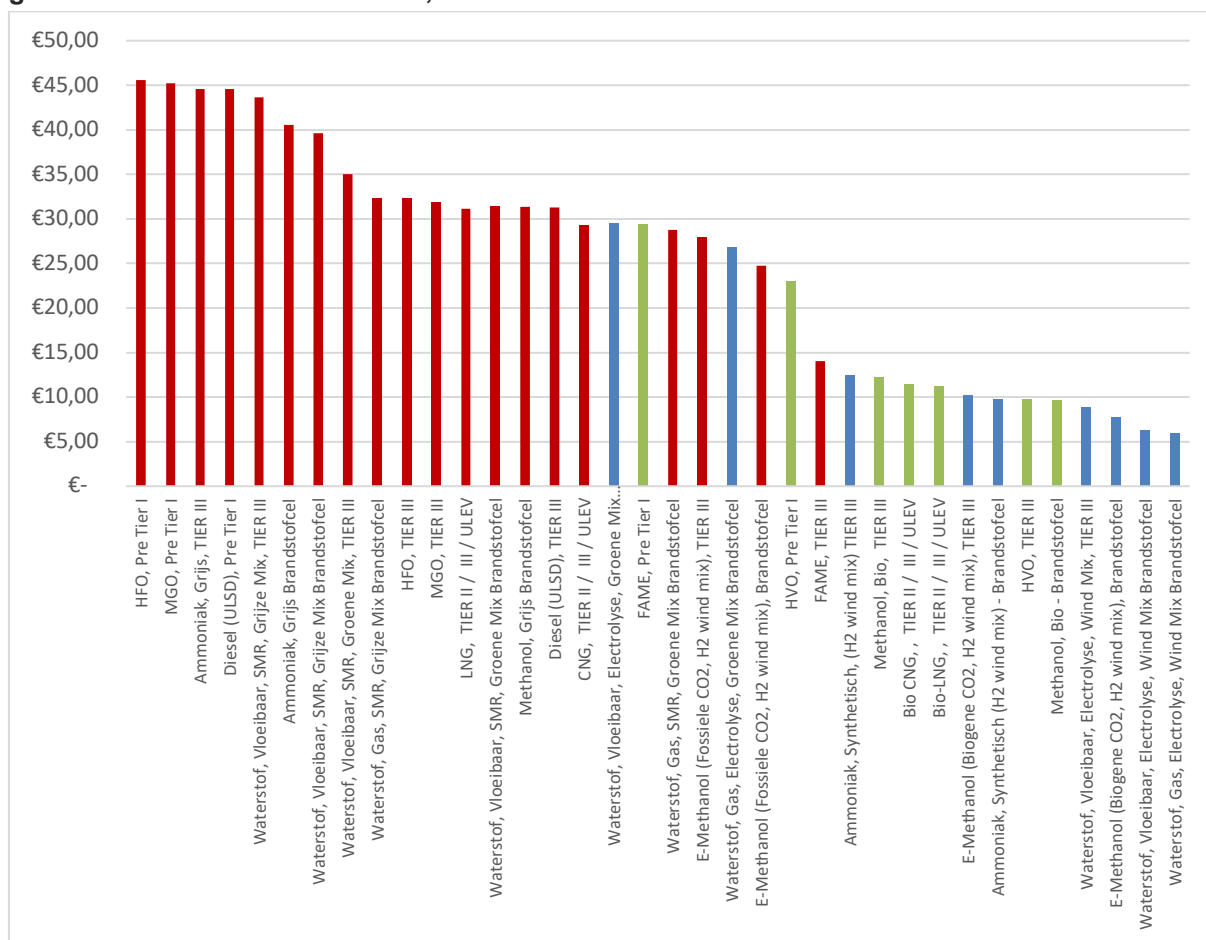
worden uit waterstof geproduceerd en hebben door de additionele opwerkstappen een marginaal hogere MKI van de waterstof zelf. Het is cruciaal dat de waterstof uit een duurzame stroombron wordt geproduceerd. Waterstof op basis van de huidige groene stroom mix scoort vergelijkbaar met de fossiele energiedragers.

Beknpte Conclusie

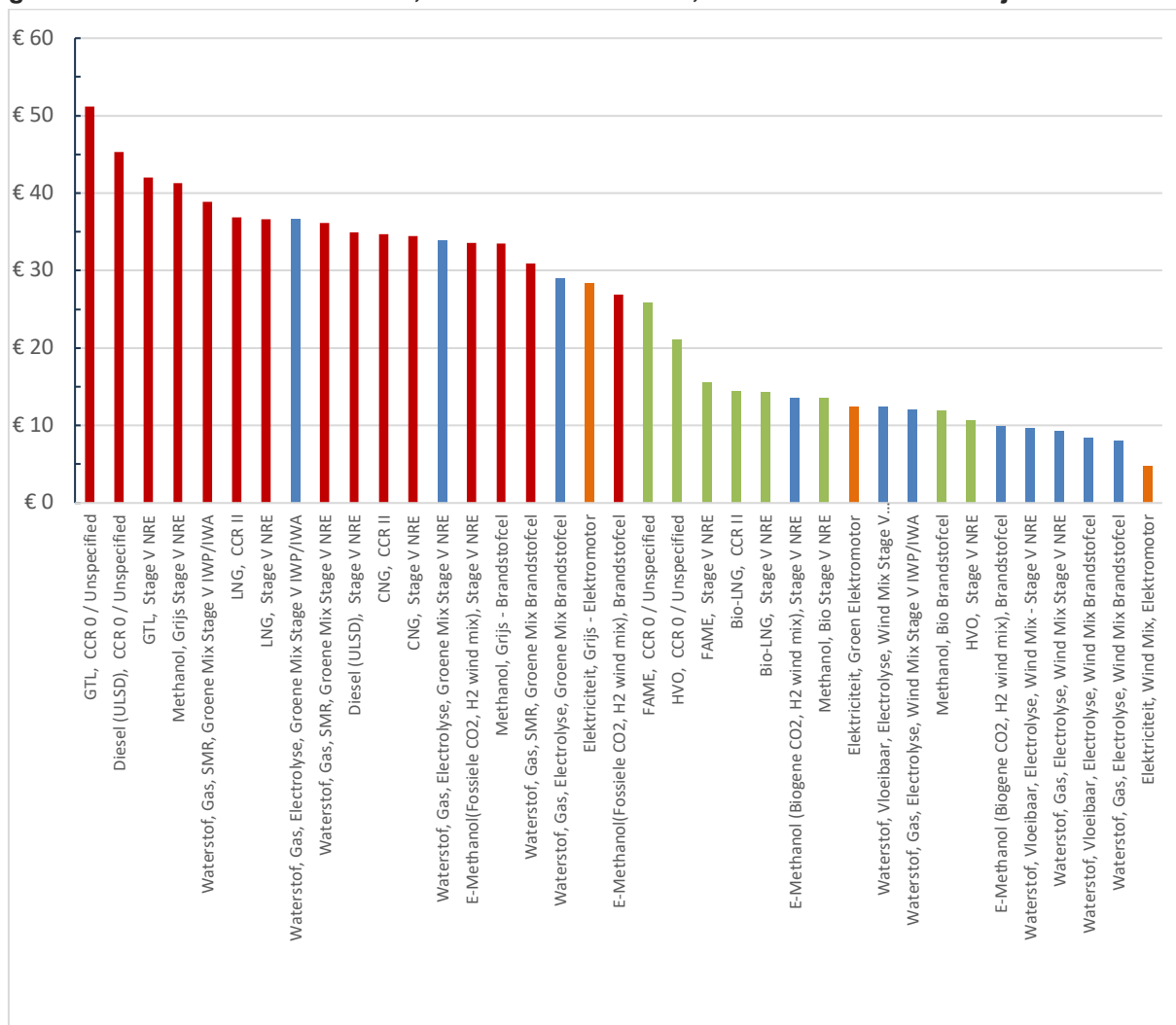
De energiedragers met de laagste MKI-score geven een factor 4 tot 7 maal lagere MKI:A2 dan de fossiele energiedragers met de oudste motoren (Pre TIER I / Pre CCR I). Dit geeft een beeld van de maximaal te behalen milieu reductie t.o.v. de huidige markt. De beschikbaarheid van deze duurzame energiedragers is met name een uitdaging voor de transitie in de scheepvaart. Het aanbod volgt de vraag, echter werpt de investering in een alternatieve aandrijving pas vruchten af zodra de duurzamere RFNBOs ook beschikbaar zijn op de markt.

Op de lange termijn is met name toegang tot voldoende duurzame elektriciteit (met een lage MKI) cruciaal. Dit speelt niet alleen een rol voor de elektrische schepen, maar ook voor de waterstofproductie en de daaruit volgende RFNBOs (zoals e-methanol en synthetische ammoniak). Alleen als er voldoende duurzame stroom beschikbaar is kan de productie van de RFNBOs opschalen.

Figuur 1: Overzicht (van hoog naar laag) voor een selectie zoute werkschepen, MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. Rood – Fossiel, Groen – biobrandstof en blauw - RFNBO.



Figuur 2: Overzicht van hoog naar laag voor selectie zoete werkschepen, MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. Rood – Fossiel, Groen – biobrandstof, blauw – RFNBO en oranje - elektrisch.



1. Inleiding

Deze LCA¹-rapportage beschrijft de uitgangspunten en resultaten voor de categorie 3 data in Hoofdstuk 18 Baggerwerk - Scheepsbrandstoffen in de Nationale Milieudatabase².

De GWW-data in de Nationale Milieudatabase wordt gebruikt voor het berekenen van de MKI-waarde van materialen, producten en processen voor de realisatie van een GWW-werk. Deze MKI-waarde wordt berekend door middel van de bepalingen in de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken'³. Met software-instrumenten zoals DuboCalc⁴ kan met behulp van de Nationale Milieudatabase de MKI-waarde voor een product, object en een compleet project berekend worden.

Opdrachtgevers in de GWW-sector gebruiken deze MKI-berekeningen om in de ontwerpfase van het project afwegingen te kunnen maken tussen verschillende materialen, processen of ontwerpopties. Ze vergelijken dan de MKI-waarde van de verschillende oplossingen en kunnen vervolgens voor het duurzaamste proces (het proces met de laagste MKI-waarde) kiezen. Ook kan in de aanbesteding van een project een gunningscriterium toegepast worden waarbij de inschrijver met de laagste MKI-waarde de hoogste fictieve korting krijgt⁵.

Stichting NMD wil regelmatig de categorie 3 data in de Nationale Milieudatabase actualiseren en verbeteren. Hierop kan iedereen inspraak geven. In de paragraaf "Verantwoording" wordt toegelicht hoe verbeterpunten voor de categorie 3 data bij Stichting NMD kunnen worden aangedragen.

Categorie 3 data wordt automatisch geactualiseerd als Stichting NMD de NMD-basisprocessendatabase actualiseert, bijvoorbeeld als gevolg van een update van de Ecolnvent database of wijziging in verwerking-scenario's einde leven. Dit kan betekenen dat de waarden die in deze rapportage zijn beschreven, zullen verouderen. In dit rapport staat beschreven welke versies van de NMD-Basisprocessendatabase en van de Bepalingsmethode zijn gebruikt voor het opstellen van de data en deze rapportage. De meest actuele categorie 3 data kan altijd ingezien worden in de gevalideerde rekeninstrumenten, zoals DuboCalc.

¹ LCA = Levenscyclusanalyse. Meer informatie, zie bijvoorbeeld <https://www.rivm.nl/life-cycle-assessment-lca/wat-is-lca>

² Meer informatie over de Nationale Milieudatabase: <https://milieudatabase.nl/>

³ Meer informatie over de Bepalingsmethode: <https://milieudatabase.nl/milieuprestatie/bepalingsmethode/>

⁴ Meer informatie over DuboCalc: <https://www.dubocalc.nl/>

⁵ Meer informatie over het gebruik van de MKI-waarde als gunningscriterium: <https://www.dubocalc.nl/hoer-dubocalc-toepassen/>

Doelstelling en doelgroep

In deze studie zijn milieuprofielen opgesteld van Scheepsbrandstoffen (*Baggerwerk, Bouwwerkzaamheden, Funderingswerk en Transport*) op basis van hoofdstuk 18 van de RAW Bepalingen 2020. Het doel van de studie is het aanvullen en verbeteren van de categorie 3 productkaarten in de Nationale Milieudatabase (NMD). De onderhavige rapportage heeft tot doel om de gemaakte keuzes in materialen en milieudata te documenteren als verantwoording. De rapportage zal, naast de ingevoerde productkaarten, worden aangeboden aan de NMD en via de rekeninstrumenten en de website beschikbaar worden gemaakt aan de sector.

De studie is opgesteld voor de volgende doelgroepen:

- ☐ Stichting NMD als beheerder van de NMD.
- ☐ Opdrachtgevers in de GWW-sector als basis voor referentieontwerpen, verkennende (ontwerp)studies en voor gebruik in aanbestedingen.
- ☐ Marktpartijen zoals ingenieurs- en adviesbureaus en aannemers actief in de GWW-sector als informatiebron voor het gebruik van de NMD-data via rekeninstrumenten.
- ☐ Opstellers van LCA's om inzicht te krijgen in de uitgangspunten van de categorie 3 data.

Verantwoording

De LCA is uitgevoerd conform de eisen en richtlijnen uit het “Protocol Opstellen en Peer Reviewen categorie 3 productkaarten GWW”, welke in lijn is met de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken. De Bepalingsmethode is gebaseerd op de laatste versies van de *ISO 14040 - ISO14044* en de *NEN-EN 15804-A2*)⁶.

De LCA is in opdracht Havenbedrijf Rotterdam, Rijkswaterstaat en Vereniging van Waterbouwers uitgevoerd door Stijn Mulder van EcoReview NL B.V.. De gegevensverzameling heeft plaatsgevonden in de periode van Juni 2024 tot Februari 2025 waarna aansluitende de berekeningen zijn uitgevoerd en het LCA-dossier is opgesteld.

De datacollectie is door Stijn Mulder, EcoReview uitgevoerd in samenwerking met Jorrit Harmsen, TNO. De verkregen data zijn daarnaast gecontroleerd en besproken met een specifiek opgestelde technische commissie. Deze commissie is gevormd door relevante marktpartijen waaronder; Boskalis, de Klerk Waterbouw, Van den Herik, Rijkswaterstaat, Van Oord en de Vereniging van Waterbouwers. De aangeleverde datapunten zijn een weergave van de stand van zaken zoals deze beschikbaar was op het moment van schrijven. De lezer dient in acht te nemen dat er door de tijd heen veranderingen kunnen zijn in de onderliggende datapunten en parameters.

Het LCA-dossier dat in het kader van deze studie is opgesteld, is niet volledig getoetst conform het toetsingsprotocol door een erkend LCA-deskundige. Echter de studie is wel getoetst door Martijn Van Hovell (SGS) met behulp van de “peer review” conform “Protocol Opstellen en Peer Reviewen categorie 3 productkaarten GWW”. In deze crosscheck is gekeken naar o.a. de uitgangspunten van productsamenstelling en materiaalgebruik op basis van ontwerp- en praktijkkennis. Ook is de rekenwijze gecontroleerd.

De productkaarten zoals deze op basis van deze studie zijn ingevoerd, zijn in beheer bij Stichting NMD. De studie is zorgvuldig uitgevoerd. Indien echter een derde van mening is dat de ingevoerde productkaarten en/of de onderhavige rapportage fouten bevatten, dan kan er een verzoek tot

⁶ Alleen het optellen van milieu-impactscores tot een totaalscore (de MKI, zie hoofdstuk 4.6) valt buiten de ISO14044.

rectificatie worden ingediend bij Stichting NMD. Deze zal een dergelijk verzoek conform haar procedures afwikkelen. Hiervoor kan een e-mail gestuurd worden aan info@milieudatabase.nl.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de methode voor de LCA beschreven. Hierin zijn onder andere de scope, systeemgrenzen en de functionele eenheid vastgelegd.

In hoofdstuk 3 staat de levenscyclusinventarisatie. De productbeschrijving, productsamenstelling en de inventarisatie van de levenscyclusanalyse komen hierin aan bod. Daarnaast worden alle combinaties gemaakt vanuit de basisprocessen.

In hoofdstuk 5 zijn de resultaten en de zwaartepuntanalyse beschreven en worden specifieke gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

In Hoofdstuk 6 worden de conclusies weergegeven



2. Methode

Aanpak

Dit rapport beschrijft alle (deel)producten binnen dit RAW-hoofdstuk, welke binnen hetzelfde hoofdstuk als een productkaart in de NMD staan. Voor alle deelproducten geldt dat de voorgrond -en achtergronddata is geïnventariseerd conform eisen en richtlijnen uit het “Protocol Opstellen en Peer Reviewen categorie 3 productkaarten GWW”, waarbij alle componenten en bijbehorende onderbouwingen beschreven zijn.

Scope

De studie is gericht op hoofdstuk 18 van de Standaard RAW Bepalingen 2020 (CROW, 2020), waarbij de volgende onderdelen meegenomen in deze studie:

- ☐ Scheepsbrandstoffen werken/baggeren zout
- ☐ Scheepsbrandstoffen werken/baggeren zoet
- ☐ Scheepsbrandstoffen transport Zeegaand
- ☐ Scheepsbrandstoffen transport Binnenvaart

De scope van deze LCA-rapportage omvat werkschepen (Zoet en zout) en transport (binnenvaart en zeegaand). Tijdens werksessies met de technische commissie is besloten welke combinaties in de praktijk relevant zijn en welke doorgaans niet voorkomen. Op basis van deze sessies is de onderstaande tabel samengesteld. Vanwege de grote diversiteit aan combinaties binnen de werkschepen is er in samenspraak met de betrokken partijen gekozen om deze milieuprofielen te ondervangen in een Excel rekentool. Voor alle werkschepen is een Excel-tool opgemaakt waarin de gebruiker zelf combinaties kan maken tussen de zoet of zout, de aandrijflijn, energiedrager en stageklassen. Deze rekentool is een geverifieerd rekeninstrument welke de gebruiker in staat stelt een milieuprofiel te genereren voor alle mogelijke energiedrager combinaties.

De transport kaarten zullen geen deel uitmaken van de Excel-tool maar zullen in de NMD ingevoerd worden als categorie-3 kaarten. Voor de transport kaarten is er geen onderscheid gemaakt in emissieklassen maar wordt de marktgemiddelde mix ingevoerd.

Tabel 1: Overzicht van de scope van cat.3. rapport scheepsbrandstoffen, werken en transport.

Aandrijving	Brandstof	Excel tool		cat. 3. kaarten	
		Werken Zout	Werken Zoet	Transport Zout	Transport Zoet
Verbrandingsmotor	Diesel	Pre Tier I	CCR0	N.V.T.	Marktmix CCR
		TIER I / II	CCRI		
		TIER III	CCR II		
		ULEV	Stage V (2x)		
	HFO	Pre Tier I	N.V.T.	Marktmix TIER	N.V.T.
		TIER I / II	N.V.T.		
		TIER III	N.V.T.		
		ULEV	N.V.T.		
	GTL	N.V.T.	CCR0	N.V.T.	N.V.T.
		N.V.T.	CCRI		
		N.V.T.	CCR II		
		N.V.T.	Stage V (2x)		
	MGO	Pre Tier I	N.V.T.	Marktmix TIER	N.V.T.
		TIER I / II	N.V.T.		
		TIER III	N.V.T.		
		ULEV	N.V.T.		
	LNG	N.V.T.	N.V.T.	Marktmix TIER	N.V.T.
		N.V.T.	N.V.T.		
		TIER II / III	CCR II		
		ULEV	Stage V (2x)		
	Bio-LNG	N.V.T.	N.V.T.	Marktmix TIER	N.V.T.
		N.V.T.	N.V.T.		
		TIER II / III	CCR II		
		ULEV	Stage V (2x)		
	CNG	N.V.T.	N.V.T.	Marktmix TIER	Marktmix CCR
		N.V.T.	N.V.T.		
		TIER II / III	CCR II		
		ULEV	Stage V (2x)		
	Bio-CNG	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.
		N.V.T.	N.V.T.		
		TIER II / III	CCR II		
		ULEV	Stage V (2x)		
	HVO	Pre Tier I	CCR0	N.V.T.	Marktmix CCR
		TIER I / II	CCRI		
		TIER III	CCR II		
		ULEV	Stage V (2x)		
	FAME	Pre Tier I	CCR0	Marktmix TIER	Marktmix CCR
		TIER I / II	CCRI		
		TIER III	CCR II		
		ULEV	Stage V (2x)		
	Ammoniak	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.
		N.V.T.	N.V.T.		
		TIER III (2 varianten)	N.V.T.		
		ULEV (2 varianten)	N.V.T.		
	Methanol	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.
		N.V.T.	N.V.T.		
		TIER III (4 varianten)	N.V.T.		
		ULEV (4 varianten)	Stage V (2x)		
	Waterstof	N.V.T.	N.V.T.	TIER III	Stage V
		N.V.T.	N.V.T.		
		TIER III (10 varianten)	N.V.T.		
		ULEV (10 varianten)	Stage V (2x)		
Brandstofcel	Waterstof	10 varianten	binnen scope	N.V.T.	N.V.T.
	Ammoniak	2 varianten	N.V.T.	N.V.T.	N.V.T.
	Methanol	4 varianten	binnen scope	N.V.T.	N.V.T.
Accu	Elektrisch	N.V.T.	binnen scope	N.V.T.	Groene Mix

Systeemgrenzen

De processen die binnen de LCA worden bekeken zijn afgebakend met zogenaamde systeemgrenzen. De systeemgrenzen bepalen welke fasen en processen van de levenscyclus worden meegenomen in de LCA. In Tabel 1, volgend uit de EN 15804 en de Bepalingsmethode, staat vastgelegd welke informatie er per levenscyclusfase beschouwd moet worden. In deze LCA is de milieu-impact over de gehele levenscyclus meegenomen, waarbij in Tabel 1 tevens de productkaarten zijn opgenomen die afwijkende systeemgrenzen hebben.

De LCA beschouwt het gebruiken van energiedragers in een specifiek schip. De energiedragers zelf worden verbruikt en hebben geen baten en lasten in module-D. Vanuit pragmatische overweging zijn zowel de baten en lasten voor het verwerken van de kapitaalgoederen meegenomen in module-B.

	Productiefase			Bouwfase		Gebruiksfase					Sloop- en verwerkingsfase				Volgende productiesysteem
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
	Winning van grondstoffen	Transport	Productie	Transport	Bouw- en installatie	Gebruik	Onderhoud	Reparatie	Vervanging en	Verbouwingen	Sloop	Transport	Afvalverwerking	Finale afvalverwerking	Mogelijke baten en lasten voor hergebruik, terugwinnen
Scheepsbrandstoffen	x	x	x	x	NVT	x	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT	x

Tabel 1: Systeemgrenzen (X: Module meegenomen in LCA-studie, ND: niet gedeclareerd)

In de gebruikte achtergrondprocessen zijn ten minste de volgende ingrepen meegenomen in de analyse:

- ☐ emissies naar de lucht bij het gebruik van thermische energie van CO₂, CO, NO_x (N₂), SO₂, C_xH_x en fijnstof (PM10 deeltjes < 10µm);
- ☐ emissies naar water van CVZ, BZV, P-totaal, N-totaal en vaste stoffen (PM10: deeltjes < 10µm);
- ☐ emissies naar bodem van PAK en zware metalen.

3. Levenscyclusinventarisatie (LCI)

In dit hoofdstuk worden de productbeschrijving, productsamenstelling en de decompositie besproken van de onderdelen, zoals beschreven in de scope van hoofdstuk 2.

Dataverzameling

Voor het bepalen van de productsamenstelling, het materiaalgebruik en de bijbehorende processen is van gebruik gemaakt van generieke / gemiddelde producten en processen, welke representatief zijn voor het (deel)product inclusief onderbouwing. Per (deel)product zijn per module de uitgangspunten en bronnen beschreven en gebaseerd op:

- ☐ Forfaitaire achtergrondprocessen, transportafstanden en scenario's conform de NMD Bepalingsmethode
- ☐ Desk research, minimaal 2 verschillende gedocumenteerde en vastgelegde bronnen indien beschikbaar
- ☐ Expert judgement: praktijkinformatie (GWW-kennis) vanuit een ingenieursbureau, aannemer, opdrachtgever en/of producent met daarbij een korte onderbouwing van de achtergrond van de expert. Minimaal 2 verschillende bronnen indien beschikbaar.
- ☐ Vergelijkbare categorie 3 productkaarten in vergelijkbare toepassingen

Voor het berekenen van de levenscyclusanalyse zijn gegevens verzameld van de verschillende productieprocessen die binnen de systeemgrenzen van deze LCA-studie vallen. Hierbij is in de uitwerking aandacht besteed aan de *precisie, compleetheid, representativiteit, consistentie* en *reproduceerbaarheid* van de gegevens conform eisen en richtlijnen uit het "Protocol Opstellen en Peer Reviewen categorie 3 productkaarten GWW".

Vanuit de NMD-processendatabase geeft de Bepalingsmethode ook forfaitaire waarden voor de meest belangrijke achtergrondprocessen waarmee gerekend moet worden.



3.1 LCI Basisprocessen

In dit hoofdstuk wordt de LCI van alle basisprocessen beschreven welke benodigd zijn om alle combinaties uit Tabel 1 op te maken. De basisprocessen zijn opgedeeld in drie categorieën: Energiedragers, Emissieprofiel en Kapitaalgoederen. Deze basisprocessen zullen de basisvormen voor de diverse schip-energiedrager combinaties. Zowel voor werkschepen (zoet en zoutwater) en voor transport (binnenvaart en zeegaand).

3.1.1 Energiedragers

In onderstaande tabel staan alle basisprocessen voor de energiedragers weergegeven. Deze zullen in dit hoofdstuk één voor één worden beschreven en toegelicht.

Tabel 2: Lijst met energiedragers

nr	Naam
1	Diesel (ULSD)
2	HFO
3	GTL
4	MGO
5	LNG
6	Bio-LNG
7	CNG
8	Bio-CNG
9	HVO
10	FAME
11	Ammoniak, Synthetisch (H2 Wind Mix)
12	Ammoniak (Grijs)
13	Waterstof Elektrolyse Groen (Vloeibaar)
14	Waterstof Elektrolyse Groen (Gas)
15	Waterstof Elektrolyse Grijs (Vloeibaar)
16	Waterstof Elektrolyse Grijs (Gas)
17	Waterstof Elektrolyse Wind (Vloeibaar)
18	Waterstof Elektrolyse Wind (Gas)
19	Waterstof Steam Methane Reforming (Vloeibaar)
20	Waterstof Steam Methane Reforming (Gas)
21	Methanol (Grijs)
22	Methanol (Bio)
23	E-Methanol (fossiele CO2, H2 Wind mix)
24	E-Methanol (biogene CO2, H2 Wind Mix)
25	Elektriciteit Groen
26	Elektriciteit Grijs
27	Elektriciteit Wind Zee
28	Elektriciteit Wind Land
29	Elektriciteit Wind Mix
30	Ureum

Onderstaande tabel geeft de diverse eigenschappen van alle energiedragers weer. Voor iedere energiedrager wordt weergegeven welke functionele eenheid is gehanteerd voor de LCI, in de meeste gevallen is dit “ton”. Deze eenheid refereert naar het produceren en gebruiken van 1 ton energiedrager in een schip. In de meegeleverde Excel-rekentool zal het ook mogelijk zijn voor de gebruiker om liters te selecteren, indien deze eenheid beter aansluit bij de wensen van de gebruiker.

Naast de functionele eenheid zijn ook de eigenschappen van de energiedragers vermeld. Deze worden gebruikt voor het bepalen van de afschrijving van de kapitaalgoederen. Vanuit pragmatisch oogpunt wordt het kapitaalgoed (bijvoorbeeld het casco schip) afgeschreven per ton Diesel (levensduur in jaren, brandstofverbruik per jaar). Echter is deze benadering niet realistisch voor energiedragers met

uiteenlopende energie-inhoud, zo heeft waterstof bijvoorbeeld een bijna 3 maal hogere energiedichtheid (MJ per ton) als Diesel. Om deze reden is het rendement van de aandrijving vermeld, zodat voor alle combinaties bepaald kan worden hoeveel arbeid er verzet wordt per functionele eenheid. Middels de verzette arbeid wordt de afschrijving van de kapitaalgoederen dus geschaald. Het effect hiervan op de totale MKI is gering.

Voor de werkschepen (zoet en zout) is het rendement alleen van invloed op de afschrijving van de kapitaalgoederen en op de vergelijking tussen de energiedragers o.b.v. GJ geleverde arbeid. Het verbruik zit namelijk niet meegenomen in de functionele eenheid, de totale verbruikte hoeveelheid energiedrager wordt project specifiek bepaald door de gebruiker.

Voor de transport kaarten is het rendement echter wel van toepassing, de functionele eenheid is hier namelijk ton*km (verplaatsen van 1 ton goederen over een afstand van 1 kilometer). Hier bepaalt het rendement de totale hoeveelheid energiedrager die nodig is per ton*km. Echter heeft dit geen effect op de onderlinge verschillen.

De Diesel rendementen zijn gebaseerd op een algemene inschattingen aangeleverd door TNO voor zoete (werk en binnenvaart) schepen en zoute (zeevaart en werk) schepen. Het betreft vloot gemiddelde data over diverse schepen. Deze gaan uit van tweetakmotoren (lager rendement) voor de zoetwater schepen en efficiëntere viertakmotoren voor de zoute schepen. Het motor type en de motorbelasting speelt een belangrijke rol in de efficiëntie van de aandrijving. Aangezien de data voor een breed scala aan schepen representatief dient te zijn de waarden in Tabel 3 gehanteerd. Werkschepen hebben bijvoorbeeld diverse motoren, welke allen een ander rendement kunnen hebben (voor werkmotoren kan dit ook hoger zijn). Er is geen detail zicht op de spreiding van het rendement.

Na consultatie van technische specialisten bij TNO is het aannemelijk gebleken dat de rendementen van de alternatieve brandstoffen H₂ en Methanol vergelijkbaar aan diesel blijven. Dit wordt ook ondersteund door praktijkdata vanuit droog materieel en (kleine) maritieme motoren.



Tabel 3: Eigenschappen van energiedragers en aandrijflijnen.

Aandrijving	Energie- drager	FE	MJ (input per kg)	ton/m3	Rendement aandrijving Zoete schepen	MJ arbeid per eenheid	Rendement aandrijving Zoute Schepen	MJ arbeid per eenheid	Opmerking
Verbrandings- motor	Diesel	ton	43,1	0,832	0,4	17.240	0,45	19.395	
	HFO	ton	40,5	0,95	0,4	16.200	0,45	18.225	Afhankelijk van de kwaliteit en samenstelling. MJ/kg kan variëren tussen 40 en 42 en dichtheid kan variëren van 900 tot 1.000.
	GTL	ton	44	0,78	0,4	17.600	0,45	19.800	
	MGO	ton	42,6	0,85	0,4	17.040	0,45	19.170	
	LNG	ton	49	0,428	0,4	19.600	0,45	22.050	
	Bio-LNG	ton	49	0,428	0,4	19.600	0,45	22.050	
	CNG	ton	46,3	0,215	0,4	18.520	0,45	20.835	Bij 250 bar
	Bio-CNG	ton	46,3	0,215	0,4	18.520	0,45	20.835	Bij 250 bar
	HVO	ton	44	0,78	0,4	17.600	0,45	19.800	
	FAME	ton	37,2	0,89	0,4	14.880	0,45	16.740	
	Ammonia k	ton	18,6	0.6819	0,4	7.440	0,45	8.370	Vloeibaar bij -33 graden
	Waterstof Vloeibaar	ton	120	0,07085	0,4	48.000	0,45	54.000	
	Waterstof Gas	ton	120	0,039	0,4	48.000	0,45	54.000	Bij 700 bar
Brandstofcel	Methanol	ton	19,9	0,79	0,4	7.960	0,45	8.955	
	Ammonia k	ton	18,6	0.6819	0,47	8.742	0,47	8.742	Vloeibaar bij -33 graden
	Waterstof Vloeibaar	ton	120	0,07085	0,47	56.400	0,47	56.400	Rendement van de brandstofcellen inclusief elektrische aandrijving inschat door TNO op 47%. Sterk afhankelijk van belasting, momenteel 45-50% realistisch en verhoogde efficiëntie in de toekomst (50-55%).
	Waterstof Gas	ton	120	0,039	0,47	56.400	0,47	56.400	Bij 700 bar
Accu elektrisch	Methanol	ton	19,9	0,79	0,47	9.353	0,47	9.353	
	Elektrisch	kWh (input)	3,6	-	0,765	2.754	0,765	2,75	met Li-ion accu's $\eta = 0,9 \times \eta = 0,85$ (efficiëntie laden/ontladen Li-ion) geeft efficiëntie van 77%

Fossiele energiedragers

Diesel

Voor Diesel is er vanuit droogmaterieel al een NMD kaart beschikbaar “Well-to-tank Diesel (A1-A4)”.. De modellering van de productie (A1-A3) is aangepast naar de marktmix van 2023. Dit is weergegeven in Tabel 5 en Tabel 6 welke de aangepaste Petroleum marktmix weergeven. De petroleummarkt kaart is aangepast o.b.v. (Eurostat 2024). De transporten van de petroleum dragen significant bij aan de MKI:A2 (+/- 16%). Echter is er geen data over alle productielocaties en de specifieke transport routes via tanker en pijpleiding. Om deze reden is het transport overgenomen uit de bestaande Ecolnvent kaart. De module A4 modellering is identiek gelaten aan hoe deze in de basisprocessen database reeds beschikbaar is

Tabel 4: A1-A4 Diesel (ULSD)

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Productie	A1-A3	Energiedrager Diesel A1-A3 (marktmix 2023) Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation Cut-off, U	E.I. 3.9	1	ton	Aangepaste Ecolnvent markt mix Diesel kaart, o.b.v. Tabel 5 en Tabel 6
Transport	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	tonkm	150km transport
Opslag	A4	Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U (aangepast naar opslag brandstoffen tbv. categorie 3 brandstofprocessen)	NMD	1	ton	

Tabel 5: Herkomst marktmix 2023 Petroleum import, o.b.v. importdata Eurostat.

Herkomst	Hoeveelheid	Eenheid	Percentage	Transport afstand (schip)
Brazilië	5229	ton	5%	10000
Groot-Brittannië	14.648	ton	14%	-
Irak	6475	ton	6%	12330
Nigeria	7964	ton	8%	7780
Noorwegen	10.806	ton	11%	1211
Rusland	6822	ton	7%	-
U.S.A.	21.392	ton	21%	5317
Overig	28.613	ton	28%	6400 (Egypte)
□ Egypte	□ 5605			
□ Guyana	□ 4564			
□ Angola	□ 4024			
□ Overig	□ 14.420			
Totaal	101.949	ton	100%	3654

Onderstaande tabel geeft alle referenties weer voor de aangepast petroleummarkt kaart in Ecolnvent 3.9. Echter zijn deze referenties niet allemaal beschikbaar in Ecolnvent 3.6. De modellering voor de kaart in Ecolnvent 3.6 is te vinden in Bijlagen 2 (Tabel 103).

Tabel 6: Aangepaste markt mix Petroleum {Europe without Switzerland} | market for petroleum | Cut-off, U

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Productie Brazilië	A1-A3	Petroleum {BR} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I 3.9	4,96E-02	kg	97% offshore in Ecolnvent kaart
Productie Brazilië	A1-A3	Petroleum {BR} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I 3.9	1,69E-03	kg	3% onshore in Ecolnvent kaart
Productie Groot-Brittannië	A1-A3	Petroleum {GB} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I 3.9	1,41E-01	kg	98% offshore in Ecolnvent kaart
Productie Groot-Brittannië	A1-A3	Petroleum {GB} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I 3.9	2,87E-03	kg	2% onshore in Ecolnvent kaart
Productie Irak	A1-A3	Petroleum {IQ} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I 3.9	6,35E-02	kg	-
Productie Nigeria	A1-A3	Petroleum {NG} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I 3.9	7,03E-02	kg	-
Productie Noorwegen	A1-A3	Petroleum {NO} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I 3.9	7,81E-03	kg	90% offshore in Ecolnvent kaart
Productie Noorwegen	A1-A3	Petroleum {NO} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I 3.9	1,06E-01	kg	10% onshore in Ecolnvent kaart
Productie Rusland	A1-A3	Petroleum {RU} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I 3.9	1,19E-02	kg	18% offshore in Ecolnvent kaart
Productie Rusland	A1-A3	Petroleum {RU} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I 3.9	5,50E-02	kg	82% onshore in Ecolnvent kaart
Productie U.S.A.	A1-A3	Petroleum {US} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I 3.9	3,06E-02	kg	15% offshore in Ecolnvent kaart
Productie U.S.A.	A1-A3	Petroleum {US} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I 3.9	1,79E-01	kg	85% onshore in Ecolnvent kaart
Productie Overig	A1-A3	Petroleum {RoW} petroleum and gas production, on-shore Cut-off, U	E.I 3.9	2,81E-01	kg	-
Transport	A1-A3	Transport, freight, sea, tanker for petroleum {GLO} market for transport, freight, sea, tanker for petroleum Cut-off, U	E.I 3.9	3,654	tonkm	Aangepast naar gewogen gemiddelde uit Tabel 5
Transport	A1-A3	Transport, pipeline, offshore, petroleum {GLO} market for transport, pipeline, offshore, petroleum Cut-off, U	E.I 3.9	0,044997	tonkm	Onaangepast en transport afstanden overgenomen vanuit de Ecolnvent markt mix.
Transport	A1-A3	Transport, pipeline, onshore, petroleum {RER} market for transport, pipeline, onshore, petroleum Cut-off, U	E.I 3.9	2,0545	tonkm	Waarden wordt representatief geacht (2100 km transport via pijpleidingen)
Emissies naar lucht	A1-A3	Emissies naar lucht	E.I 3.9	-	kg	Onaangepast

HFO

Voor HFO is de productiekaart uit Ecolnvent overgenomen voor A1-A3 en voor module-A4 is de “market for” kaart aangepast. De “market for” kaart bevat de productie en de bijbehorende transporten naar de gebruiker. De productie van de HFO (A1-A3) is uit de “market for” kaart gehaald waardoor alleen de transporten naar de gebruiker en de infrastructuur in de A4 kaart is meegenomen.

Tabel 7: A1-A4 HFO

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
HFO productie	A1-A3	Heavy fuel oil {Europe without Switzerland} heavy fuel oil production, petroleum refinery operation Cut-off, U	E.I. 3.9	1	ton	Overname Ecolnvent
Transport en opslag	A4	Heavy fuel oil {Europe without Switzerland} market for heavy fuel oil Cut-off, U	E.I. 3.9	1	ton	“market for” kaart zonder de productie. Bevat transport, kapitaalgoed voor regionale distributie, afvalverwerking en stroomverbruik.

GTL

Voor GTL is er reeds een A1-A4 kaart beschikbaar in de NMD. De modules A1-A3 modellering is overgenomen uit de bestaande NMD kaart en omgerekend naar de functionele eenheid “ton”. Na doorlopen van de bestaande kaart voor GTL is geconstateerd dat de bestaande kaart nog steeds representatief geacht wordt. Om consistent te blijven met de overige kaarten in deze rapportage zijn de gegevens over de verbruiken voor opslag aangepast o.b.v. JEC 2020 data. Voor de module-A4 is transport naar Nederland en energie voor opslag en distributie meegenomen o.b.v. JEC 2020 data. Optioneel zal er mogelijk nog additioneel transport per binnenvaartschip zijn, afhankelijk van waar het wordt toegepast. De bijdrage van dergelijk transport is echter minimaal (+/-4% aan module-A4), om deze reden is het niet meegenomen in deze LCI.

Tabel 8: A1-A4 GTL, per ton

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Feedstock ¹	A1-A3	Natural gas, high pressure {QA} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I. 3.9	44.000 / 37,5 = 1173,3	m3	LHV 44 MJ/kg voor GTL en gemiddeld 37,5 MJ/m3 voor aardgas uit Qatar. Geen specifieke import statistieken. Qatar behouden als oorsprong.
Methaan verliezen	A1-A3	Methane, to air (low-pop)	E.I. 3.9	8,0E-5 * 44000 = 3,52	kg	0,08 gr/MJ natural gas (JEC 2020)
Elektriciteit voor GTL depot	A1-A3	Electricity, high voltage {RER} market group for electricity, high voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	35,2	MJ	0,0008 MJ per MJ GTL (JEC 2020)
Proceswarmte	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, U (aangepast voor GTL tbv. categorie 3 data brandstofprocessen)	E.I. 3.9	44000 / 0,65 * 0,35 = 23.692	MJ	65% efficiëntie van grootschalige GTL-fabriek (JEC 2020). Betekent dat 65% van energie input uit aardgas in de GTL-energiedrager eindigt en de overige 35% nodig is als proceswarmte.
Kapitaalgoederen	A1-A3	Chemical factory, organics {RER} chemical factory construction, organics Cut-off, U	E.I. 3.9	4,0 ^{E-10}	p	Gebaseerd op Ammoniak steam reforming proceskaart.
Transport naar Nederland	A4	Transport, freight, sea, tanker for liquid goods other than petroleum and liquefied natural gas {GLO} transport, freight, sea, tanker for liquid goods other than petroleum and liquefied natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	11.800	tonkm	Oorsprong Qatar (JEC 2020)

Opslag Schip	A4	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	44000 * 0,0008 = 35,2	MJ	0,0008 MJ per MJ GTL (JEC 2020)
Opslag Land	A4	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD /	44000 * 0,0008 = 35,2	MJ	0,0008 MJ per MJ GTL (JEC 2020)

¹geografie Qatar niet beschikbaar in Ecolnvent 3.6, voor de Ecolnvent 3.6 kaart zie Tabel 104: A1-A4 GTL, per ton



MGO

Voor MGO zijn de bestaande kaarten uit de NMD overgenomen (Tabel 9) alleen de oorsprong van de Diesel is aangepast (zie LCI Diesel).

Tabel 9: A1-A4 MGO

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Feedstock	A1-A3	Energiedrager Diesel A1-A3 (marktmix 2023) Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation Cut-off, U	E.I. 3.9	1	ton	Aangepaste markt mix Diesel kaart, o.b.v. Tabel 5 en Tabel 6
Opslag	A4	Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U - KOPIE met verwijderde inputs die bij A1-A3 horen	NMD	1	ton	Dit is een bewerkte Ecoinvent proceskaart beschikbaar in de basisprocessendatabase, waar transport en de brandstof zelf op 0 staan om dubbeltekening te voorkomen.
Transport	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	tkm	Forfaitaire transportafstand aangehouden van 150 km, omdat bunkeren niet altijd in Rotterdam plaats vindt.

LNG

Voor LNG is de modellering uit (TNO 2021) nagelopen en als basis gebruikt. De oorsprong van het gas en de verbruiken voor liquefactie en laden zijn aangepast. De feedstock compositie is gebaseerd op import cijfers van HBR in Q1-3 2023 (Eurostat 2024). De percentages staan weergegeven in onderstaande tabel. Voor module A4 is eveneens de NMD kaart overgenomen, hier is de gemiddelde transport afstand aangepast a.d.h.v. de nieuwe aardgas mix. De transport afstanden staan weergegeven in Tabel 11.



Tabel 10: A1-A4 LNG

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Aardgas USA	A1-A3	Natural gas, high pressure {US} market for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,64 = 871$	m3	Totaal 49.000 MJ/ton en gemiddelde energie-inhoud van aardgas 36 MJ/m3 betekent 1361 m3 aardgas, Waarvan 64% uit U.S.A.
Aardgas Noorwegen	A1-A3	Natural gas, high pressure {NO} market for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,09 = 123$	m3	9% Noorwegen bij 1306 m3 per ton
Aardgas Angola	A1-A3	Natural gas, high pressure {RoW} market for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,06 = 81,7$	m3	6% Angola, (ROW gekozen) bij 1306 m3 per ton
Aardgas Qatar	A1-A3	Natural gas, high pressure {QA} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,05 * 0,307 = 20,9$	m3	5% Qatar waarvan 31% onshore
Aardgas Qatar	A1-A3	Natural gas, high pressure {QA} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,05 * 0,693 = 47,2$	m3	5% Qatar waarvan 69% offshore
Aardgas Overig	A1-A3	Natural gas, high pressure {RoW} market for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,11 = 150$	m3	11% overig
Aardgas Rusland	A1-A3	Natural gas, high pressure {RU} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,05 * 0,177 = 12,1$	m3	5% Rusland waarvan 17,7% offshore
Aardgas Rusland	A1-A3	Natural gas, high pressure {RU} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	E.I. 3.9	$1361 * 0,05 * 0,823 = 56$	m3	5% Rusland waarvan 82,3% onshore
Elektriciteit voor Liquefactie	A1-A3	Electricity, high voltage {RoW} electricity production, natural gas, combined cycle power plant Cut-off, U	E.I. 3.9	$0,0246 * 49000 = 1205$	MJ	0,0246 MJ/MJ LNG (JEC 2020)
Infrastructuur	A1-A3	Natural gas processing plant {GLO} market for natural gas processing plant Cut-off, U	E.I. 3.9	$8,36E-13 / 0,428 = 1,95E-12$	p	Onaangepast (Gebaseerd op ecoinventproces "Natural gas, liquefied {RoW} production Cut-off, U") waarde in E.I. per m3 gecorrigeerd middels dichtheid LNG (0,428 kg/m3)
Elektriciteit voor loading terminal	A1-A3	Electricity, high voltage {RoW} electricity production, natural gas, combined cycle power plant Cut-off, U	E.I. 3.9	$0,0009 * 49000 = 44,1$	MJ	0,0009 MJ/MJ LNG (JEC 2020)
Energie voor loading terminal	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {RoW} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	$0,01 * 49000 = 490$	MJ	0,01 MJ/MJ LNG (JEC 2020)
Proces emissies	A1-A3	Methane, fossil to air	E.I. 3.9	1,666	kg	0,034 g/MJ LNG (JEC 2020)
Aardgasfakkel	A1-A3	Waste refinery gas {GLO} treatment of waste refinery gas, burned in flare Cut-off, U	E.I. 3.9	$0,0113 * 49000 = 553,7$	MJ	0,0113 MJ/MJ LNG (JEC 2020)
Transport	A4	Transport, freight, sea, tanker for liquefied natural gas {GLO} transport, freight, sea, tanker for liquefied natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	5366	tkm	Gewogen gemiddelde vanuit landen van oorsprong Tabel 11.
Stroom verbruik terminal afname locatie	A4	Electricity, medium voltage {NL} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	44,1	MJ	0,0009 MJ/MJ LNG (JEC 2020)
Energieverbruik terminal afname locatie	A4	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	490	MJ	0,01 MJ/MJ LNG (JEC 2020)

Tabel 11: Transport afstanden A4 LNG

Oorsprong	Transport afstand (km)	Hoeveelheid	Opmerking
Angola	8934	6%	Angola naar Rotterdam
USA	6265	64%	USA (N.Y.) naar Rotterdam
Noorwegen	1256	9%	Aalesund naar Rotterdam
Overig	-	11%	Gewogen gemiddelde afstand van alle oorsprongen
Qatar	11747	5%	Doha naar Rotterdam
Rusland	2405	5%	St. P Burg naar Rotterdam
Gewogen gemiddelde	5366	100%	Gewogen gemiddelde afstand van alle oorsprongen

CNG

De import van gas naar de Nederlandse markt bestaat deels uit geïmporteerd LNG en deels uit geïmporteerd Aardgas (CBS 2024). Het is mogelijk om vanuit LNG opnieuw aardgas te maken en dit te distribueren. Echter is voor deze CNG kaart uitgegaan van aanvoer van Aardgas en is de LNG-route niet meegenomen in de modellering. Voor de oorsprong van het aardgas is importdata van het CBS uit het jaar 2023 aangehouden (Tabel 13) (CBS 2024). Voor de Nederlandse importmarkt zijn niet alle geografieën beschikbaar. Om deze reden zijn er voor aardgas geïmporteerd uit België en Duitsland de Belgische Ecolnvent kaarten gehanteerd. Er is voor module-A4 compressie en methaan verlies op de afnamelocatie gemodelleerd.

Tabel 12: A1-A4 CNG per ton.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Aardgas mix	A1-A3	Subkaart Energiedrager Aardgas mix 2023 (Aardgas oorsprong 2023 aangepast, o.b.v. Natural gas, high pressure {NL} market for natural gas, high pressure Cut-off, U)	Eigen kaart	1000/0,735 = 1360	m3	Ecolnvent NL markt mix aangepast met data uit 2023 (CBS 2023). Dichtheid aardgas feedstock o.b.v. Ecolnvent kaart, 0.735 kg/m3 (1bar)
Compressie bij gebruiker	A4	Electricity, medium voltage {NL} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	$0,022 * 46300 = 1019$	MJ	0,022 MJ / MJ CNG (JEC 2020). Energie-inhoud CNG betreft 46,3 MJ/kg.
Methaan emissies	A4	Methaan, naar lucht, low-pop	E.I. 3.9	$1,0^E-7 * 46300 = 4,63^E-3$	kg	$1,0^E-07$ kg per MJ CNG (JEC 2020). Energie-inhoud CNG betreft 46,3 MJ/kg.

Tabel 13: Subkaart Aardgas mix 2023, o.b.v. Natural gas, high pressure {NL}| market for natural gas, high pressure | Cut-off, U, per m3.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Aardgas	A1-A3	Natural gas, high pressure {NL} market for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	0,001	m3	Verliezen, overname uit Ecolnvent kaart.
Aardgas NL	A1-A3	Natural gas, high pressure {NL} natural gas, high pressure, domestic supply with seasonal storage Cut-off, U	E.I. 3.9	0,2666	m3	26,7% Winning in Nederland
Aardgas Noorwegen	A1-A3	Natural gas, high pressure {NL} natural gas, high pressure, import from NO Cut-off, U	E.I. 3.9	0,261+0,024 = 0,285	m3	26,1% Noorwegen en 2,4% Denemarken. Geen import kaart voor Denemarken dus ook Noorwegen gemodelleerd.
Aardgas Groot-Brittannië	A1-A3	Natural gas, high pressure {NL} natural gas, high pressure, import from GB Cut-off, U	E.I. 3.9	0,05707	m3	5,7% import uit Groot-Brittannië
Aardgas België	A1-A3	Natural gas, high pressure {BE} market for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	0,249	m3	24,9% import uit België. Geen import kaart naar NL beschikbaar, Belgische market-for kaart gemodelleerd.
Aardgas Duitsland	A1-A3	Natural gas, high pressure {BE} import from DE Cut-off, U	E.I. 3.9	0,142	m3	14,2% import uit Duitsland. Geen kaart voor import naar NL, kaart Duits gas import naar België gemodelleerd.
Transport	A1-A3	Pipeline, natural gas, high pressure distribution network {Europe without Switzerland} pipeline construction, natural gas, high pressure distribution network Cut-off, U	E.I. 3.9	3,84E-8	km	Overname Ecolnvent, afstand onaangepast vanwege ontbreken afstandsdata van aardgas pijpleiding netwerk. Bijdrage aan MKI:A2 betreft slechts 1,2%.
Proces	A1-A3	Natural gas, burned in gas turbine {NL} natural gas, burned in gas turbine Cut-off, U	E.I. 3.9	0,176	MJ	Overname Ecolnvent
Emissies naar lucht	A1-A3	Butane, to air	E.I. 3.9	6,64E-06	kg	Overname Ecolnvent
Emissies naar lucht	A1-A3	Carbon dioxide, fossil, to air	E.I. 3.9	2,40E-05	kg	Overname Ecolnvent
Emissies naar lucht	A1-A3	Ethane, to air	E.I. 3.9	5,74E-05	kg	Overname Ecolnvent
Emissies naar lucht	A1-A3	Methane, fossil, to air	E.I. 3.9	6,93E-04	kg	Overname Ecolnvent
Emissies naar lucht	A1-A3	NMVOC, non-methane volatile organic compounds	E.I. 3.9	4,78E-07	kg	Overname Ecolnvent
Emissies naar lucht	A1-A3	Propane	E.I. 3.9	1,29E-05	kg	Overname Ecolnvent

Tabel 14: Verhouding van invoer en winning gasvormig aardgas 2023 (CBS).

Oorsprong	Hoeveelheid (m3)	Verhouding (%)
Winning NL	11.208	26,7%
Noorwegen	10.974	26,1%
Duitsland	5.972	14,2%
België	10.468	24,9%
Groot-Brittannië	2.399	5,7%
Denemarken	1.010	2,4%
Totaal	42.031	100,0%

Biobrandstoffen

In de volgende tabellen zal de LCI van de diverse biobrandstoffen worden weergegeven. Bij deze brandstoffen dient er additioneel gecorrigeerd te worden voor de biogene koolstof welke aanwezig is in de brandstof/energiedrager. De koolstof in de energiedrager is opgenomen uit de lucht (negatieve (<0) bijdrage aan biogene klimaatverandering in de productie) en tijdens het gebruik (verbranden) komt deze koolstof weer vrij. Tijdens het gebruik of de productie van de energiedrager kunnen er broeikasgassen met een hoger GWP vrijkomen uit de biogene koolstof, dit gaat met name om methaan emissies. Methaan bevat 1 koolstofatoom, welke dus een negatieve biogene klimaatverandering impact van 1 kg CO₂-eq heeft (in A1-A3). Echter heeft methaan een GWP van 28 kg CO₂-eq bij emissie naar lucht (in module-B).

Voor alle biobrandstoffen wordt er gecorrigeerd zodat de koolstof in de brandstof overeenkomen met de emissies van CO₂ tijdens de verbranding, zodat de koolstofbalans nul betreft. De bijdrage van methaan emissies in de productie en tijdens de gebruiksfase worden wel als positieve (>0) bijdrage aan biogene klimaatverandering gerekend.

Bio-LNG

Voor Bio-LNG zijn de productiewaarden uit TNO, 2016 overgenomen en is de biogas kaart aangemaakt middels de samenstelling uit (NEA 2023). De Ecolnvent kaart "Biomethane, high pressure {CH₄} | biogas purification to biomethane by pressure swing adsorption | Cut-off, U" is overgenomen en alleen de bron van het biogas en de toegepaste stroommix is aangepast (Tabel 16). Deze samenstelling en modellering staat weergegeven in Tabel 16.

Voor de biobrandstoffen is het relevant dat de biogene koolstof opname in A1-A3 (negatieve waarden (<0) doordat de brandstof zelf koolstof bevat welke eerder uit de lucht is onttrokken door planten) in balans is met de uitstoot in de gebruiksfase (B). Aangezien het biogas in Ecolnvent vrij-van-last is rekent Ecolnvent deze biogene koolstof opname niet mee.

De Bio-LNG (A1-A3) kaart heeft een positieve (>0) bijdrage van 1646 kg CO₂-eq aan de biogene klimaatverandering impact categorie. Hiervan wordt 1298 kg CO₂-eq veroorzaakt door biogene CO₂ en +348 kg CO₂-eq door biogene methaan emissies. In de Bio-LNG (A1-A3) kaart is er gecorrigeerd zodat de waarde voor biogene CO₂-emissies naar lucht omgekeerd evenredig is aan de emissies van biogene CO₂ in module-B (2750 kg biogene CO₂).

De emissies van methaan in A1-A3 en in module-B blijven geïnventariseerd als positieve bijdrage (impact door emissies naar lucht) aan de biogene klimaatverandering impact categorie (12,43 kg in A1-A3 en 38,9 kg in B1), Netto over de gehele levenscyclus zal dus uitsluitend de methaan emissie in modules A1-A3 en module-B meetellen aan biogene klimaatverandering. Wel is er gecorrigeerd voor de biogene koolstof aanwezig in deze methaan (-141 kg). Dit is gedaan middels de molaire massa's van methaan en CO₂ (1 mol CH₄ : 1 mol CO₂).

Tabel 15: A1-A4 Bio-LNG, per ton

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Liquefactie	A1-A3	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	0,0246 * 49000 = 1205	MJ	Gelijk aan LNG, 0,0246 MJ/MJ LNG (JEC 2020)
Feedstock	A1-A3	Bio-gas voor Bio-LNG (o.b.v Biomethane, high pressure {CH}) biogas purification to biomethane by pressure swing adsorption Cut-off, U	Eigen kaart	1000 / 0,752 = 1330	m3	Dichtheid o.b.v. 0,752 kg/Nm3 geeft 1330 m3/ton. Kaart aangemaakt zoals beschreven in Tabel 16
Correctie Biogene CO2	A1-A3	CO2 biogenic, to air, (low. pop.)	E.I. 3.9	- 1298 – 2750 - 141 = - 4189	kg	Correctie zodat biogene CO2 opname overeenkomt met CO2-emissies in module B (2750 kg CO2-eq) (Tabel 39). En correctie voor koolstof aanwezig in biogene methaan (A1-A3 en B1), 141 kg.
Opslag en transport	A4	Electricity, medium voltage {NL} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	44,1	MJ	Opslag gelijk aan LNG maar zonder schip transport, voornamelijk grondstoffen uit Nederland.
Opslag en transport	A4	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	490	MJ	
Opslag en transport	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	NMD	150	tonkm	

Tabel 16: Modellerings biogas voor bio-LNG, o.b.v Biomethane, high pressure {CH} | biogas purification to biomethane by pressure swing adsorption | Cut-off, U

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Gas uit zuiveringsslib	A1-A3	Biogas {CH} treatment of sewage sludge by anaerobic digestion Cut-off, U	E.I. 3.9	1,536*0,34 = 0,522	m3	1,536 m3 in originele Ecolnvent kaart * 34% zuiveringsslib (NEA 2023)
Gas uit Voedselafval	A1-A3	Biogas {CH} treatment of biowaste by anaerobic digestion Cut-off, U	E.I. 3.9	1,536*0,20 = 0,307	m3	1,536 m3 in originele kaart (TNO, 2016) * 20% food waste (NEA 2023)
Gas uit UCO	A1-A3	Biogas {RoW} treatment of used vegetable cooking oil by anaerobic digestion Cut-off, U	E.I. 3.9	1,536*0,05 = 0,077	m3	1,536 m3 in originele kaart (TNO, 2016) * 5% UCO (NEA 2023)
Gas uit stedelijk afval	A1-A3	Biogas {CH} treatment of biowaste by anaerobic digestion Cut-off, U	E.I. 3.9	1,536*0,28 = 0,43	m3	1,536 m3 in originele kaart (TNO, 2016) * 28% stedelijk afval (NEA 2023)
Overig	A1-A3	Biogas {CH} treatment of biowaste by anaerobic digestion Cut-off, U	E.I. 3.9	1,536*0,13 = 0,20	m3	1,536 m3 in originele kaart (TNO, 2016) * 13% overig (NEA 2023)
Proces Hulpstoffen	A1-A3	Charcoal {GLO} market for charcoal Cut-off, U	E.I. 3.9	0,000208		Overname Ecolnvent kaart
Kapitaalgoederen	A1-A3	Chemical factory, organics {GLO} market for chemical factory, organics Cut-off, U	E.I. 3.9	5,4E-11		Overname Ecolnvent kaart
Proces Hulpstoffen	A1-A3	Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U	E.I. 3.9	0,00015		Overname Ecolnvent kaart
Proces Hulpstoffen	A1-A3	Potassium hydroxide {GLO} market for potassium hydroxide Cut-off, U	E.I. 3.9	3,98E-6		Overname Ecolnvent kaart
Stroom	A1-A3	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per	E.I. 3.9	0,1856		Overname Ecolnvent waarden, referentie aangepast naar NL-mix i.p.v. CH

		kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)				
Emissie naar lucht	A1-A3	Carbon dioxide, biogenic	E.I. 3.9	0,97457	kg	Overname EcolInvent kaart
Emissie naar lucht	A1-A3	Heat, waste	E.I. 3.9	1,28	MJ	Overname EcolInvent kaart
Emissie naar lucht	A1-A3	Hydrogen sulfide	E.I. 3.9	6,7E-6	kg	Overname EcolInvent kaart
Emissie naar lucht	A1-A3	Methane, biogenic	E.I. 3.9	0,0086	kg	Overname EcolInvent kaart
Emissie naar lucht	A1-A3	Nitrogen, atmospheric	E.I. 3.9	0,04878	kg	Overname EcolInvent kaart
Emissie naar lucht	A1-A3	Sulfur dioxide	E.I. 3.9	6,599E-6	kg	Overname EcolInvent kaart

Bio-CNG

Voor Bio-CNG is dezelfde feed stock aangehouden als voor Bio-LNG, echter is net als voor CNG-compressie toegevoegd in plaats van liquefactie (zoals bij LNG). De correctie van biogene CO₂-emissies is gelijk uitgevoerd als bij Bio-LNG, uitsluitend voor de 1297 kg biogene-CO₂ en niet voor de 348,6 kg CO₂-eq aan methaan in A1-A3. Over de gehele levenscyclus zullen alleen de methaan emissies meetellen aan de biogene klimaatverandering impact categorie, en de CO₂ opname in A1-A3 zal wegstrepen tegen de emissies in module-B.

Tabel 17: Bio-CNG A1-A4

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Biogas mix	A1-A3	Bio-gas voor Bio-LNG (o.b.v Biomethane, high pressure {CH ₄ } biogas purification to biomethane by pressure swing adsorption Cut-off, U)	Aangepaste kaart	1000/0,752 = 1330	m3	Zelfde biogas kaart als voor Bio-LNG, aanname dichtheid gelijk aan CNG 0,752 kg/m3.
Compressie	A1-A3	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	E.I. 3.9	0,022 * 46300 / 3,6 = 282,94	kWh	0,022 MJ stroom per MJ CNG. LHV 46,3 MJ per kg betekent 282,9 kWh per ton CNG. (JEC 2020)
Compressie	A1-A3	Methane, biogenic, to air (low.pop.)	E.I. 3.9	0,0046	kg	1E-4 gr per MJ CNG (JEC 2020) aangepast naar biogeen.
Correctie Biogene CO ₂	A1-A3	CO ₂ Biogenic, to air (low.pop.)	E.I. 3.9	- 1298 – 2750 - 141 = - 4189	kg	Correctie voor biogene CO ₂ -emissies
Compressie bij gebruiker	A4	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	E.I. 3.9	0,022 * 46300 = 1019	MJ	0,022 MJ / MJ CNG (JEC 2020). Energie-inhoud CNG betreft 46,3 MJ/kg.
Methaan emissies	A4	Methaan, biogenic, 1,852naar lucht	E.I. 3.9	1,0 ^{E-7} * 46300 = 4,63 ^{E-3}	kg	1,0 ^{E-04} gr per MJ CNG (JEC 2020). Energie-inhoud CNG betreft 46,3 MJ/kg.

HVO

De brandstof HVO bestaat volledig uit oliën die zijn gewonnen uit afvalstromen van andere industrieën, veelal geïmporteerd uit het verre oosten. Door internationaal beleid omtrent klimaatverandering is er druk gekomen op het efficiënt gebruiken van organische reststromen. Deze druk leidt tot hogere prijzen van organische reststromen, mede door de hoge vraag naar biobrandstoffen, welke het opwerken van dergelijke reststromen rendabel maakt. De reststromen hebben in dergelijke gevallen een positieve financieel bijdrage aan het productsysteem (Imam et al. 2024). Om deze reden is er vanuit het LCA-perspectief interpretatieruimte binnen de EN15804 over potentiële allocatie van impact aan deze uit reststromen verkregen oliën. Dergelijke allocatie is echter niet in lijn met de definitie van afval stromen welke geformuleerd wordt in de RED.

De bestaande kaart voor HVO bestaat voor 100% uit UCO, echter is dit niet representatief voor de marktmix in het jaar 2023. Deze bedraagt 60% POME (palm oil mill effluent), 28% UCO, 7% gebruikte bleekarde en 5% voedselafval. Aangezien de samenstelling van HVO fluctueert van jaar tot jaar is de kaart zo opgebouwd dat de samenstelling makkelijk aangepast kan worden. Voor iedere feed stock is een aparte HVO kaart opgemaakt welke in het marktmix basisproces wordt ingekocht.

Voor de HVO-marktmix kaart is er ook een correctie aangebracht zodat de netto biogene CO₂ in A1-A3 overeenkomt met de Biogene CO₂ uitstoot bij de verbranding. De emissie van biogene CO₂ tijdens de verbranding in het schip bedragen 3109 kg (biogene)CO₂ per ton HVO en de A1-A3 biogene CO₂ van de marktmix HVO kaart bedraagt -937 kg, er wordt dus gecorrigeerd met 2097 kg biogene CO₂ (to air). Net als bij Bio-LNG is er niet gecorrigeerd voor de biogene methaan emissies (slechts 0,5 kg CO₂-eq biogene methaan), deze tellen wel mee als bijdrage aan de biogene klimaatverandering impact categorie.

Tabel 18: A1-A4 HVO marktmix o.b.v. NEA 2023 data.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Voedselafval	A1-A3	Subkaart Energiedrager A1-A3 - HVO (Voedselafval)	-	0,05	ton	5% van HVO in 2023 (NEA 2024)
POME-olie (vanuit Afvalwater van Palmolie)	A1-A3	Subkaart Energiedrager A1-A3 - HVO (POME)	-	0,6	ton	60% van HVO in 2023 (NEA 2024)
UCO	A1-A3	Subkaart Energiedrager A1-A3 - HVO (UCO)	-	0,28	ton	28% van HVO in 2023 (NEA 2024)
Gebruikte Bleekarde	A1-A3	Subkaart Energiedrager A1-A3 - HVO (Olie uit Bleekarde)	-	0,07	ton	7% van HVO in 2023 (NEA 2024)
Biogene CO ₂ correctie	A1-A3	Biogenic CO ₂ , to air	E.I. 3.9	-3109 + 937 = -1901	kg	Correctie voor balans modules A1-A3 en B
Transport	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	tonkm	Forfaitair 150km
Opslag	A4	Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U (aangepast naar opslag brandstoffen tbv. categorie 3 brandstofprocessen)	NMD	1	ton	Gelijk aan Diesel

HVO - Used-Cooking Oil (UCO)

Voor de UCO is de huidige modellering zoals deze momenteel beschikbaar is in de NMD aangepast o.b.v. de JEC, 2020 proces data. De wijzigingen zitten met name in de proces efficiëntie en verbruiken, en in de uitsparing van warmte en stroom. Aangezien de UCO al een levenscyclus heeft doorgebracht komt de grondstof vrij-van-last het product systeem binnen en zijn alleen de transport en opwerk stappen gedeclareerd.

Tabel 19: HVO kaart o.b.v. 100% UCO, per kg.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
UCO	A1-A3	A1 UCO, purified	NMD	$44 / 1,039 / 37 = 1,14$	kg	HVO yield (proces efficiëntie) bedraagt 1,039 MJ/MJ olie (JEC 2020). Met LHV voor UCO van 37 MJ/kg (TNO 2021) en 44 MJ/kg voor HVO, betekent 1,14 kg UCO per kg HVO.
Truck (herkomst)	A2	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	E.I. 3.9	$500 / 1000 * 1,14 = 0,57$	tonkm	Transport in land van herkomst, ingeschat op 500 km
Schip	A2	0290-tra&Transport, vrachtschip, zee (o.b.v. Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for Cut-off, U)	E.I. 3.9	$11.613 / 1000 * 1,14 = 13,3$	tonkm	Gewogen gemiddelde herkomst (TNO 2021)
Truck (bestemming)	A2	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	0	tonkm	Verwerking in haven
Natural gas (for H2 generation)	A3	Natural gas, high pressure {Europe without Switzerland} market group for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	$0,1337 * 44 / 37,5 = 0,157$	m3	0,1337 MJ/MJ-HVO (JEC 2020) bij LHV-gas 37,5 MJ/m3.
H3PO4	A3	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for	E.I. 3.9	$2,9^E-5 * 44 = 1,28^E-3$	kg	$2,9^E-5$ kg per MJ HVO (JEC 2020).
NaOH	A3	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market fo	E.I. 3.9	$2,58^E-5 * 44 = 1,14^E03$	kg	$2,58^E-5$ kg per MJ HVO (JEC 2020).
N2	A3	Nitrogen, liquid {RER} market for nitrogen, liquid Cut-off, U	E.I. 3.9	$6,0^E-6 * 44 = 2,64^E-4$	kg	$6,0^E-6$ kg/MJ HVO (JEC 2020)

HVO - POME-olie

De materiaalstroom Palm Oil Mill Effluent (POME) betreft afvalwater uit de palmolie productie. Deze stroom bestaat voor 90-95% uit water, 4-5% uit solids en 0.6-0.7% uit olie (Chin Hing Chung et al. 2017). Het lozen van deze onbewerkte POME heeft, mede door het hoge organische stofgehalte, een grote milieu impact (Akhbari et al. 2020) (Imam et al. 2024). Volgens de WHO dient deze stroom verwerkt te worden voordat deze geloosd mag worden in het milieu (Akhbari et al. 2020). De POME zelf heeft dus nog niet het end-of-waste punt bereikt en de verwerking ervan behoort nog bij de palmolie productie.

De afvalstroom heeft geen positieve financiële waarde en het kost de palmolie plantage geld om de POME te verwerken. Vanwege de eigenschappen van de afvalstroom (95% water) is het onaannemelijk dat er een markt ontstaat voor onbewerkte POME. De aannamen is dat er altijd op locatie afvalverwerking/opwerking zal plaatsvinden.

Biologische verwerking van het afvalwater duurt veelal langer dan fysio- en thermochemische verwerking. Deze verwerkingsmethoden kosten meer geld maar zijn sneller en leveren hoogwaardige reststromen (Sheng Lee et al. 2019). Het terugwinnen van de POME-olie uit het afvalwater gaat middels het afschuimen en wegpompen van de olie die op het afvalwater drijft. Verder zijn er verwarmingsstappen en filteringsstappen nodig om tot een schone olie te komen. De diesel- en stroom-verbruiken voor deze processtappen staan weergegeven in de documentatie voor HVO-productieroute in JEC (JEC 2020).

Mondiaal gezien is het essentieel om waardevolle organische reststromen optimaal te benutten, POME is hier een goed voorbeeld van (Imam et al. 2024). Door deze toenemende vraag naar organische grondstoffen, als vervanging voor fossiele grondstoffen is het rendabel geworden om de POME-olie hoogwaardiger te verwerken. Door de vele mogelijkheden van verwerking tot grondstof wordt POME-olie als een waardevolle grondstof met een grote potentie voor duurzame grondstof gebruik (Imam et al. 2024). Zo wordt er door palmolie leveranciers ook POME-olie bij ruwe palmolie bijgemengd (Vesper 2024).

In Thailand wordt POME-olie gebruikt voor elektriciteitsproductie (Seekao et al. 2021) en de inschatting is dat POME-olie de belangrijkste bron van duurzame energie voor Maleisië zou kunnen worden (Chin et al. 2013). Voorbeelden van andere producten welke uit POME-olie gewonnen kunnen worden zijn; biobrandstoffen, chemicaliën, nutriënten, pesticiden en oplosmiddelen. Naast het produceren van biogas is het terugwinnen van oliën voor HVO ook mogelijk. De verwerking van POME-olie naar biodiesel gaat via biocatalytische- en chemische-transesterificatie (Imam et al. 2024). De verwerking van de POME-olie werkt hierdoor waarde vermeerderend voor de palmolie producent (Imam et al. 2024).

Per ton palmolie ontstaat er 2,5 tot 3,75 ton aan POME-afvalwater (Ho et al 1984) (Chin et al. 2013). Middels de eerdergenoemde samenstelling kan er theoretisch na het terugwinnen van oliën uit deze 2,5-3,75 ton POME ongeveer 15 – 26 kg olie resteren. De waarde van deze olie wordt geschat op \$300-\$795 per ton (in Indonesië en op de westerse markt is deze waarden rond de \$1000 per ton (Vesper 2024). De waarde van 1 ton palmolie betreft \$865 - \$1000 dollar. Dit betekent dat de financiële output van de POME-olie tussen de 0,5% en de 2,5% van de primaire palmolie bedraagt.

De EN15804:A2 stelt dat er bij zeer kleine financiële bijdrage (<1%) niet gealloceerd hoeft te worden. Voor de POME ligt deze waarde rond deze indicatieve grenswaarde. Om in lijn te blijven met de RED regelgeving omtrent afval status van reststromen is er gekozen om geen impact te alloceren aan de POME-olie. De impact van deze keuze zal in de gevoeligheidsanalyse nader worden toegelicht.

De onderstaande tabel geeft de LCI van de POME HVO weer. De proces verbruiken zijn verkregen uit de JEC dataset. De JEC-data geeft uitsparing van elektriciteit en warmte voor HVO-productie uit POME (in tegenstelling tot UCO), hier is op basis van energie-inhoud op gealloceerd. De processtappen voor het scheiden van de POME-olie van het POME-afval-water zijn toegevoegd aan de LCI. Verder is er niet financieel gealloceerd zoals in de bovenstaande paragrafen is beschreven.

Tabel 20: HVO kaart, 1kg HVO o.b.v. 100% POME.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Databas e / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Feedstock POME-olie	A1-A3	subkaart energiedrager POME-olie (grondstof vrij-van-last)	E.I. 3.9	$(44 / 0,9767 / 38) = 1,185$	kg	HVO yield bedraagt 0,9767 MJ/MJ olie (JEC 2020). Met LHV voor POME-olie van 38 MJ/kg betekent dit 1,185 kg POME-olie per kg HVO.
Truck (oorsprong)	A2	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	E.I. 3.9	$500 / 1000 * 1,185 = 0,593$	tonkm	Inschatting 500km land van herkomst
Schip	A2	0290-tra&Transport, vrachtschip, zee (o.b.v. Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}) market for Cut-off, U)	E.I. 3.9	$14.800 / 1000 * 1,185 = 17,5$	tonkm	POME-olie uit Maleisië, gerekend met 14800 km zee transport.
Truck (bestemming)	A2	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	0	tonkm	Verwerking in haven
H2	A3	Hydrogen, liquid {RER} market for	E.I. 3.9	$6,63^E-2 / 120 * 44 = 0,0243$	kg	$6,63^E-2$ MJ/MJ-HVO (JEC 2020) Omgerekend naar kg H2 per kg HVO middels LHV uit Tabel 3.
H3PO4	A3	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for	E.I. 3.9	$1,69^E-5 * 44 = 7,436^E-4$	kg	$1,69^E-5$ kg per MJ HVO (JEC 2020).
NaOH	A3	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market fo	E.I. 3.9	$2,7^E-5 * 44 = 1,19^E03$	kg	$2,7^E-5$ kg per MJ HVO (JEC 2020).
Output						
Surplus Electricity (output)	A3	Co-product	E.I. 3.9	$-1,6^E-3 * 44 = -7,04^E-2$	MJ	$-1,6^E-3$ MJ/MJ HVO (JEC 2020) allocatie aan co-product o.b.v. MJ output (0,16%)
Surplus heat (output)	A3	Co-product	E.I. 3.9	$-7,9^E-3 * 44 = -0,35$	MJ	$-7,9^E-3$ MJ/MJ HVO (JEC 2020) allocatie aan co-product o.b.v. MJ output (0,78%)
HVO (*output)	A1-A3	Product	E.I. 3.9	1	Kg	44 MJ, 99,05% impact allocatie

Tabel 21: Subkaart energiedrager POME-olie (opwerking vanuit afvalwater grondstof vrij-van-last), per kg

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Diesel voor verwerken POME-afvalwater	A1-A3	Diesel, burned in building machine {GLO} diesel, burned in building machine Cut-off, U	E.I. 3.9	$6,76^E-6 * 38 * 0,0205 = 5,27^E-6$	MJ	$6,76^E-3$ MJ Diesel per MJ POME-olie (JEC 2020), totaal 20,5 kg POME-olie met LHV van 38 MJ/kg
Stroom voor verwerken POME-afvalwater	A1-A3	Electricity, high voltage {MY} market for electricity, high voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	$3,46^E-3 / 3 * 38 * 0,0205 = 7,49^E-4$	kWh	$3,46^E-3$ MJ stroom per MJ POME-olie (JEC 2020), totaal 20,5 kg POME-olie met LHV van 38 MJ/kg

HVO - Olie uit gebruikte bleekaaarde

Bleekaaarde wordt tijdens het raffinageproces gebruikt voor het reinigen en filteren van oliën en vetten. De stroom gebruikte bleekaaarde heeft diverse toepassingen, waaronder extractie van oliën voor biobrandstoffen of in de cementindustrie. Het heeft een positieve energetische waarde en levert energie op bij verbranding.

Deze teruggewonnen oliën hebben een positieve financiële waarden. De waarde van deze teruggewonnen olie wordt geschat op €433 per ton (Gemeente Rotterdam 2018) de waarde van primaire plantaardige oliën ligt afhankelijk van het type olie rond de €800-€1200 per ton. In de praktijk is het mogelijk dat er een diversiteit aan primaire oliën ten grondslag liggen aan deze verkregen reststroom. Net als voor het voedselafval is er niet gealloceerd aan de olie verkregen uit de bleekaaarde. Wel dienen de opwerkingsstappen meegenomen te worden. Er is geen zicht op de energieverbruiken en processtappen, om deze reden is een soja raffinageproces als proxy genomen voor de opwerkingsstappen van afvalstroom naar olie geschikt voor HVO-productie (Tabel 23).

Tabel 22: Modellerings HVO uit Gebruikte Bleekaaarde.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Olie uit Bleekaaarde	A1	Verwerken van Olie uit bleekaaarde middels Hexaan (o.b.v. Hexane {RER}) molecular sieve separation of naphtha Cut-off, U, zonder Naphtha input)	Eigen kaart	$44 / 0,9767 * 37 = 1,22$	kg	Yield 0,9767 MJ HVO per MJ-olie (37 MJ/kg) (JEC 2020).
Schip	A2	0290-tra&Transport, vrachtschip, zee (o.b.v. Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}) market for Cut-off, U)	E.I. 3.9	$16.000 * 1,22 / 1000 = 19,5$	tonkm	Geïmporteerd uit China, Maleisië en Indonesië. Gerekend met 16.000 km transport (gemiddeld China en Maleisië).
Truck (oorsprong)	A2	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	E.I. 3.9	$500 / 1000 * 1,22 = 0,609$	tonkm	-
Truck (bestemming)	A2	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	0	tonkm	Verwerking in haven
H2	A3	Hydrogen, liquid {RER} market for	E.I. 3.9	$9,09^E-2 / 120 * 44 = 0,033$	kg	0,0909 MJ/MJ-HVO (JEC 2020) Omgerekend naar kg H2 per kg HVO middels LHV uit Tabel 3.
H3PO4	A3	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for	E.I. 3.9	$1,69^E-5 * 44 = 7,436^E-4$	kg	$1,69^E-5$ kg per MJ HVO (JEC 2020).
NaOH	A3	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market fo	E.I. 3.9	$2,7^E-5 * 44 = 1,19^E03$	kg	$2,7^E-5$ kg per MJ HVO (JEC 2020).
Output						
Surplus Electricity (output)	A3	Co-product	E.I. 3.9	$-1,6^E-3 * 44 = -7,04^E-2$	MJ	$-1,6^E-3$ MJ/MJ HVO (JEC 2020) allocatie aan co-product o.b.v. MJ output (0,16%)
Surplus heat (output)	A3	Co-product	E.I. 3.9	$-7,9^E-3 * 44 = -0,35$	MJ	$-7,9^E-3$ MJ/MJ HVO (JEC 2020) allocatie aan co-product o.b.v. MJ output (0,78%)
HVO (*output)	A1-A3	Product	E.I. 3.9	1	Kg	44 MJ, 99,05% impact allocatie

Tabel 23: Verwerken van olie uit bleekarde per kg, zeven middels Hexaan (o.b.v Hexane {RER}| molecular sieve separation of naphtha | Cut-off, U, zonder Naphtha input)

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Proces water	A1	Water, cooling, unspecified natural origin, RER	E.I. 3.9	0,018	m3	Overname EcolInvent
Kapitaalgoed	A1	Chemical factory, organics {RER} chemical factory construction, organics Cut-off, U	E.I. 3.9	2,85E-10	p	Grondstof op nul gezet. Alleen processtappen
Grondstof	A1	Naphtha {RER} market for naphtha Cut-off, U	E.I. 3.9	0	kg	Grondstof op nul gezet. Alleen processtappen
Stroom	A3	Electricity, medium voltage {RER} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	0,018	kWh	Overname EcolInvent
Warmte	A3	Heat, district or industrial, natural gas {RER} market group for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	1,68	MJ	Overname EcolInvent
Warmte	A3	Heat, district or industrial, other than natural gas {RER} market group for heat, district or industrial, other than natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	094	MJ	GLO referentie vervangen voor RER. Waarden ongeqijzigd.
Emissie naar lucht	A3	Diverse	E.I. 3.9	-	m3	Overname EcolInvent
Emissie naar Water	A3	Diverse	E.I. 3.9	-	m3	Overname EcolInvent

HVO - Voedselafval

De HVO-mix uit 2023 bestaat voor 5% uit oliën die gewonnen worden uit voedselafval. Dit is een gevarieerde stroom welke uit diverse soorten voedsel kan bestaan en welke zowel pre-als post-consumenten afval kan betreffen. Om deze reden is het niet mogelijk om een inschatting te maken van het einde-afvalpunt en komt deze stroom als vrij-van-last het systeem binnen. Voor het transport is gerekend met een gemiddelde afstand van 9.500 km aangezien 50% van het voedselafval wordt geïmporteerd vanuit China. De aanname is dat uitsluitend de oliehoudende stoffen welke reeds uit het afval zijn gescheiden zullen worden geïmporteerd. De productiedata van de HVO is gebaseerd op de productie route vanuit sojaolie (JEC 2020), dit omvat de proces efficiëntie en overige posten zoals weergegeven in Tabel 24 (en niet de opwerking van de sojaolie).

Tabel 24: Modellerings HVO uit Voedselafval per kg, o.b.v. sojaboon olie productie route JEC.

Proces	Fase	Milieu-profiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Voedselafval	A1	Vrij-van-last	E.I. 3.9	$44 / 0,9767 / 37 = 1,218$	kg	Proces yield (opbrengst) 0,9767 MJ HVO per MJ-olie (37 MJ/kg)
Schip	A2	0290-tra&Transport, vrachtschip, zee (o.b.v. Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}) market for Cut-off, U)	E.I. 3.9	$9.500 * 1,218 / 1000 = 11,571$	tonkm	50%+ uit China (16.000km) en rest grotendeels uit Europa. (3000 km). Gerekend met 9.500 km
Truck (oorsprong)	A2	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	E.I. 3.9	$150 / 1000 * 1,218 = 0,183$	tonkm	Overname NMD kaart
Truck (bestemming)	A2	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	0	tonkm	Verwerking in haven
H2	A3	Hydrogen, liquid {RER} market for	E.I. 3.9	$9,09^E-2 / 120 * 44 = 0,033$	kg	0,0909 MJ/MJ-HVO (JEC 2020) Omgerekend naar kg H2 per kg HVO middels LHV uit Tabel 3.
H3PO4	A3	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for	E.I. 3.9	$1,69^E-5 * 44 = 7,436^E-4$	kg	1,69 ^E -5 kg per MJ HVO (JEC 2020).
NaOH	A3	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market fo	E.I. 3.9	$2,7^E-5 * 44 = 1,19^E-3$	kg	2,7 ^E -5 kg per MJ HVO (JEC 2020).
Output						
Surplus Electricity (output)	A3	Co-product	E.I. 3.9	$-1,6^E-3 * 44 = -7,04^E-2$	MJ	-1,6 ^E -3 MJ/MJ HVO (JEC 2020) allocatie aan co-product o.b.v. MJ output (0,16%)
Surplus heat (output)	A3	Co-product	E.I. 3.9	$-7,9^E-3 * 44 = -0,35$	MJ	- 7,9 ^E -3 MJ/MJ HVO (JEC 2020) allocatie aan co-product o.b.v. MJ output (0,78%)
HVO (*output)	A1-A3	Product	E.I. 3.9	1	Kg	44 MJ, 99,05% impact allocatie

FAME

In onderstaande tabel wordt de modellering voor FAME weergegeven, deze is gebaseerd op de modellering uit data uit JEC (JEC 2020). De grondstofstromen zijn overgenomen uit de data van de NEA (NEA 2023). Het dierlijk vet is gemodelleerd zoals beschreven in het brandstofmachine combinatie rapport uit 2018 (TNO 2018). Het dierlijkvet komt deels uit Europa echter komen de overige stromen met name uit Azië. De transport afstanden zijn hierop aangepast, en er is gerekend met een gemiddelde afstand van 16.000 km (Jakarta naar Rotterdam via SUEZ).

Eén van de reststromen in de NEA, 2023 marktmix, cashew nut shell liquid (CNSL), is een reststroom welke geproduceerd wordt uit een afvalstroom van de cashewnoten productie. Ongeveer 25% van het gewicht van de cashew zit niet in de noot maar in de schil eromheen. Voorheen werd dit als afval gestort in het milieu. De schillen hebben echter een calorische waarden van 18,9 MJ/kg en kunnen als

biobrandstof gebruikt worden (Energypedia 2020) of gebruikt worden als energiebron in de cashew productie zelf (Energy 2013). Het is ook mogelijk om een olie uit de schillen te persen (Mubofu 2015).

De schillen van de cashewnoot zijn reeds einde afval, echter dienen de opwerkingsstappen voor het verkrijgen van de olie wel meegenomen te worden. Voor Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) is niet duidelijk in welke mate de reststroom al is opgewerkt en wat hier de benodigde energie input van deze processtappen is. De olie kan op diverse manieren uit de schillen gewonnen worden, zo kan de CNSL warm of koud geperst worden of middels oplosmiddelen verkregen worden en wellicht is er ook raffinage nodig alvorens het als grondstof voor HVO kan dienen.

In Ecolnvent kaart voor cashewnoten worden er geen reststromen of afvalverwerkingsprocessen gemodelleerd. Ook is er gecorrigeerd met de Biogene-CO2 emissies vanuit de verbranding van FAME, methodisch komt dit overeen met de HVO kaart.

Tabel 25: A1-A4 FAME per ton

Proces	Fase	Milieuprofiel	Databas e / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Voedselafval (compostering)	A1	Vrij van last	-	$(37,2/0,965 * 37) * 0,27 = 0,25$	ton	37,2 MJ/kg LHV FAME, gedeeld door yield van 0,965 (JEC 2020), vermenigvuldigt met LHV secundaire olie van 37 MJ/kg betekent 1,04 kg olie per kg FAME. 27% uit voedselafval (NEA 2023)
Overig afval	A1	Vrij van last	-	$1,04 * 0,05 = 0,052$	ton	5%, overig (NEA 2023)
Cashew nutshell liquid (CNSL)	A1	CNSL (olie persen uit cashew nut shells) (o.b.v. Rape meal {RoW} rape oil mill operation Cut-off, U)	Eigen kaart	$1,04 * 0,09 = 0,094$	ton	9% CNSL (NEA 2023). Impact van het persen van olie (Tabel 26)
POME-olie (palm oil mill effluent)	A1	subkaart energiedrager POME-olie (grondstof vrij-van-last)	Eigen kaart	$1,04 * 0,23 = 0,24$	ton	23% POME (NEA 2023) modelering POME-olie gelijk aan HVO.
UCO	A1	Glycerine {RoW} treatment of waste cooking oil, purified, esterification.	E.I. 3.9	$1,04 * 0,04 = 0,0417$	ton	4% (NEA, 2023)
Dierlijk vet	A1	Subkaart Energiedrager dierlijkvet voor FAME (o.b.v TNO 2018)	Eigen kaart	$1,04 * 0,3 = 0,313$	ton	30% (NEA 2023) modelering zoals in (TNO, 2018) (Tabel 27)
Gebruikte Bleekaaarde	A1	Subkaart Energiedrager Verwerken van bleekaaarde (o.b.v. Soybean oil, refined {RoW} soybean oil refinery operation Cut-off, U)	E.I. 3.9	$1,04 * 0,02 = 0,021$	ton	2% van massa stroom (NEA 2023), modelering zoals bij HVO
Truck (land herkomst)	A2	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	NMD 3.9	500	Tonkm	500 km inschatting in land van herkomst
Schip	A2	Transport, freight, sea, tanker for petroleum {GLO} transport, freight, sea, tanker for petroleum Cut-off, U	E.I. 3.9	$16.000 * 1 = 16.000$	tkm	CNSL (Vietnam), Voedselafval (50% China) UCO (China, Maleisië en Europa) en POME (Indonesië. Gerekend met 16000 km (Zuid-Oost Azië via Suez)

Truck (bestemming)	A2	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	0	tonkm	Verwerking in haven
Methanol (fossiel)	A3	Methanol {GLO} methanol production Cut-off, U	E.I. 3.9	0,056/19,9*3700 0 = 105	kg	0,056 MJ/MJ FAME (JEC 2020).. LHV Methanol 19,9 MJ/kg (Tabel 3)
CO2 emissies uit methanol	A3	Carbon Dioxide, fossil to air (low pop)	E.I. 3.9	3,889 * 37 = 145	kg	3,889 gr/MJ FAME (JEC 2020).
Elektriciteit	A3	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (73% grijs, 27% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD 3.9	6,8 * 37 = 253	MJ	6,8 ^E -3 MJ/MJ FAME (JEC 2020).
Aardgas	A3	Subkaart Energiedrager Aardgas mix 2023 (Aardgas oorsprong 2023 aangepast, o.b.v. Natural gas, high pressure {NL} market for natural gas, high pressure Cut-off, U)	Eigen kaart	4,71 ^E -2/ 36 * 37.000 = 48,7	m3	4,71 ^E -2 MJ/MJ FAME (JEC 2020). LHV aardgas van 36 MJ/m3.
H3PO4	A3	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state Cut-off, U	E.I. 3.9	0,047 * 37 = 1,75	kg	0,047 gr/MJ FAME (JEC 2020).
KOH	A3	Potassium hydroxide {RER} potassium hydroxide production Cut-off, U	E.I. 3.9	0,427 * 37 = 15,9	kg	0,427 gr/MJ FAME (JEC 2020)
H2SO4	A3	Sulfuric acid {RER} market for sulfuric acid Cut-off, U	E.I. 3.9	0,295*37 = 11	kg	0,295 gr/MJ FAME (JEC 2020).
Uitgespaarde K-meststof	A3	Inorganic potassium fertiliser, as K2O {RER} market group for inorganic potassium fertiliser, as K2O Cut-off, U	E.I. 3.9	-0,381 * 37 = - 14,2	kg	-0,381 gr/MJ FAME (JEC 2020)
Correctie biogene CO2	A3	Biogene CO2 naar lucht	E.I. 3.9	-2834,64 + 77 = - 2790	kg	Correctie voor balans modules A1-A3 en B. -77 kg biogene CO2 in A1-A3 (en +7,16 kg CO2-eq biogene methaan), 2834,6 kg CO2-emissies in B.
Transport	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	tonkm	150km forfaitair
Opslag	A4	Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U (aangepast naar opslag brandstoffen tbv. categorie 3 brandstofprocessen)	E.I. 3.9	1 ton	ton	Gelijk aan Diesel

Onderstaande tabel geeft de modellering van de CNSL weer. Het betreft een kopie van de Ecolnvent kaart “Rape meal {RoW}| rape oil mill operation | Cut-off, U”, welke als proxy is gekozen, maar zonder de input van het raapzaad zelf. Hierdoor zijn alleen de processen voor het persen meegenomen.

Tabel 26: CNSL (olie persen uit cashew nut shells)(o.b.v. Rape meal {RoW}| rape oil mill operation | Cut-off, U)

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Input from nature	A1-A3	Carbon dioxide, in air	E.I. 3.9	0,406	kg	Overname E.I.
Input from nature	A1-A3	Water, cooling, unspecified natural origin, RoW	E.I. 3.9	1,19E-5	M3	Overname E.I.
Input from nature	A1-A3	Water, unspecified natural origin, RoW	E.I. 3.9	2,98E-6	M3	Overname E.I.
Hulpstof	A1-A3	Activated bentonite {GLO} market for activated bentonite Cut-off, U	E.I. 3.9	497	Dm3	Overname E.I.
Hulpstof	A1-A3	Hexane {GLO} market for hexane Cut-off, U	E.I. 3.9	1000	kg	Overname E.I.
Kapitaalgoed	A1-A3	Oil mill {GLO} market for oil mill Cut-off, U	E.I. 3.9	1314	MJ	Overname E.I.
Proces Hulpstof	A1-A3	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state Cut-off, U	E.I. 3.9	212	MJ	Overname E.I.
Grondstof	A1-A3	Rape seed {GLO} market for rape seed Cut-off, U	E.I. 3.9	150	tonkm	Raapzaad op 0 gesteld
Grondstof	A1-A3	Rape seed, organic {GLO} market for rape seed, organic Cut-off, U	E.I. 3.9	0,00	kg	Raapzaad op 0 gesteld
Grondstof	A1-A3	Rape seed, Swiss integrated production {GLO} market for rape seed, Swiss integrated production Cut-off, U	E.I. 3.9	13	kg	Raapzaad op 0 gesteld
Energie input (diverse)	A1-A3	Electricity, medium voltage market for electricity, medium voltage Cut-off, U (AU, NZ, RAF, RAS,RLA en RNA)	E.I. 3.9	0,02622	kWh	Onaangepast samengevat in één regel. Verschillende oorsprongen
Warmte (diverse)	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {RoW} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	0,0536	MJ	Overname E.I. (98.4% ROW en 1,6% uit CA-QC)
Emissies	A1-A3	Carbon dioxide, biogenic, to air, high pop.	E.I. 3.9	0,41	kg	Overname E.I.
Emissies	A1-A3	Hexane, to air, high pop.	E.I. 3.9	8,324E-5	Kg	Overname E.I.
Emissies	A1-A3	Water/m3, to air, high pop.	E.I. 3.9	5,92E-6	M3	Overname E.I.
Afvalwater	A1-A3	Water, RoW, to water	E.I. 3.9	8,98E-6	M3	Overname E.I.
Afvalwater	A1-A3	Wastewater, average {CA-QC} market for wastewater, average Cut-off, U	E.I. 3.9	7,25E-10		Overname E.I.
Afvalwater	A1-A3	Wastewater, average {RoW} market for wastewater, average Cut-off, U	E.I. 3.9	2,04E-7		Overname E.I.

Tabel 27: Modellerings dierlijk vet, LCI voor 76kg vet.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Output						
Dierlijk vet	A1-A3	Subkaart Energiedrager dierlijkvet voor FAME (o.b.v TNO 2018)	Eigenkaart	76	kg	Overname TNO, 2018
Uitgespaarde proceswarmte	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, U	E.I. 3.9	425	MJ	Overname TNO, 2018
Input						
Proces water	A1-A3	Water, cooling, unspecified natural origin, NL	E.I. 3.9	497	Dm3	Overname TNO, 2018
Dierlijke vetten	A1-A3	Vrij-van-last	E.I. 3.9	1000	kg	Overname TNO, 2018
Proces warmte, gas	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, U	E.I. 3.9	1314	MJ	Overname TNO, 2018
Proces warmte, stoom	A1-A3	Heat, from steam, in chemical industry {RER} market for heat, from steam, in chemical industry Cut-off, U	E.I. 3.9	212	MJ	Overname TNO, 2018
Transport naar fabriek	A1-A3	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	tonkm	1000kg slacht afval over 150 km, Overname TNO, 2018
Gevaarlijk afval	A1-A3	Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} market for hazardous waste, for incineration Cut-off, U	E.I. 3.9	0,03	kg	Overname TNO, 2018
Vast afval	A1-A3	Municipal solid waste {NL} treatment of municipal solid waste, incineration Cut-off, U	E.I. 3.9	13	kg	Overname TNO, 2018
Afvalwater	A1-A3	Wastewater, average {Europe without Switzerland} treatment of wastewater, average, wastewater treatment Cut-off, U	E.I. 3.9	880	dm3	Overname TNO, 2018

Innovatieve energiedragers – (Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBO)

In deze rapportage worden enkele innovatieve energiedragers beschreven welke in de toekomst potentieel een rol kunnen spelen in de scheepvaart. In dit hoofdstuk staan de hernieuwbare brandstoffen van niet biologische oorsprong (RFNBOs) beschreven maar ook de fossiele en bio-varianten van deze innovatieve energiedragers, welke niet onder de term RFNBO vallen. Voor deze energiedragers verschilt de status van de huidige technische mogelijkheden. Onder deze categorie wordt onder andere waterstof beschreven, echter is de markt op dit gebied veel verder ontwikkeld als voor bijvoorbeeld methanol of ammoniak. Door deze grote verschillen is de beschikbare data en de datakwaliteit van deze energiedragers uiteenlopend. Het is echter relevant om een beeld te hebben van deze energiedragers te schetsen om zo een eerste beeld te verkrijgen van het verduurzamingspotentieel.

Ammoniak (Waterstof Wind Mix)

Disclaimer: De huidige stand der techniek omtrent Ammoniak schepen is in de ontwikkel fase. Er is zeer beperkt data beschikbaar over de toepassing van deze energiedrager in schepen. Dit heeft met name effect op de gebruiksfase, zowel stikstof emissies als de niet gereguleerde emissies zoals ammoniak slib. De resultaten van deze kaart dienen met deze context geïnterpreteerd te worden.

Deze kaart betreft het produceren van Ammoniak door het hydrogeneren van stikstof in een Haber-Bosch reactor (70% rendement). De data zijn op basis van een productie van rond de 9000 ton per jaar. Voor het proces is er 200 kWh per ton Ammoniak nodig. Vanwege ontbreken van detail data is voor de kapitaalgoederen de waarde uit de Ecolnvent kaart voor grijze ammoniak overgenomen.

Aangezien het een energiedrager van de toekomst betreft is er voor de feedstock waterstof elektrolyse wind mix aangehouden, aangezien dit de meest duurzame variant is. Deze kaart is dus alleen van toepassing voor Ammoniak welke geproduceerd is met waterstof geproduceerd middels elektrolyse uit windenergie. Op deze wijze wordt er een beeld gegeven van de potentiaal voor milieu impact reductie van de energiedrager synthetische ammoniak. De stroombron is echter doorslaggevend voor de milieu impact van de energiedrager. In de gevoeligheidsanalyse zal hier dieper op ingegaan worden.

De stikstof komt uit de lucht (lucht separatie) hiervoor is de Ecolnvent kaart aangepast, door het stroomverbruik te verwijderen. Dit verbruik is reeds versleuteld in het opgegeven stroom verbruiken voor het productieproces.

Tabel 28: Ammoniak op basis van waterstof wind-mix, per ton.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Waterstof	A1-A3	Energiedrager Waterstof, Gas, Elektrolyse, wind mix (A1-A3) (o.b.v. NMD kaart Waterstof, Elektrolyse, groene mix)		239	kg	Efficiëntie proces o.b.v. data TNO
N2 gas	A1-A3	Nitrogen, liquid (RER) air separation, cryogenic Cut-off, U	E.I. 3.9	761	kg	Lucht separatie, aangepast stroomverbruik uit kaart verwijderd.
Stroom	A1-A3	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	E.I. 3.9	200	kWh	Energie per ton Ammoniak (TNO)
Kapitaalgoed	A1-A3	Chemical factory, organics {GLO} market for chemical factory, organics Cut-off, U	E.I. 3.9	3,90E-07	p	gelijk aan Ecolnvent Ammoniak kaart.
Transport	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	tkm	150km uitgaande van nationale productie.
Stroom verbruik terminal	A4	Electricity, medium voltage {NL} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	0,0009 * 18.600 = 16,74	MJ	Opslag op -33 °C. Conservatief verbruiken o.b.v. LNG (opslag op -300 °C). 0,0009 MJ/MJ LNG (JEC 2020).
Energieverbruik terminal	A4	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	0,01 * 18.600 = 186	MJ	Opslag op -33 °C. Conservatief verbruiken o.b.v. LNG (opslag op -300 °C). 0,01 MJ/MJ LNG (JEC 2020)

Ammoniak (Grijs)

Disclaimer: De huidige stand der techniek omtrent Ammoniak schepen is in de ontwikkel fase. Er is zeer beperkt data beschikbaar over de toepassing van deze energiedrager in schepen. Dit heeft met name effect op de gebruiksfase, zowel stikstof emissies als de niet gereguleerde emissies zoals ammoniak slib. De resultaten van deze kaart dienen met deze context geïnterpreteerd te worden.

Deze variant is niet zo zeer een RFNBO aangezien deze uit aardgas wordt geproduceerd. Aangezien ammoniak nog geen reguliere scheepsbrandstof is en dus wel een innovatieve scheepsbrandstof is, is er naast de synthetische variant ook een grijze variant opgenomen. Deze variant is opgenomen om zicht te kunnen geven op de potentie van de techniek en de energiedrager, en wat de uitwerking zou zijn als de techniek wordt ontwikkeld maar de energiedrager productie achterblijft. De grijze ammoniak kaart is op basis van ammoniak productie o.b.v. SMR (steam methane reforming). De gas mix is aangepast naar de marktmix zoals beschreven in de CNG kaart.

Tabel 29: Ammoniak Grijs, o.b.v Ammonia, anhydrous, liquid {RER w/o RU}| ammonia production, steam reforming, liquid | Cut-off, U, per kg

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Aardgas	A1-A3	Subkaart Energiedrager Aardgas mix 2023 (Aardgas oorsprong 2023 aangepast, o.b.v. Natural gas, high pressure {NL} market for natural gas, high pressure Cut-off, U)	E.I. 3.9	0,605+0,0043 = 0,61	m3	Overname waarden EcolInvent kaart (som van CH en RER geografieën), aangepast naar NL 2023 aardgas mix.
Kapitaalgoederen	A1-A3	Chemical factory, organics {GLO} market for chemical factory, organics Cut-off, U	E.I. 3.9	3,90E-10	p	Overname waarden EcolInvent kaart
Hulpstof	A1-A3	Nickel, class 1 {GLO} market for nickel, class 1 Cut-off, U	E.I. 3.9	0,000342	kg	Overname waarden EcolInvent kaart
Hulpstof	A1-A3	Solvent, organic {GLO} market for solvent, organic Cut-off, U	E.I. 3.9	2,93E-5	kg	Overname waarden EcolInvent kaart
Water	A1-A3	Tap water {CH} market for tap water Cut-off, U	E.I. 3.9	0,704	kg	Overname waarden EcolInvent kaart
Stroomverbruik	A1-A3	Electricity, low voltage {RER} market group for electricity, low voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	0,228	kWh	Overname waarden EcolInvent kaart
Warmte	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler modulating >100kW Cut-off, U	E.I. 3.9	9,96	MJ	Overname waarden EcolInvent kaart
Emissies	A1-A3	Carbon dioxide, fossil, to air	E.I. 3.9	1,406	kg	Overname waarden EcolInvent kaart
Emissies	A1-A3	Nitrogen oxides, to air	E.I. 3.9	6,83E-4	kg	Overname waarden EcolInvent kaart
Emissies	A1-A3	Water/m3, to air	E.I. 3.9	5,31E-2	m3	Overname waarden EcolInvent kaart
Emissies	A1-A3	Nitrogen, atmospheric, to water	E.I. 3.9	1,17E-4	kg	Overname waarden EcolInvent kaart
Emissies	A1-A3	Water, RER w/o RU, to water	E.I. 3.9	8,44E0-2	m3	Overname waarden EcolInvent kaart
Afval	A1-A3	Municipal solid waste {RER} market group for municipal solid waste Cut-off, U	E.I. 3.9	1,95E-4	kg	Overname waarden EcolInvent kaart
Transport	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	tkm	150km uitgaande van nationale productie.
Stroom verbruik terminal	A4	Electricity, medium voltage {NL} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	0,0009 * 18.600 = 16,74	MJ	Opslag op -33 °C. Conservatief verbruiken o.b.v. LNG (opslag op -300 °C). 0,0009 MJ/MJ LNG (JEC 2020).
Energieverbruik terminal	A4	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	0,01 * 18.600 186	MJ	Opslag op -33 °C. Conservatief verbruiken o.b.v. LNG (opslag op -300 °C). 0,01 MJ/MJ LNG (JEC 2020)

Waterstof

In onderstaande tabellen staat de LCI van de productie van waterstof weergegeven (SMR Tabel 30 en elektrolyse Tabel 31). De modellering is gebaseerd op de productie routes vermeld in de JEC, 2020 documentatie (JEC 2020). Afhankelijk van de vloeibare of gasvormige variant wordt het verbruik voor liquefactie of compressie toegepast. Ook zijn er drie varianten voor het type stroom, grijs, groen of wind mix. Bij deze varianten wordt zowel de elektriciteit voor de elektrolyse als voor de compressie/liquefactie aangepast. Een overzicht van de diverse stroom referenties staat in Tabel 32.

In module-A4 is er stroomverbruik voor de cryogene opslag van de vloeibare waterstof gerekend. De aanname is dat er veelal aan wal wordt gebunkerd. Er is echter wel 150 km forfaitair transport gerekend. De bijdrage van dit transport op de MKI:A2 is zeer gering (<1%). Door de grote volumes kan dit transport in de praktijk variëren, zo kan er soms maar 400kg per truck verplaats worden (gasvormig).

Tabel 30: Waterstof SMR vloeibaar en gasvormig per ton.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Aardgas	A1-A3	Subkaart Energiedrager Aardgas mix 2023 (Aardgas oorsprong 2023 aangepast, o.b.v. Natural gas, high pressure {NL} market for natural gas, high pressure Cut-off, U)	E.I. 3.9	120.000 * 1,315 /36 = 4,38E3	M3	1,315 MJ NG per MJ H2, 120 MJ/kg H2)) (JEC 2020), LHV 36 MJ/m3
Proceswarmte	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, U (aangepast voor SMR productieproces waterstof tbv. categorie 3 brandstofprocessen)	E.I. 3.9	4208 * 0,02 = 84,16	MJ	0,02 MJ/MJ-NG (JEC 2020)
Infrastructuur	A1-A3	Natural gas processing plant {GLO} natural gas processing plant production Cut-off, U	E.I. 3.9	4,38E-9	p	Gelijk aan NMD kaart
Emissie naar lucht	A1-A3	Methane, fossil, naar lucht	E.I. 3.9	120.000 * 1,59E-5 = 1,908	kg	0,0159 gr/MJ H2 (JEC 2020)
Emissie naar Lucht	A1-A3	Carbon Dioxide, Fossil, naar lucht	E.I. 3.9	0,89/0,0899 * 1000 = 9,9E3	kg	0,89 kg CO2 per NM H2 (IEAGHG 2017), dichtheid van 0,0899 kg/Nm3
Gasvormig						
Compressie voor truck transport (grijs)	A1-A3	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	120.000 * 0,0537 = 6.444	MJ	0,0537 MJ/MJ H2 naar 50.0 MPa (JEC 2020)
Transport Gas	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	NMD 3.9	150	tonkm	Forfaitair 150km transport
Compressie bij afname locatie (grijs)	A4	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	120.000 * 0,0528 = 6.336	MJ	0,0528 MJ/MJ H2 naar 88.0 MPa (JEC 2020)
H2 verliezen bij afname locatie	A4	Energiedrager Waterstof, Gas, SMR grijze mix (A1-A3) (o.b.v. NMD kaart Waterstof, Steam methane reforming (SMR), groene mix)	E.I. 3.9	0,02	ton	2% (JEC 2020)
Vloeibaar						
Liquefactie grijs	A1-A3	pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD 3.9	120.000 * 0,3 = 36.000	MJ	0,3 MJ/MJ H2, LHV 120 MJ/kg (JEC 2020)
Transport vloeibaar	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	NMD 3.9	150	tonkm	Forfaitair 150km transport.
Stroom verbruik cryo-compressie op afname locatie	A4	pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD 3.9	0,01 * 120.000 = 1200	MJ	0,01 MJ/MJ H2 (JEC WTW Pathway 2020)
H2 verliezen bij afname locatie	A4	Energiedrager Waterstof, Vloeibaar, SMR grijze mix (A1-A3) (o.b.v. NMD kaart Waterstof, Steam methane reforming (SMR), grijze mix)	E.I. 3.9	0,005	ton	0,5% (JEC 2020)

Tabel 31: LCI van waterstof middels elektrolyse, vloeibaar en gasvormig, per ton.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Elektrolyse (grijs)	A1-A3	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	$1,538 * 120000 / 3,6 = 51.266$	kWh	1,538 MJ stroom per MJ H ₂ (JEC WTW Pathway 2020). Bij groene en wind variant andere stroom referentie (Tabel 32)
Water	A1-A3	Water, ultrapure {RER} market for water, ultrapure Cut-off, U	E.I. 3.9	9	ton	1 kg H ₂ gas vergt 500 mol H ₂ , hiervoor is 500 mol H ₂ O nodig. Betekent 9kg water per kg H ₂ (zonder verliezen). Bijdrage aan MKI <1%
Potassium Hydroxide	A1-A3	Potassium hydroxide {RER} potassium hydroxide production Cut-off, U	E.I. 3.9	$9000 * 0,3 / 1000 = 27$	kg	30% t.o.v. water en aanname na 100x vervangen (TNO 2021). Bijdrage aan MKI <1%
Brandstofcel voor omzetting	A1-A3	Fuel cell, stack polymer electrolyte membrane, 2kW electrical, future {RoW} fuel cell production, stack polymer electrolyte membrane, 2kW electrical, future Cut-off, U	E.I. 3.9	$1/135 = 7,4 \times 10^{-3}$	p	30 Nm ³ per uur, 50.000 uur levensduur, 135 ton H ₂ gedurende levensduur (TNO 2016). Bijdrage aan MKI <1%
Gasvormig						
Compressie voor truck transport (grijs)	A1-A3	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	$120.000 * 0,0537 = 6.444$	MJ	0,0537 MJ/MJ H ₂ naar 50.0 MPa (JEC 2020)
Transport Gas	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	NMD 3.9	150	tonkm	Forfaitair 150km transport
Compressie bij afname locatie (grijs)	A4	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	$120.000 * 0,0528 = 6.336$	MJ	0,0528 MJ/MJ H ₂ naar 88.0 MPa (JEC 2020)
H ₂ verliezen bij afname locatie	A4	Energiedrager Waterstof, Gas, SMR grijze mix (A1-A3) (o.b.v. NMD kaart Waterstof, Steam methane reforming (SMR), groene mix)	E.I. 3.9	0,02	ton	2% (JEC 2020)
Vloeibaar						
Liquefactie grijs	A1-A3	pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD 3.9	$120.000 * 0,3 = 36.000$	MJ	0,3 MJ/MJ H ₂ , LHV 120 MJ/kg (JEC 2020)
Transport vloeibaar	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	NMD 3.9	150	tonkm	Forfaitair 150km transport
Stroom verbruik cryo-compressie op afname locatie	A4	pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD 3.9	$0,01 * 120.000 = 1200$	MJ	0,01 MJ/MJ H ₂ (JEC WTW Pathway 2020)
H ₂ verliezen bij afname locatie	A4	Energiedrager Waterstof, Vloeibaar, SMR grijze mix (A1-A3) (o.b.v. NMD kaart Waterstof, Steam methane reforming (SMR), grijze mix) (LIQUEFACTIE TOEVOEGEN)	E.I. 3.9	0,005	ton	0,5% (JEC 2020)

Tabel 32: Elektriciteit kaarten voor de diverse Waterstof Elektrolyse en SMR-kaarten.

Proces	Fase	Milieuoprofiel	Database / Bron	Eenheid	Uitgangspunten
Grijze stroom	A1-A3	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	kWh	Gelijk aan NMD kaart
Groene stroom	A1-A3	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	kWh	Gelijk aan NMD kaart
Wind Mix	A1-A3	□ 0571-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, van windturbines op zee, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028) 7,7% □ 0572-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, van windturbines op land, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028) 92,3%	NMD	kWh	Verhouding offshore: onshore uit NL "market for" referentie.

Methanol grijs

Voor grijze Methanol is de Ecolnvent kaarten aangehouden zoals weergegeven in de onderstaande tabel. Data uit 2020 geeft weer dat het grootste deel van de grijze methanol geïmporteerd wordt (Trinidad & Tobago, Venezuela, Equatorial Guinea en Rusland) (TNO 2020). Om deze reden wordt de GLO kaart als een representatieve benadering gezien.

De Ecolnvent proceskaart is van een hoger detail niveau en gebruikt recentere bronnen (2007 t.o.v. 1998) dan beschikbaar in de JEC, 2020 dataset. De grootheden voor gasverbruik en energieverbruik liggen in dezelfde orde grote:

- 0,53 m3 Aardgas per kg methanol o.b.v. JEC 2020 dataset en 0,65 m3 in Ecolnvent
- 9,2 MJ energie input per kg methanol (o.b.v. een 68,3% procesefficiëntie uit JEC, 2020 dataset) en 7,2 MJ per kg methanol in Ecolnvent.

Om deze reden is er gekozen om de Ecolnvent kaart niet aan te passen.

Tabel 33: Ecolnvent kaart voor methanol grijs, Methanol {GLO}| methanol production | Cut-off, U, per kg.

Proces	Fase	Milieuoprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Methanol grijs	A1-A3	Water, cooling, unspecified natural origin, GLO	E.I. 3.9	8,16 ^{E-3}	m3	Overname Ecolnvent
Hulpstof	A1-A3	Aluminium oxide, non-metallurgical {IAI Area, EU27 & EFTA} market for aluminium oxide, non-metallurgical Cut-off, U	E.I. 3.9	3,47E-5	kg	Overname Ecolnvent
Hulpstof	A1-A3	Aluminium oxide, non-metallurgical {RoW} market for aluminium oxide, non-metallurgical Cut-off, U	E.I. 3.9	2,05E-4	kg	Overname Ecolnvent
Hulpstof	A1-A3	Copper oxide {GLO} market for copper oxide Cut-off, U	E.I. 3.9	9,0E-5	kg	Overname Ecolnvent
Kapitaalgoederen	A1-A3	Methanol factory {GLO} market for methanol factory Cut-off, U	E.I. 3.9	3,72E-11	P	Overname Ecolnvent
Hulpstof	A1-A3	Molybdenum {GLO} market for molybdenum Cut-off, U	E.I. 3.9	1,05E-5	kg	Overname Ecolnvent
Grondstof	A1-A3	Natural gas, high pressure {GLO} market group for natural gas, high pressure Cut-off, U	E.I. 3.9	0,65	m3	Overname Ecolnvent
Hulpstof	A1-A3	Nickel, class 1 {GLO} market for nickel, class 1 Cut-off, U	E.I. 3.9	2,0E-5		Overname Ecolnvent
Hulpstof	A1-A3	Water, deionised {CH} market for water, deionised Cut-off, U	E.I. 3.9	7,2E-4	kg	Overname Ecolnvent
Hulpstof	A1-A3	Water, deionised {Europe without Switzerland} market for water, deionised Cut-off, U	E.I. 3.9	0,2	kg	Overname Ecolnvent

Hulpstof	A1-A3	Water, deionised {RoW} market for water, deionised Cut-off, U	E.I. 3.9	0,65	kg	Overname EcolInvent
Hulpstof	A1-A3	Zinc {GLO} market for zinc Cut-off, U	E.I. 3.9	3,0E-5	kg	Overname EcolInvent
Stroomverbruik	A1-A3	Electricity, medium voltage {GLO} market group for electricity, medium voltage Cut-off, U	E.I. 3.9	0,074	kWh	Overname EcolInvent
Proceswarmte	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {GLO} market group for heat, district or industrial, natural gas Cut-off, U	E.I. 3.9	6,93	MJ	Overname EcolInvent
Emissies naar lucht	A1-A3	Emission to air, various	E.I. 3.9	-	kg	Overname EcolInvent
Emissies naar water	A1-A3	Emission to water, various	E.I. 3.9	-	kg	Overname EcolInvent
Opslag	A4	Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U (aangepast naar opslag brandstoffen tbv. categorie 3 brandstofprocessen)	NMD	1,00	ton	Aanname gelijk aan Diesel, bijdrage marginaal.

Methanol Bio

Voor bio methanol zijn er diverse grondstoffen mogelijk. Het is echter niet duidelijk welke feedstock er met name relevant zal zijn voor scheepsbrandstoffen. Er is gekozen om de Zwitserse kaart te hanteren aangezien de RER-kaarten op basis van pulp overmatig complex opgesteld zijn. De huidige kaart biedt dus een beter uitgangspunt voor toekomstige updates in grondstoffen en energie verbruiken. In deze kaart is de grondstof synthetic gas. Dit is een biogeen gas, o.b.v vergassen van hout en biomassa, met een energie-inhoud van 6,21 MJ/m³.

Tabel 34: Methanol Bio, o.b.v. Methanol, from biomass {CH} | methanol production, from synthetic gas | Cut-off, U, per kg.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Methanol Bio	A1-A3	Water, cooling, unspecified natural origin, CH	E.I. 3.9	0,00816	m3	Overname EcolInvent
Hulpstoffen	A1-A3	Aluminium oxide, non-metallurgical {RoW} market for aluminium oxide, non-metallurgical Cut-off, U	E.I. 3.9	0,00024	kg	Overname EcolInvent
Hulpstoffen	A1-A3	Copper oxide {GLO} market for copper oxide Cut-off, U	E.I. 3.9	9,0E-5	kg	Overname EcolInvent
Kapitaalgoederen	A1-A3	Methanol factory {GLO} market for methanol factory Cut-off, U	E.I. 3.9	3,70E-11	p	Overname EcolInvent
Hulpstoffen	A1-A3	Molybdenum {GLO} market for molybdenum Cut-off, U	E.I. 3.9	1,0E-5	kg	Overname EcolInvent
Hulpstoffen	A1-A3	Nickel, class 1 {GLO} market for nickel, class 1 Cut-off, U	E.I. 3.9	2,0E-5	kg	Overname EcolInvent
Grondstof	A1-A3	Synthetic gas {CH} market for synthetic gas Cut-off, U	E.I. 3.9	7,13	m3	Overname EcolInvent
Hulpstoffen	A1-A3	Water, deionised {CH} market for water, deionised Cut-off, U	E.I. 3.9	0,85	kg	Overname EcolInvent
Hulpstoffen	A1-A3	Zinc {GLO} market for zinc Cut-off, U	E.I. 3.9	3,0E-5	kg	Overname EcolInvent
Stroomverbruik	A1-A3	0081-fab&Elektriciteit, bij consument, materialisatie externe levering, gemiddelde netmix grijs (73%) en hernieuwbaar (27%), per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	E.I. 3.9	0,277	kWh	Overname EcolInvent, aangepast naar NL-mix

Emissie naar lucht	A1-A3	Emission to air, various	E.I. 3.9	-	kg	Overname EcolInvent
Emissie naar water	A1-A3	Emission to water, various	E.I. 3.9	-	kg	Overname EcolInvent
Afvalwater verwerking	A1-A3	Wastewater, average {CH} market for wastewater, average Cut-off, U	E.I. 3.9	5,32E-3	m3	Overname EcolInvent
Correctie biogeen	A1-A3	Carbon dioxide, biogenic, to air	E.I. 3.9	-1371,1 + 808 = 563	kg	1371,11 kg CO2 per ton Methanol verbrandingsemissies in B en 808 kg biogene CO2 in A1-A3
Opslag	A4	Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U (aangepast naar opslag brandstoffen tbv. categorie 3 brandstofprocessen)	NMD	1,00	ton	Aanname gelijk aan Diesel, bijdrage marginaal.

e-Methanol (Fossiele/Biogene CO2)

De brandstof e-methanol is een energiedrager van de toekomst, de aanname is dat deze geproduceerd zal worden uit groene waterstof en afgevangen CO2. Het opvangen van CO2 uit rookgasafvoer kost geld en energie. Voor deze energiedrager zijn er twee opties, afgevangen fossiele of biogene CO2. Echter is het ook mogelijk dat het mix van biogene en fossiele CO2 betreft van bijvoorbeeld een afvalverbrandingsinstallatie. Naast het afvangen van CO2 uit een rookgasafvoer is het in de toekomst wellicht ook mogelijk om de CO2 direct uit de lucht af te vangen, middels direct-air-capture (DAC). De DAC-optie wordt weergegeven in de gevoeligheidsanalyse.

Er zijn nog geen sterk afgebakende rekenregels omtrent het rekenen en alloceren van afgevangen CO2-emissies. Daarnaast is het belangrijk dat er harmonie is tussen de LCA-methoden en hoe de markt omgaat met koolstofcompensatie en carbon-off-setting. Momenteel is er geen markt voor grootschalig geproduceerde E-methanol welke dergelijke afgevangen-CO2 gebruikt. Het is echter van groot belang dat er kritisch omgegaan wordt met het rekenen van afgevangen CO2 en dat er ten alle tijden voorkomen wordt dat er in twee productsystemen voordelen gerekend worden.

Over CO2 opslag staat het volgende beschreven in de EN15804; “The effect of temporary carbon storage and delayed emissions, i.e. the discounting of emissions and removals, shall not be included in the calculation of the GWP”. Er mag dus geen negatieve CO2-emissie gerekend worden. Hier is echter geen sprake van aangezien er fysiek CO2 wordt opgevangen en er dus geen emissie plaatsvindt (een emissie van 0), de CO2 beland namelijk niet in de lucht en verlaat het systeem als een reststroom/co-product. Dit wordt een input in een volgend systeem of kan permanent worden opgeslagen (in het geval van fossiele-CO2 zou er binnen de EN15804 wel met permanente opslag gerekend kunnen, worden en voor biogene CO2 niet).

Voor de fossiele variant geldt in deze LCA dat de lasten van deze afgevangen CO2 worden toegekend aan het eerste productiesysteem waar het wordt afgevangen en behoren niet tot het productsysteem van de e-methanol. Vervolgens verlaat de CO2 het eerste systeem niet als emissie maar als een vrij-van-last reststroom. Dit betekent dat de productielocatie dus emissies vermijdt maar dit niet kan rekenen als negatieve CO2-emissies. Per ton e-methanol wordt er 1,482 ton CO2 gebruikt. Deze CO2 komt als vrij-van-last grondstof het e-methanol productsysteem binnen. De emissies die na verbranding van de brandstof alsnog in de atmosfeer belanden worden wel meegenomen in de gebruiksfase.

In de EN15804:A2 staat beschreven dat voor biogene CO₂ zowel tijdelijke als permanente CO₂ opslag geen deel uitmaakt van de GWP (EN15804:A2 sectie, 5.4.3). Voor de biogene variant geldt dat de biogene koolstofbalans nul moet zijn over de gehele levenscyclus, om deze reden is er voor deze variant een biogene CO₂ correctie opgenomen in A1-A3. Vanuit het EN15804 LCA perspectief is er dus geen kwantitatief voordeel om dergelijke biogene-CO₂ af te vangen. Hoe dit standhoudt met de businesscase voor het afvangen van deze CO₂ is geen onderdeel van deze studie.

De meerwaarde van het afvangen van de biogene-CO₂ komt tot uiting in de opvolgende e-methanol productie waar de biogene-CO₂ een lage MKI geeft. De huidige modellering voor de biogene e-methanol geeft dus de best-case modellering weer, waar geen impact is gealloceerd aan de biogene-CO₂ maar waar de baten wel bij de brandstofgebruiker liggen. Met bovenstaande in acht nemende kan er ook geredeneerd worden dat de lasten voor het afvangen van de biogene-CO₂ aan de e-methanol keten toegekend dienen te worden. In dit geval zal de MKI van de e-methanol toenemen, meer nuances hierover volgen in de gevoeligheidsanalyse.

Op basis van een dataset van JRC is de onderstaande LCI opgesteld (JEC 2020). Aangezien het een energiedrager van de toekomst betreft is er voor de feedstock is waterstof o.b.v. elektrolyse wind aangehouden aangezien dit de meest duurzame variant is. Dit geeft het meest realistische beeld voor het potentieel van de e-methanol.

Tabel 35: Productie van e-methanol (A1-A3), per ton

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Output						
Methanol	A1-A3	-	E.I. 3.9	1	Ton	
uitsparing warmte uit methanol synthese	A1-A3	Heat, district or industrial, natural gas {NL} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical Cut-off, U	E.I. 3.9	1717,37	MJ	0,0863 MJ/MJ methanol (JEC 2020). Aanname uitsparing van warmte o.b.v. aardgas EcolInvent kaart.
Input						
Waterstof voor methanol synthese	A1-A3	Energiedrager Waterstof, Gas, Elektrolyse, wind mix (A1-A3) (o.b.v. NMD kaart Waterstof, Elektrolyse, groene mix)		203,66	kg	1,2281 MJ per MJ methanol, omrekening middels LHV in energiedrager overzicht (JEC 2020)
Stroom voor methanol synthese	A1-A3	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	NMD	297,95	kWh	0,0539 MJ/MJ methanol (JEC 2020)
CO ₂	A1-A3	Vrij-van-last	E.I. 3.9	0,0745 * 19900 = 1482,55	kg	0,0745 kg/MJ methanol.
Transport CO ₂	A1-A3	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	E.I. 3.9	150 * 1,482 = 222	tonkm	Aanname forfaitair 150 km transport van CO ₂ , productielocatie naar Methanol fabriek.
Biogene CO ₂ correctie	A1-A3	Carbon Dioxide, biogenic, to air	E.I. 3.9	-1371,11	kg	Correctie voor verbrandingsemissies. Alleen relevant voor de biogene variant.
Opslag	A4	Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U (aangepast naar opslag brandstoffen tbv. categorie 3 brandstofprocessen)	NMD	1,00	ton	Aanname gelijk aan Diesel, bijdrage marginaal.

Elektriciteit

De kaarten voor elektriciteit zijn reeds beschikbaar in de NMD, er wordt uitsluitend een wind-mix kaart toegevoegd. Deze kaart is te gebruiken indien de energieleverancier niet specificeert of het windenergie van zee of land betreft. De mix is gebaseerd op de gegevens uit 2023 (CBS 2024).

Tabel 36: Elektriciteit referenties

Naam	Referentie
Elektriciteit Groen	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)
Elektriciteit Grijs	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)
Elektriciteit Wind (Zee)	0571-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, van windturbines op zee, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)
Elektriciteit Wind (land)	0572-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, van windturbines op land, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)
Elektriciteit Wind Mix	☐ 37% - 0571-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, van windturbines op zee, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028) ☐ 63% - 0572-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, van windturbines op land, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)

Ad-Blue - Ureum

Deze tabel geeft de productie van AdBlue (Ureum) weer en de bijbehorende emissie van CO2 naar lucht.

Tabel 37: AdBlue per kg, 32,5% Ureum

Naam	Module	Referentie	Database	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Ureum	A1-A3	Urea {RER} market for urea Cut-off, U	E.I. 3.9	0,325	kg	32,5% Ureum bevat 0,15 kg stikstof.
Ureum	A1-A3	Water, deionised {Europe without Switzerland} market for water, deionised Cut-off, U	E.I. 3.9	0,675	kg	67,5% demi water
Transport naar gebruiker	A4	0320-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), euro 5, diesel, per tkm	E.I. 3.9	150	kgkm	150km transport forfaitair
CO2 naar lucht	B	CO2 naar lucht	E.I. 3.9	0,733 * 0,325 = 0,238	Kg	Vanuit moleculaire eigenschappen 0,733 kg Co2 emissies per kg ureum.

3.1.2. Emissieprofielen

De emissieprofielen betreffen alle emissies als gevolg van het gebruiken van de in A1-A3 gemodelleerde energiedragers. Dit kan zijn in een verbrandingsmotor of in een brandstofcel. Op het gebied van MKI zijn de emissieprofielen met name relevant voor de verbrandingsmotoren.

De CO₂ en NO_x emissies dragen met name veel bij aan de totale MKI van de verbrandingsemissies. Diverse emissieklassen hebben andere limieten voor deze emissies en resulteren in een andere milieu impact. De opbouw van dit rapport stelt de gebruiker in staat om onderscheid te maken in specifieke emissieklassen of o.b.v. eigen meetwaarden (voor NO_x en PM). Dit kan op schip of motor niveau afhankelijk van de situatie. Voor enkele emissieklassen zijn ook CO en HC-normen, deze zijn niet flexibel opgenomen in de modellering.

In Tabel 38 staan alle verbrandingsemissies zonder PM en NO_x weergegeven. Deze zijn voor zout gebaseerd op (Marin 2024) (TNO 2022) en voor zoet op (RIVM 2024). De standaard waarden zijn gebaseerd op de worst-case emissienorm (CCRO en Pre TIER I). Vervolgens geeft de Excel rekentool de gebruiker de mogelijkheid PM en NO_x specificeren door een default waarden (emissieklassen) uit Tabel 40 t/m Tabel 43 te kiezen. Ook is het mogelijk om in de meegeleverde Excel tool manueel deze emissie aan te passen. De regels omtrent het toepassen hiervan worden niet beschreven in dit LCA-rapport.

Voor de ULEV-schepen is door TNO aangegeven dat er zeer weinig praktijkdata (emissie metingen) beschikbaar zijn. De verwachting is dat dergelijke schepen vergelijkbaar met Stage-V IWP/IWA uitkomen en dat er met name een sterke reductie in PM zal zijn en in mindere mate in NO_x (zonder ophoging van het AdBlue gebruik). Voor alle ULEV-schepen is daarom met de Stage V IWP/IWA waarden gerekend.

Diverse emissieklasse en brandstof combinaties hebben geen data, dit komt doordat deze combinaties in de praktijk niet van toepassing zijn. Bijvoorbeeld een nieuwe ammoniak verbrandingsmotor welke aan een verouderde CCRI-norm voldoet.

Voor enkele energiedragers ontbreekt specifieke emissiedata (GTL en FAME) (Tabel 38). Voor GTL wordt het emissieprofiel aangehouden voor HVO, echter zijn alle biogene emissies veranderd door fossiele emissies. De onderbouwing hiervoor is dat GTL een synthetische brandstof is en daardoor weinig verontreinigingen zal bevatten. Bij FAME zijn de emissies gelijkgesteld aan Diesel, en hier zijn de fossiele emissies aangepast naar biogeen. Deze aannamen wordt door experts bij TNO als representatief gezien aangezien FAME in de praktijk geen lager emissieprofiel geeft dan Diesel.

Tabel 38: Emissieprofielen per ton brandstof, zonder PM en NOx in kg emissie per ton brandstof.

	Diesel (ULSD)	HFO	GTL	MGO	LNG / CNG	Bio-LNG / Bio-CNG	HVO	FAME
Eenheid	ton	ton	ton	ton	Ton	ton	ton	ton
Bron	EcolInvent 3.9 ¹	(TNO 2016)	(TNO 2021)	(TNO 2021)	(TNO 2016)/ (TNO 2021)	(TNO 2016)/ (TNO 2021)	(TNO 2021)	
Carbon dioxide, fossil	3152	3206	3124	3181,6	2741,04			
Carbon dioxide, biogeen						2750	3109,3	2834,64
Carbon monoxide, fossil	2,7	13,5	gelijk aan HVO (fossiel i.p.v. biogeen)	2,67	14,8			gelijk aan Diesel (biogeen i.p.v. fossiel)
Carbon monoxide, biogeen						14,8	2,67	
NM VOC	1,0	2,1		2,36	1,5	1,5	2,36	
Sulfur Dioxide	6,01E-01	2,0		2,57	0,1	0,1	0,03	
Methane, biogenic		0,1		0,112		38,9 ²	0,112	
Methane, fossil	2,40E-02				38,9 ²			
Dinitrogen monoxide	3,31E-01	0,08		0,08	0,08	0,08	0,08	
Ammonia	5,19E-02	0,01		0,01	0,01	0,01	0,01	
Arsenic, ion		2,34E-04		1,80E-04				
Cadmium	1,00E-05	7,05E-06		2,10E-03				
Chromium III	5,01E-05	8,82E-05		2,74E-03				
Copper	1,70E-03	1,76E-04		7,30E-04				
Lead	2,00E-05	5,29E-05		3,70E-04				
Nickel	7,01E-05	1,41E-02		5,30E-04				
Vanadium		1,06E-05		2,38E-03				
Zinc	1,00E-03	3,53E-02		2,45E-03				
Arcolein		3,36E-02		3,49E-02	0,001555	0,001555	3,49E-02	
Benzene	1,90E-02	4,48E-02		4,66E-02	0,002073	0,002073	4,66E-02	
Ethene		2,69E-01		2,80E-01	0,012437	0,012437	2,80E-01	
Formaldehyde		1,34E-01		1,39E-01	0,006219	0,006219	1,39E-01	
Toluene	8,01E-03	3,27E-02		3,39E-02	0,001511	0,001511	3,39E-02	
Xylene	8,01E-03	4,48E-02		4,66E-02	0,002073	0,002073	4,66E-02	
Phenanthrene		7,93E-04		8,24E-04	3,70E-05	3,70E-05	8,24E-04	
Anthracene		6,07E-05		6,30E-05	3,00E-06	3,00E-06	6,30E-05	
Fluoranthene		9,33E-05		9,70E-05	4,00E-06	4,00E-06	9,70E-05	
Chrysene		4,20E-05		4,37E-05	2,00E-06	2,00E-06	4,37E-05	
Benzo(a)anthracene		1,45E-05		1,50E-05	1,00E-06	1,00E-06	1,50E-05	
Benzo(a)pyrene	7,71E-09	1,28E-05		1,34E-05	1,00E-06	1,00E-06	1,34E-05	
Benzo(b)fluoranthene		1,07E-05		1,11E-05	4,97E-07	4,97E-07	1,11E-05	
Benzo(k)fluoranthene		5,37E-06		5,58E-06	2,48E-07	2,48E-07	5,58E-06	
Benzo(g,h,i)perylene		4,20E-06		4,37E-06	1,94E-07	1,94E-07	4,37E-06	
Indeno(1,2,3-cd)pyrene		2,33E-09		2,42E-09	1,08E-10	1,08E-10	2,42E-09	
Naphthalene		5,60E-03		5,82E-03	2,59E-04	2,59E-04	5,82E-03	
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo- p-		2,33E-10		2,42E-10	1,08E-11	1,08E-11	2,42E-10	
Ethane, 1,1,1,2- tetrafluoro-, HFC- 134a		0,016		0,016	0,016	0,016	0,016	
Hydrogen Chloride	1,06E-03							
mercury	7,01E-08							
Selenium	1,00E-05							

□ ¹O.b.v. Transport, freight, inland waterways, barge {RER} | transport, freight, inland waterways, barge | Cut-off, U

□ ²Emissies o.b.v. TNO, 2016 aangezien dit pure LNG-emissies betreft, en geen mix met MGO. Echter methaanslib emissies overgenomen zoals beschreven in TNO, 2021.

Onderstaande tabel geeft de CO₂-emissies voor de alternatieve energiedragers weer (verbrandingsmotor en brandstofcel). Op het moment van schrijven is er geen meet data beschikbaar over overige emissies naast CO₂, NO_x en PM. Zoals eerder aangegeven is er geen data beschikbaar voor de (niet) gereguleerde emissies bij Ammoniak schepen. Er is nog grote onzekerheid over potentiële emissies van ammoniak slib e.d..

Tabel 39: Emissieprofielen per ton brandstof, zonder PM en NO_x.

Emissie	Verbrandingsmotor			Brandstofcel			Eenheid
	Ammoniak	Methanol	Waterstof	Ammoniak	Waterstof	Methanol	
Carbon dioxide, fossil/biogeen	0	1371,11	0	0	0	1371,11	kg

In Tabel 40 en Tabel 41 staan de waarden voor PM- en NO_x-emissies voor reeds bestaande energiedragers. Deze zijn afhankelijk van de emissieklasse van de vaartuigen. De gepresenteerde waarden zijn kengetallen die worden gebruikt in de nationale emissieregistratie voor binnenvaart en zeevaart. Deze waarden zijn gemiddelde praktijkemissies, die zijn gebaseerd op emissiemetingen op schepen of metingen aan de kade. Deze praktijkemissies zijn hoger dan de officiële limietwaarden van de motoren, met name voor de hogere emissieklassen. Dit heeft vooral te maken met relatief hoge emissies bij een lage motorbelasting, omdat daar vaak de nabehandelingssystemen minder goed werken.

Aangezien de waarden voor TIER I en TIER II vrijwel identiek zijn in de dataset is er gekozen om deze te clusteren, er wordt dus een gecombineerde klassen weergegeven TIER I / II. Hetzelfde geldt voor TIER II, TIER III en ULEV (Stage V IWP/IWA) voor (bio)-LNG en (Bio)-CNG welke ook identieke PM en NO_x-waarden hebben. Voor TIER III is nog relatief weinig praktijkdata beschikbaar, mede gegeven door de nog relatief kleine vloot die aan deze eis voldoet. Eerste meetresultaten uit het SCIPPER-project laten zien dat de Tier III NO_x-waarden hoger lijken uit te vallen voor een gedeelte van de Tier III vloot. Het is echter nog onduidelijk wat de oorzaak van de gevonden afwijking is en of dit voor de hele (toekomstige) vloot zal gelden. De waarden voor GTL, HVO en FAME zijn afgeleid vanuit de diesel- of MGO-waarden. De waarden verschillen alleen voor emissieklassen zonder nabehandelingssysteem.

Tabel 40: PM emissies van brandstoffen in verbrandingsmotoren.

PM	Diesel	HFO	GTL	MGO	LNG	Bio-LNG	HVO	FAME	CNG	Bio CNG	Eenheid
CCRO	0,6	N/A	0,51	N/A	N/A	N/A	0,54	0,54	N/A	N/A	gr/Kwh
CCRI	0,3	N/A	0,255	N/A	N/A	N/A	0,27	0,27	N/A	N/A	gr/Kwh
CCR II	0,2	N/A	0,17	N/A	0,02	0,02	0,18	0,18	N/A	N/A	gr/Kwh
Stage V IWP/IWA ¹	0,03	N/A	0,03	N/A	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	gr/Kwh
Stage V NRE	0,03	N/A	0,03	N/A	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	gr/Kwh
Pre Tier I	0,29	0,74	N/A	0,29	N/A	N/A	0,261	0,261	N/A	N/A	gr/Kwh
TIER I	0,24	0,74	N/A	0,24	N/A	N/A	0,216	0,216	N/A	N/A	gr/Kwh
TIER II	0,24	0,74	N/A	0,24	0,02	0,02	0,216	0,216	0,02	0,02	gr/Kwh
TIER III	0,24	0,74	N/A	0,24	0,02	0,02	0,216	0,216	0,02	0,02	gr/Kwh
ULEV (Stage V IWP/IWA)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	
bron			(TNO 2014)	Poseidon model invoer v1.41	Poseidon model invoer v1.41	Poseidon model invoer v1.41	(TNO 2023)	(TNO 2023)			

¹Waarden gehanteerd voor ULEV variant bij zout

Tabel 41: NOx emissies van brandstoffen in verbrandingsmotoren.

NOx	Diesel	HFO	GTL	MGO	LNG	Bio-LNG	HVO	FAME	CNG	Bio CNG	Eenheid
Unspecified	10,1	N/A	9,09	N/A	N/A	N/A	10,1	10,1	N/A	N/A	gr/Kwh
CCRI	9,2	N/A	8,28	N/A	N/A	N/A	9,2	9,2	N/A	N/A	gr/Kwh
CCR II	7	N/A	6,3	N/A	1,9	1,9	7	7	1,9	1,9	gr/Kwh
Stage V IWP/IWA ¹	3,61	N/A	3,61	N/A	1,9	1,9	3,61	3,61	1,9	1,9	gr/Kwh
Stage V NRE	1,38	N/A	1,38	N/A	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	gr/Kwh
Pre Tier I	14	14	N/A	14	N/A	N/A	14	15,7	N/A	N/A	gr/Kwh
TIER I	9,9	9,9	N/A	9,9	N/A	N/A	9,9	11,1	N/A	N/A	gr/Kwh
TIER II	10	10	N/A	10	1,9	1,9	10	11,2	1,9	1,9	gr/Kwh
TIER III	2,9	2,9	N/A	2,9	1,9	1,9	2,9	2,9	1,9	1,9	gr/Kwh
ULEV (Stage V IWP/IWA)	3,61	3,61	3,61	3,61	1,9	1,9	3,61	3,61	1,9	1,9	gr/Kwh

¹Waarden gehanteerd voor ULEV variant bij zout

In Tabel 42 en Tabel 43 staan waarden voor PM- en NOx-emissies voor energiedragers met een lagere TRL (technology readiness level). De waarden zijn indicatief op basis van studies en rapporten. Naar verwachting zal er in de komende jaren voor waterstof en methanol meer resultaten van praktijkmetingen beschikbaar komen, onder meer uit resultaten van de projecten onder het Maritieme Masterplan. Er zijn indicaties dat naast de genoemde emissies mogelijk ook andere nog niet gereguleerde emissies vrijkomen bij het verbrandingsproces van nieuwe brandstoffen. Het gaat hierbij om ammoniakslip bij ammoniak en formaldehyde bij methanol. De mate waarin dit kan voorkomen, en dus de impact op MKI, is momenteel niet te zeggen. Het is aan te raden om de in de tabellen aangegeven waardes aan te vullen zodra meer gegevens uit praktijkmetingen beschikbaar zijn.

Tabel 42: PM emissies van diverse innovatieve brandstoffen in een verbrandingsmotoren en brandstofcel.

PM	Verbrandingsmotor			Brandstofcel			Eenheid
	Ammoniak *	Methanol	Waterstof	Waterstof	Ammoniak	Methanol	
Stage V	0,03	0,015	0,03	0	0	0	gr/Kwh
TIER III	0,0	0,034	0	0	0	0	gr/Kwh
ULEV (Stage V IWP/IWA)	0,03	0,015	0,03	0	0	0	gr/Kwh
Bron	(Vries 2019)	(TNO 2020)	(Vries 2019)				

* Nauwelijks PM van ammoniak, want geen koolstof in de brandstof.

Tabel 43: NOx emissies van diverse innovatieve brandstoffen in een verbrandingsmotoren en brandstofcel.

NOx	Verbrandingsmotor			Brandstofcel			Eenheid
	Ammoniak	Methanol	Waterstof	Waterstof	Ammoniak	Methanol	
Stage V IWP/IWA	N/A	3,61	3,61	0	N/A	0	gr/Kwh
Stage V NRE	N/A	1,38	1,38	0	N/A	0	gr/Kwh
TIER III	2,9	2,9	2,9	0	0	0	gr/Kwh
ULEV (Stage V IWP/IWA)	3,61	3,61	3,61	-	-	-	gr/Kwh
Bron	(Zero Carbon Shipping 2023)	(TNO 2020)	(Zero Carbon Shipping 2023)	(Zero Carbon Shipping 2023)	(Zero Carbon Shipping 2023)	(TNO 2020)	

3.1.3. Kapitaalgoederen

Deze sectie beschrijft de kapitaalgoederen voor alle scheepsenergiedragercombinaties. Eerst zal voor alle basisprocessen de LCI worden beschreven. Vervolgens zullen voor alle combinaties de onderliggende aannames voor de afschrijving beschreven.

Tabel 44: lijst met basisprocessen kapitaalgoederen.

nr	Naam
1	Zout Werkschip
2	Zoet Werkschip
3	Transportschip zout
4	Transportschip zoet
5	Verbrandingsmotor
6	Accupakketten
7	Elektrische aandrijving
8	Brandstofcel

Zout werkschip

Deze kaart geeft de kapitaalgoederen van een conventioneel zout werkschip met verbrandingsmotor weer. De kaart omvat het casco schip, machines, havenfaciliteiten, koelmiddelen en smeerolie. Voor het bepalen van de afschrijving zijn door de Technische Commissie gegevens aangeleverd van diverse zoute werkschepen (Tabel 45). Uit deze gegevens blijkt dat de massa van de schepen recht evenredig schaalst met het brandstofverbruik over de levensduur. Dit uit zich in een vergelijkbare afschrijving van tonnen kapitaalgoed per ton brandstof. Er is gekozen om de gegevens van schip 3 te gebruiken aangezien dit een gemiddelde afschrijf waarde betreft. Er is gerekend met een schip van 5208 ton, een levensduur van 30 jaar en een jaarlijks brandstofverbruik van 8466 ton.

Tabel 45: Data over afschrijving zoute werkschepen.

Nr	Gewicht (LSW) ton	Fuel use ton/hour	Operational time NOH/year	Fuel use ton /year	Tech. lifetime years	Fuel use lifetime (FUL) ton	LSW/FUL ton steel/ton fuel
1	1450	0,456	5544	2528	30	75.842	0,0191
2	2725	0,850	5544	4710	30	141.305	0,0193
3	5208	1,527	5544	8466	30	253.971	0,0205
4	12100	3,046	5544	16885	30	506.544	0,0239

De afschrijving van de machines is gelijk gebleven. De uitsparing van milieu impact als gevolg van de EOL van de kapitaalgoederen is ook in module-B gedeclareerd. Dit is vergelijkbaar met hoe dit is uitgevoerd voor de cat.3. rapportage van droog materieel.

Tabel 46: Kapitaalgoederen zoute werkschip per ton (MGO).

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Schip	B	Kapitaalgoederen Baggeren Zout (B1) (o.b.v Baggerschip productie + afvalverwerking)	NMD/ Eigen kaart	$1/(30 \cdot 8466 = 3,94E-06$	p	Schaling parameter in proceskaart aangepast naar 5208 ton schip Afschrijving o.b.v 30 jaar levensduur en brandstof verbruik van 8466 ton per jaar.
Schip reD	B	*RWS Subkaart Kapitaalgoederen Baggerschip Zout (D)	NMD/ Eigen kaart	$1/(30 \cdot 8466 = 3,94E-06$	p	reD inbegrepen voor gebruiksgemak.
Machines (pompen e.d.)	B	Extra machines baggerschip productie + afvalverwerking (obv Liquid manure tank trailer {RoW} production Cut-off, U)	NMD	2,36	kg	100 ton afschrijving 5 jaar bij 8466 ton per jaar
Machines (pompen e.d.)	B	Extra machines baggerschip module D (obv Liquid manure tank trailer {RoW} production Cut-off, U)	NMD	2,36	p	reD inbegrepen voor gebruiksgemak.
Havenfaciliteiten	B	port facilities {RER} construction excl electra voor overslag	E.I. 3.9	5,08E-09	p	Gerelateerd aan brandstofverbruik, overname uit NMD kaart.
Koelmiddel	B	Refrigerant R134a {GLO}	E.I. 3.9	1,6E-02	kg	Minimale bijdrage conservatief meegenomen
Smeerolie	B	Lubricating oil RER	E.I. 3.9	2,46	kg	Minimale bijdrage conservatief meegenomen
Verwerken Smeerolie	C4	Bilge oil {Europe without Switzerland} treatment of bilge oil, hazardous waste incineration Cut-off, U	E.I. 3.9	2,46	kg	-

Zoet Werkschip

De kapitaalgoederen voor zoete werkschepen zijn gebaseerd op de huidige modellering van de zout baggerschepen welke beschikbaar zijn in de NMD. De belangrijkste aanpassing is de massa van de zoete schepen, de levensduur en het jaarlijkse brandstofverbruik. De kaart is opgemaakt met eenheid “ton” en is gebaseerd op data inventarisatie van een Diesel schip (Tabel 47) welke is aangeleverd door de Technische Commissie. Voor de overige kaarten zal deze kaart geschaald worden a.d.h.v. de geleverde arbeid per functionele eenheid (Tabel 3).

Tabel 47: Data zoete werkschepen

Naam	Massa (ton)	Dieselverbruik (ton/jaar)	Levensduur (jaar)	Afschrijving (p/ton brandstof)	Afschrijving (ton staal/ton brandstof)	Lifetime Energie Input	Lifetime Geleverde arbeid op de as	Afschrijving stuk schip per MJ geleverde arbeid	Afschrijving ton staal per MJ arbeid	Geïnstalleerd vermogen (kW)
Heischip	635	65	40	3,85E-04	2,44E-01	1,12E+08	3,37E+07	2,97E-08	1,89E-05	1350,00
Kraanschip	560	80	40	3,13E-04	1,75E-01	1,38E+08	4,14E+07	2,41E-08	1,35E-05	1150,00
Werkschip	155	20	40	1,25E-03	1,94E-01	3,45E+07	1,04E+07	9,66E-08	1,50E-05	345,00

De massa van de zoete schepen is een factor 5 lager dan voor de zoute schepen echter is het jaarlijkse brandstof verbruik een factor 43 lager, om deze reden is de relatieve bijdrage van de kapitaalgoederen aan de MKI per ton brandstof relatief hoger. De machines zijn voor de zoete werkschepen niet van toepassing.

Tabel 48: Kapitaalgoederen zoet werkschip, per ton brandstof (Diesel)

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Schip	B	Kapitaalgoederen Baggeren Zout (B1) (o.b.v Baggerschip productie + afvalverwerking) aangepast naar 635 ton	NMD	$1/(75*65) = 2,05E-4$	p	De bestaande NMD-kaart is in massa schaalbaar opgemaakt, deze is aangepast naar een schip van 635 ton (conservatief in aangeleverde massa van zoete werkschepen). Levensduur aangepast naar 75 jaar. Brandstof verbruik van 65 ton per jaar aangehouden.
Schip module-D	B	*RWS Subkaart Kapitaalgoederen Baggerschip Zout (D)	E.I. 3.9	$1/(75*65) = 2,05E-4$	p	Kaart aangepast naar schip van 635 ton (conservatief in aangeleverde data over massa van zoete werkschepen).
Havenfaciliteiten	B	port facilities {RER} construction excl electra voor overslag	E.I. 3.9	5,08E-09	p	Gerelateerd aan brandstofverbruik, gelijk aan Werken Zout.
Koelmiddel	B	Refrigerant R134a {GLO}	E.I. 3.9	1,6E-02	kg	Minimale bijdrage conservatief meegenomen
Smeerolie	B	Lubricating oil RER	E.I. 3.9	2,46	kg	Minimale bijdrage conservatief meegenomen
Verwerken Smeerolie	C4	Bilge oil {Europe without Switzerland} treatment of bilge oil, hazardous waste incineration Cut-off, U	E.I. 3.9	2,46	kg	-

Transportschip zoet

Voor de kapitaalgoederen van de zoete transportschepen is de modellering van de Ecolnvent kaart "Transport, freight, inland waterways, barge {RER} | transport, freight, inland waterways, barge | Cut-off, U" overgenomen. De brandstofproductie en emissies zijn uit deze kaart verwijderd. Vervolgens is zoals bij de werkschepen voor het staal de EOL en de uitsparing vanuit recycling aan de kaart toegevoegd. In lijn met Ecolnvent is er geen los smeerolie verbruik gemodelleerd maar wel verwerking van bilge oil.

Tabel 49: Kapitaalgoederen Transport Zoet, per tonkm.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Databas e / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Barge	B	Barge {GLO} market for barge Cut-off, U	E.I. 3.9	1,05E-09	p	Overname Ecolnvent
Vaarwegen	B	Canal {RER} canal construction Cut-off, U	E.I. 3.9	1,2E-04	my	Overname Ecolnvent
Onderhoud	B	Maintenance, barge {RER} maintenance, barge Cut-off, U	E.I. 3.9	1,1E-09	p	Overname Ecolnvent
Havenfaciliteiten	B	Port facilities {RER} port facilities construction Cut-off, U	E.I. 3.9	2,5E-14	p	Overname Ecolnvent
Waste	B	Bilge oil {CH} market for bilge oil Cut-off, U	E.I. 3.9	1,20E-06	kg	Overname Ecolnvent. Bilge oil niet relevant voor elektrisch en waterstof e.d.. Draagt totaal 0,6% bij aan MKI:A1. Conservatief gewoon meenemen.

Waste	B	Bilge oil {Europe without Switzerland} market for bilge oil Cut-off, U	E.I. 3.9	4,58E-05	kg	Overname Ecolnvent
Recycling	B	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer (o.b.v. Iron scrap, sorted, pressed {RER}) sorting and pressing of iron scrap Cut-off, U)	NMD	441,5 * 0,95 * 1,1E-9 = 4,61E-7		Total 414,5 ton staal 95% recycling
Stort	B	0253-sto&Stort staal (o.b.v. Scrap steel {Europe without Switzerland}) treatment of scrap steel, inert material landfill Cut-off, U)	NMD	441,5 * 0,05 * 1,1E-9 = 2,43E-8	ton	5% stort
Uitsparing	B	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW}) steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW}) steel production, converter, unalloyed Cut-off, U)		(265 * 0,95 * 0,75 + 17,3 * 0,95 * 0,613) * 1,1E-9 = 2,19E-7	ton	265 ton reinforcing steel 25% secundair (37% low-alloyed . 31,6 secundair en 63% unalloyed, 21% secundair) 17,3 ton cast iron (38,7% secundair)
Uitsparing	B	0647-reD&Module D, RVS, per kg BRUTO geleverd RVS schroot (constructieprofielen, plaatmateriaal en leidingen) (vermeden: Ferronickel, 25% Ni en Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr o.b.v. verhoudingen chromium steel 18/8 {GLO}) market for)		3,45 * 0,95 * 1,1E-9 = 3,61E-9	ton	3,45 ton RVS per kg bruto geleverd schroot.

Transportschip zout

Voor de kapitaalgoederen van de zoute transportschepen is de modellering van de Ecolnvent kaart "Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO}| transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods "overgenomen. De brandstofproductie en emissies zij uit deze kaart verwijderd. Vervolgens is zoals bij de werkschepen voor het staal de uitsparing vanuit recycling aan de kaart toegevoegd. De afvalverwerking van het staal is reeds meegenomen in de Ecolnvent kaart voor de bulkcarrier.

Tabel 50: Kapitaalgoederen transport Zout, per tonkm.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Schip	B	Bulk carrier, for dry goods {GLO} market for bulk carrier, for dry goods Cut-off, U	E.I. 3.9	7,9E-12	p	
Onderhoud	B	Maintenance, bulk carrier, for dry goods {GLO} market for maintenance, bulk carrier, for dry goods Cut-off, U	E.I. 3.9	7,9E-12	p	
Haven-faciliteiten	B	Port facilities {GLO} market for port facilities Cut-off, U	E.I. 3.9	2,3E-16	p	
Waste	B	Bilge oil {CH} market for bilge oil Cut-off, U	E.I. 3.9	7,27E-08	kg	Bilge oil niet relevant voor elektrisch en waterstof e.d.. Draagt totaal 1,1% bij aan MKI:A1. Conservatief gewoon meenemen.
Waste	B	Bilge oil {Europe without Switzerland} market for bilge oil Cut-off, U	E.I. 3.9	2,78E-06	kg	
Waste	B	Bilge oil {RoW} market for bilge oil Cut-off, U	E.I. 3.9	5,78E-06	kg	
Uitsparing	B	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW}) steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW}) steel production, converter, unalloyed Cut-off, U	NMD	11065*0,95*0,75*7,9E-12 - 7 = 6,23E-8	ton	Total 11.065 ton reinforcing steel 95% recycling, 75% primair. 7,9E-12 stuks per tonkm

Verbrandingsmotor

Deze kaart modelleert 1 ton aan scheepsmotor. De kaart zelf bevat afvalverwerking en uitsluitend uitsparing van het staal is toegevoegd. Voorheen is de verbrandingsmotor niet afzonderlijk gemodelleerd maar was de aanname dat dit onder de massa staal in het casco schip valt. Voor deze LCA is de verbrandingsmotor los opgenomen en wordt deze los afgeschreven. Dit is gedaan om consistent te zijn met een brandstofcel en accu elektrische aandrijflijn.

Tabel 51: Verbrandingsmotor, per ton

Proces	Fase	Milieuprofiel	Databas e / Bron	Hoeveelhei d	Eenhei d	Uitgangspunten
Motor	B	Marine engine {GLO} marine engine construction Cut-off, U	E.I. 3.9	1	p	1 ton per stuk, inclusief module EOL
Uitsparin g	B	0647-reD&Module D, RVS, per kg BRUTO geleverd RVS schroot (constructieprofielen, plaatmateriaal en leidingen) (vermeden: Ferronickel, 25% Ni en Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr o.b.v. verhoudingen chromium steel 18/8 {GLO} market for)	NMD	340 * 0,95 = 323	kg	95 % recycling
Uitsparin g	B	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW}) steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW}) steel production, converter, unalloyed Cut-off, U)	NMD	650 * 0,95 * 0,613 = 379	Kg	95 % recycling, cast iron 38,7% secundair

Accupakketten

Voor de accupakketten is besloten om in lijn te blijven met de kaart voor het droge materieel. Deze accu betreft een LiMN2O4 accu type welke niet representatief is voor de scheepvaart. In de scheepvaart worden met name LFP en NMC-accu's toegepast. Deze accutypen zijn beschikbaar in EcoInvent 3.9 maar niet in EcoInvent 3.6. Momenteel is het noodzakelijk om zowel de MKI:A1 o.b.v. E.I. 3.6 als de MKI:A2 o.b.v. E.I. 3.9 beschikbaar te hebben. Om deze reden is er ter consistentie gekozen om niet af te wijken van de LiMn2O4 accu.

De kaart gaat uit van een energiedichtheid van 200 Wh. In de onderstaande kaart van de lithium accu is uitgegaan van 70% hergebruik met een K-factor van 50% en 30% recycling (NMD 2024). Er zal voor de afschrijving gerekend worden met een levensduur van 2000 laadcycli.

Ongeveer 80% van de MKI:A2 van de lithium accupakketten wordt veroorzaakt door de accucellen zelf. De brondata voor de lithium-ion accucellen in EcoInvent is redelijk verouderd (2010). Sinds deze tijd zijn er grote ontwikkelingen geweest in chemie, materialisatie en prestatie. Aanpassing van deze kaart vergt echter diepgaande literatuurstudie naar de productieprocessen van de diverse materialen en componenten in de accucellen. In de gevoeligheidsanalyse zal verder worden ingegaan op de nuances.

Tabel 52: Referentie voor de accupakketten

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelhei d	Eenhei d	Uitgangspunten
Accu	A t/m D	Accu, Lithium-ion, per kWh accucapaciteit (o.b.v. 5kg per kWh)	NMD	1	kWh	inclusief module D

Elektrische aandrijving

Deze kaart modelleert alle benodigde systemen voor de elektrische aandrijflijn afgezien van de brandstofcel en de accupakketten (deze zijn los gemodelleerd). Op het moment van schrijven ontbreekt er nog de benodigde data voor de aandrijving systemen op de elektrische schepen. Er is gerekend met de beschikbare kaart voor de aandrijving van een personenauto uit EcoInvent. Deze kaart bevat de volgende onderdelen; elektromotor, inverter, converter, charger, power distribution unit en bekabeling. Dit is niet volledig representatief met de situatie aan boord van een elektrisch schip, echter is er momenteel geen andere data beschikbaar. De kaart is opgemaakt per 100kW aandrijving en wordt in een later stadium geschaald naar het vermogen van het schip.

In lijn met de accupakketten is er voor het einde leven afvalverwerking toegevoegd en uitsparing van alle metalen. De uitsparing van metalen is gebaseerd op de hoeveelheid aanwezig in de diverse subkaarten, het secundaire percentage van deze referenties en een recycling percentage van 90%.

Tabel 53: LCI voor de elektrische aandrijflijn, per stuk (100kW) totale massa 80,2 kg.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Aandrijving	A-C	Powertrain, for electric passenger car {GLO} powertrain production, for electric passenger car Cut-off, U	E.I. 3.9	80,22	kg	Waarden voor 100kW
Afvalverwerking	C3	Used industrial electronic device {RoW} market for used industrial electronic device Cut-off, U	E.I. 3.9	80,22	kg	100% verwerken
Verbranden	C4	Waste, electrical and electronic cables {RoW} treatment of waste, electrical and electronic cables, open burning Cut-off, U	E.I. 3.9	8,022	kg	10% verbranden
	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd schroot (vermeden: Aluminium, cast alloy {GLO} aluminium ingot, primary, to market Cut-off, U; Aluminium, cast alloy {RER} treatment of aluminium scrap, new, at refiner Cut-off, U; excl. toevoeging van legeringselementen)	NMD 3.9	$24,08 * (0,9 - 0,3) + 1,13 * (0,9 - 0,74) = 1,46E+01$	kg	24,08 kg wrought alloy 30% secundair en 1,13kg cast alloy 74% secundair, 90% recycling
Koper	D	0277-reD&Module D, koper, per kg NETTO geleverd schroot (vermeden: Grondstoffen equivalent globale marktmix koper)	NMD 3.9	$(11,5 + 0,62) * (0,9 - 0,174) = 8,8E+00$	kg	12,12 kg Copper, cathode waaronder deel aanwezig in messing (17,4% secundair), 90% recycling
Zink	D	0283-reD&Module D, zink, per kg NETTO geleverd schroot (vermeden: Zinc {RoW} primary production from concentrate Cut-off, U)	NMD 3.9	$0,27 * 0,9 = 2,40E-01$	kg	Zink aanwezig in messing, 100% primair, 90% recycling
Staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongelegeerd schroot (World Steel methode obv Steel, low-alloyed {RER&RoW} steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U - Steel, unalloyed {RER&RoW} steel production, converter, unalloyed Cut-off, U)	NMD 3.9	$36,75 * (0,9 - 0,316) = 2,15E+01$	kg	36,75kg staal, 31,6% secundair, 90% recycling
RVS	D	0647-reD&Module D, RVS, per kg BRUTO geleverd RVS schroot (constructieprofielen, plaatmateriaal en leidingen) (vermeden: Ferronickel, 25% Ni en Ferrochromium, high-carbon, 68% Cr o.b.v. verhoudingen chromium steel 18/8 {GLO} market for)	NMD 3.9	$6,55 * 0,9 = 5,90E+00$	kg	6,55kg RVS, 90% recycling, reD kaart voor geleverd schroot.

Brandstofcel

Voor de brandstofcel is de modellering overgenomen uit het cat.3. rapport voor droog materieel (NMD 2024). Op dit moment is dit de meest representatieve kaart. Deze kaart is gebaseerd op de volgende Ecoinvent kaart: “Fuel cell, stack polymer electrolyte membrane, 2kW electrical, future {RoW}| fuel cell production, stack polymer electrolyte membrane, 2kW electrical, future | Cut-off, U”. De Ecoinvent kaart modelleert een Polymer Electrolyte Membrane (PEM) fuel cell stack en is gebaseerd op literatuur uit 2007 welke te zijner tijd een toekomstige inschatting gaf o.b.v. producent data.

Tabel 54: LCI voor de brandstofcel, per kW.

Proces	Fase	Milieuprofiel	Database / Bron	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Brandstofcel	A t/m D	Brandstofcel Waterstof, per kW machinevermogen	NMD	1	p	1 stuk is 1 kW



4. LCI Combinaties

De basisprocessen beschreven onder hoofdstuk 3.1 LCI Basisprocessen dienen als bouwstenen voor de uiteindelijke combinaties. In dit hoofdstuk zal worden beschreven hoe deze combinaties worden opgebouwd en onder welke aannamen/parameters deze worden berekend. Eerst zullen de werkschepen (zoet en zout) worden toegelicht welke niet ingevoerd worden als cat.3. kaarten. Voor de milieuprofielen van de werkschepen wordt verwezen naar de bijbehorende Excel rekentool. Vervolgens zullen de transport kaarten (zeegaand en binnenvaart) worden uitgelicht, welke wel worden ingevoerd als cat..3 kaarten bij de NMD.

4.1. Werkschepen Combinaties

4.1.1. Zout

In Tabel 55 staan alle combinaties voor werken zout weergegeven. De aannamen achter de afschrijving worden vervolgens in twee voorbeeld LCI-tabellen onderbouwd, één voor een verbrandingsmotor MGO en één voor een brandstofcel Waterstof. Voor de verbrandingsmotoren zijn de AdBlue en kapitaalgoederen geschaald vanuit de MGO kaart. Voor de brandstofcel kaarten is er geschaald vanuit de waterstof kaart. Dit wordt toegelicht onder de kolom “uitgangspunten” in Tabel 56 en Tabel 57.

Voor dieselelektrische schepen kan met de Diesel kaart gerekend worden. De bijdrage van de additionele kapitaalgoederen (accu en aandrijving) zijn marginaal (+/- 2% op MKI:A2). Dit is uitgaande van een TIER III Diesel schip waarbij elke MJ-arbeid via de accu geleverd zal worden. In de praktijk zal dit verschillen per situatie en per schip. De mogelijke voordelen van het dieselelektrische-systeem zullen naar voren komen in het brandstofverbruik per MJ geleverde arbeid.

Voor de ULEV-schepen is zeer weinig praktijkdata (emissiemetingen) beschikbaar. De verwachting is dat dergelijke schepen vergelijkbaar met Stage-V IWP/IWA uitkomen en dat er met name een sterke reductie in PM zal zijn en in mindere mate in NOx (zonder ophoging van het AdBlue gebruik). Voor alle ULEV-schepen is daarom met de Stage V IWP/IWA waarden gerekend. De ULEV kaart is voor compleetheid opgenomen in dit rapport echter is er zeer beperkt data over beschikbaar. De emissiewaarden kunnen in de praktijk dus lager of hoger uitvallen dan hier ingeschat. De gebruiker dient hier rekening mee te houden en idealiter de NOx en PM emissies te onderbouwen met meetdata.

Tabel 55: Hoeveelheid basisprocessen per combinatie, werken zout.

Aandrijving	Energiedrager	Eenheid	Energiedragers				Gebruiksprofiel				Kapitaalgoederen				
			Energiedager (A1-A3)	Energiedager (A4)	AdBlue (A1-A3) ^{1,2}	AdBlue (A4) ^{1,2}	Verbrandingsemissies	Emissies AdBlue ^{1,2}	PM	NOx	Casco Schip	Verbrandingsmotor	Elektrische aandrijving	Accu	Brandstofcel
			ton	ton	kg	kg	ton	kg	kg	kg	ton	ton	p	kWh	kW
Verbrandingsmotor	Diesel	ton	1	1	66,6	66,6	1	66,6	variabel TIER-klasse n / ULEV	variabel TIER-klasse n / ULEV	1,01	1,13E-03	N/A		
	HFO	ton	1	1	62,63	62,63	1	62,63			0,95	1,06E-03			
	GTL	ton	1	1	68,04	68,04	1	68,04			1,03	1,15E-03			
	MGO	ton	1	1	65,87	65,87	1	65,87			1,00	1,11E-03			
	LNG	ton	1	1	0	0	1	0			1,15	1,28E-03			
	Bio-LNG	ton	1	1	0	0	1	0			1,15	1,28E-03			
	CNG	ton	1	1	0	0	1	0			1,09	1,21E-03			
	Bio-CNG	ton	1	1	0	0	1	0			1,09	1,21E-03			
	HVO	ton	1	1	68,04	68,04	1	68,04			1,03	1,15E-03			
	FAME	ton	1	1	57,52	57,52	1	57,52			0,87	9,72E-04			
	Ammoniak (3x)	ton	1	1	28,76	28,76	1	28,76			0,44	4,86E-04			
	Waterstof (vloeibaar) (5x)	ton	1	1	185,56	185,56	1	185,56			2,82	3,14E-03			
	Waterstof (gas) (5x)	ton	1	1	185,56	185,56	1	185,56			2,82	3,14E-03			
	Methanol (3x)	ton	1	1	30,77 / 2 = 15,4	15,39	1	15,39			0,47	5,20E-04			
Brandstofcel	Ammoniak (2x)	ton	1	1	0	0	1	0	0,00	0,0	0,46	N/A	4,57E-04	1,35	0,98
	Waterstof Vloeibaar (5x)	ton	1	1	0	0	1	0	0,00	0,0	2,94		2,95E-03	8,70	6,33
	Waterstof Gas (5x)	ton	1	1	0	0	1	0	0,00	0,0	2,94		2,95E-03	8,70	6,33
	Methanol (3x)	ton	1	1	0	0	1	0	0,00	0,0	0,49		4,89E-04	1,44	1,05

¹AdBlue is alleen relevant voor TIER III en ULEV motoren. Uitgerekend voor Diesel (Tabel 56) en geschaald naar overige energiedragers middels energie-inhoud. Voor Methanol gerekend met de helft aangezien hier minder AdBlue benodigd (2,5% i.p.v. 5%).

² Voor LNG, bio-LNG, CNG en Bio-CNG is bij TIER III geen AdBlue nodig om de gerapporteerde NOx emissies te behalen.

Tabel 56: Werkschip Zout, MGO, TIER III, per ton

Proces	Fase	Milieuprofiel	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Energiedrager	A1-A3	Energiedrager MGO (A1-A3)	1	ton	Energiedrager gelijk aan functionele eenheid
Transport naar gebruiker	A4	Energiedrager MGO opslag en transport (A4)	1	kg	Waarden gelijk aan A1-A3 energiedrager
Productie AdBlue (A1-A3)	A1-A3	Energiedrager AdBlue (A1-A3) 32,5% Ureum	66,65 * 42,6 / 43,1 = 65,87	kg	Alleen relevant voor TIER III. AdBlue (A1-A3), kaart is opgesteld per kg AdBlue. Aanname is dat er 4 - 6% (gemiddelde 5%) liter AdBlue per liter Diesel nodig is (https://www.auto-motor-oel.de/ratgeber/adblue-der-grosse-ratgeber/2935/#Adblue-Verbrauch) bij een dichtheid van 0,832 kg/l. Gerekend met gemiddelde van 5% bij een dichtheid van 0,832 kg/l. Omgerekend naar kg o.b.v. dichtheid energiedrager en dichtheid AdBlue van 1,109 ton/m ³ (32,5% Ureum 1,335 ton/m ³ en 67,5% water 1 ton/m ³). $1000 / 0,832 * 5\% * 1,109 = 66,65$ kg AdBlue per ton Diesel. Geschaald naar overige energiedragers middels verhouding in energiehoud per ton (42,6 MJ/kg voor MGO en 43,1 MJ/kg voor Diesel).
Transport naar gebruiker	A4	Energiedrager AdBlue (A4) 32,5% Ureum	65,87	kg	Gelijk aan A1-A3 AdBlue
Verbrandingsemissies	B	Gebruiksprofiel MGO (verbrandingsemissies) - pre Tier I (zonder PM en NOx) (B1)	1	ton	Emissies per ton MGO
Emissies AdBlue	B	Emmissieprofiel AdBlue (B), CO ₂ naar lucht per kg AdBlue, 32,5% Ureum	65,87	kg	Waarden gelijk aan A1-A3 AdBlue
PM	B	Gebruiksprofiel - PM emissie naar lucht (Particulates, < 10 µm, low.pop.)	1,278	kg	Afhankelijk van selectie TIER klasse, huidige waarde voor TIER III. 0,24 gr/kWh, 19170 MJ (5325 kWh) arbeid per ton
NOx	B	Gebruiksprofiel - NOx emissie naar lucht (Nitrogen oxides, low. pop.)	15,44	kg	Afhankelijk van selectie TIER klasse, huidige waarde voor TIER III. 2,9 gr/kWh, 19170 MJ (5325 kWh) arbeid
Casco Schip	B	Kapitaalgoederen - Baggeren Zout (MGO)	1,00	ton	Afschrijving is onderdeel van basisproces, afschrijving a.d.h.v. lifetime brandstofverbruik (MGO). Geschaald naar overige energiedragers middels MJ-arbeid per functionele eenheid.
Verbranding motor	B	Kapitaalgoederen Verbrandingsmotor (1000 kg o.b.v. Marine engine {GLO} marine engine construction Cut-off, U) (inclusief reD)	1,13E-03	ton	Tussen de 2100 en 16000 kW vermogen. Het schip van 5208 (gebruikt voor kapitaalgoederen casco schip) heeft 12725 kW motor vermogen. Inschatting 15-40 kg motor per kW. Gerekend met een motor van 4500kW van 50 ton (11 kg per kW) https://www.yanmar.com/us/marinecommercial/products/propulsion_engine-medium_speed/8ey33w/?utm_source=chatgpt.com Totaal $12.725 * 11,11 = 141,4$ ton Levensduur 15 jaar en 8466 ton MGO per jaar. $141,4 / (15 * 8466) = 1,11E-3$ ton overige brandstoffen geschaald middels arbeid per F.E..

Tabel 57: Werkschip Zout, Waterstof, brandstofcel, per ton

Proces	Fase	Milieuoprofiel	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Energiedrager	A1-A3	Energiedrager Waterstof, Gas, Elektrolyse, wind mix (A1-A3) (o.b.v. NMD kaart Waterstof, Elektrolyse, groene mix)	1	ton	Energiedrager gelijk aan functionele eenheid, zijn 10 opties voor waterstof Gas of Vloeibaar, SMR (groen of grijs) en Elektrolyse (groen, grijs of wind).
Transport naar gebruiker	A4	Energiedrager Waterstof, Gas, (A4) windmix	1	kg	Waarden gelijk aan A1-A3 energiedrager, zijn 6 A4 kaarten (Gas en vloeibaar en groen, grijs of wind).
Verbranding semissies	B	N/A	1	ton	N/A
PM	B	Gebruiksprofiel - PM emissie naar lucht (Particulates, < 10 um, low.pop.)	0,0	kg	N/A
NOx	B	Gebruiksprofiel - NOx emissie naar lucht (Nitrogen oxides, low. pop.)	0,0	kg	N/A
Casco Schip	B	Kapitaalgoederen - Baggeren Zout (MGO)	$1,00 * 56400 / 19170 = 2,942$	ton	Afschrijving is onderdeel van het basisproces, afschrijving a.d.h.v. lifetime brandstofverbruik (MGO). Geschaald naar overige energiedragers middels MJ arbeid per functionele eenheid (56400 MJ per ton waterstof en 19170 MJH per ton MGO).
Brandstofcel		Brandstofcel Waterstof, per kW machinevermogen	$(12725 * 0,75) / (20000/80) = 38,18$	P (1 kW)	Data beschikbaar van een Hopper zuiger zoet met vermogen van 2100 kW Diesel (voorstuwning, hulpmotoren, werkmotoren). Aanname 75% van het piekvermogen aan brandstofcel, dus $2100 * 0,75 = 1575 \text{ kW}$ De H2 hopper zuiger (zoet) doet 69627 kg waterstof per jaar, gedurende 5600 uur = 12,43 kg waterstof per uur. De gemiddelde jaarlijkse flowrate Per kW brandstofcel is $12,43 / 1575 = 7,89\text{E-}3 \text{ kg-H2 per uur per kW brandstofcel}$. Afschrijving van 1 ton (functionele eenheid) 1000 kg-H2 / $7,89\text{E-}3 = 1,27\text{E}5 \text{ uur per ton-H2}$ (aantal uren die 1kW brandstofcel moet draaien om 1 ton H2 te verwerken). Levensduur brandstofcel bij 20.000 uur geeft dan $1,27\text{E}5 / 20000 = 6,33 \text{ KW brandstofcel per ton waterstof}$. (zowel voor zoet als voor zout) (Betekent iedere 3,5 jaar vervangen....) Voor andere energiedragers de aanname zelfde life-time arbeid als H2 brandstofcel, geschaald a.d.h.v. energieinhoud.
Elektrische Aandrijving	B	Kapitaalgoederen aandrijving elektrisch schip (100 kW) (inclusief EOL en reD)	2,95E-03	P (100kW)	Gelijk aan vermogen diesel aandrijving (2100 tot 16000kW) 12725 kW Aandrijving personenauto betreft 0,8022 kg per kW Kaart per stuk (100kW) Aanname levensduur 15 jaar $127,25 \text{ stuks aandrijving, afgeschreven over de arbeid output van een MGO-schip } (8466 * 19170 * 15 = 2,43\text{E}9 \text{ MJ})$ maar geschaald naar tonnen waterstof middels arbeid per F.E. voor waterstof brandstofcel. $2,43\text{E}9 / 56400 = 43.163 \text{ ton waterstof in 15 jaar}$ $127,25 / 43163 = 2,95\text{E-}3 \text{ p}$
Accu		Accu, Lithium-ion, per kWh accucapaciteit (o.b.v. 5kg per kWh)	8,7	kWh	Waterstof brandstofcel levert 56400 MJ per ton. 1 kWh = 3,6 MJ. Accu levert 2000 cycli, 1/2000 afschrijven per kWh opgeladen. Conservatieve benadering, elke geleverde MJ arbeid gaat via een accu en niet rechtstreeks vanuit brandstofcel. Uitgaande van efficiëntie laden/ontladen van 90%. $56400 / 3,6 / 2000 * (1/0,9) = 8,7 \text{ kWh per ton waterstof}$

4.1.2 Zoet

In Tabel 58 staan alle combinaties voor werken zoet weergegeven. De aannamen achter de afschrijving worden vervolgens in twee voorbeeld LCI-tabellen onderbouwd, één voor een verbrandingsmotor Diesel en één voor een accu elektrisch schip. Voor de verbrandingsmotoren zijn de AdBlue en kapitaalgoederen geschaald vanuit de Diesel kaart. Voor de brandstofcel kaarten is er geschaald vanuit de waterstof kaart, zoals beschreven bij Werken Zout (Tabel 57), maar middels de parameters van het zoete schip beschreven in Tabel 59 (massa, vermogen etc.). Aangezien accu elektrisch niet binnen scope was voor Zout Werken is deze los opgemaakt en weergegeven. De schaling naar de overige energiedragers wordt toegelicht onder de kolom “uitgangspunten” Tabel 59 en Tabel 60.

Voor dieselelektrische schepen kan met de Diesel kaart gerekend worden. De bijdrage van de additionele kapitaalgoederen (accu en aandrijving) zijn marginaal (+/- 2% op MKI:A2). Dit is uitgaande van een TIER III Diesel schip waarbij elke MJ-arbeid via de accu geleverd zal worden. In de praktijk zal dit verschillen per situatie en per schip. De mogelijke voordelen van het dieselelektrische-systeem zullen naar voren komen in het brandstofverbruik per MJ geleverde arbeid.

Tabel 58: Hoeveelheid basisprocessen per combinatie, werken zoet.

Aandrijving	Energiedrager		Energiedragers				Gebruiksprofiel				Kapitaalgoederen					
			Energiedag er (A1-A3)	Energiedag er (A4)	AdBlue (A1- A3)*	Adblu e (A4)*	Verbrandingsemiss ies	Emissie s AdBlue *	PM	Nox	Casco Schip	Verbrandingsmo tor	Elektrisc he aandrijvi ng	Accu	Brandstof cel	
		Eenheid	ton	ton	kg	kg	ton	kg	kg	kg	ton	ton	p	kWh	kW	
Verbrandingsmo tor	Diesel	ton	1	1	66,65	66,65	1,00	66,6	variab el CCR- klasse n	variab el CCR- klasse n	1,00	1,57E-03	N/A			
	HFO	ton	N/A													
	GTL	ton	1	1	68,04	68,04	1,00	68,04			1,02	1,61E-03				
	MGO	ton	N/A													
	LNG	ton	1	1	75,77	75,77	1,00	75,77			1,14	1,79E-03				
	Bio-LNG	ton	1	1	75,77	75,77	1,00	75,77			1,14	1,79E-03				
	CNG	ton	1	1	71,59	71,59	1,00	71,59			1,07	1,69E-03				
	Bio-CNG	ton	1	1	71,59	71,59	1,00	71,59			1,07	1,69E-03				
	HVO	ton	1	1	68,04	68,04	1,00	68,04			1,02	1,61E-03				
	FAME	ton	1	1	57,52	57,52	1,00	57,52			0,86	1,36E-03				
	Ammoniak (3x)	ton	N/A							0						
	Waterstof (vloeibaar) (5x)	ton	1	1	185,56	185,56	1,00	185,56	0,00	0,00	2,78	4,38E-03				
	Waterstof (gas) (5x)	ton	1	1	185,56	185,56	1,00	185,56	0,00	0,00	2,78	4,38E-03				
Methanol (3x)	ton	1	1	30,77 / 2 = 15,4	15,4	1,00	15,4	0,08	0,06	0,46	7,27E-04					
Brandstofcel	Ammoniak (2x)	ton	N/A								0,51	N/A	7,19E-04	1,35	0,98	
	Waterstof Vloeibaar (5x)	ton	1	1	0,0	0,0	1,00	0,0	0,00	0,00	3,27		4,64E-03	8,70	6,33	
	Waterstof Gas (5x)	ton	1	1	0,0	0	1	0	0,00	0,00	3,27		4,64E-03	8,70	6,33	
	Methanol (3x)	ton	1	1	0,0	0	1	0	0,00	0,00	0,54		7,69E-04	1,44	1,05	
Accu Elektrisch	Elektrisch	kWh (input)	1	1	N/A						1,60E-04		2,26E-07	5,00E-04	N/A	

*AdBlue is alleen relevant voor Stage V motoren.

Tabel 59: Werkschip Zoet, Diesel, Stage V IWP/IWA per ton

Proces	Fase	Milieuoprofiel	Hoeveelheid	Eenh eid	Uitgangspunten
Energiedrag er	A1- A3	Energiedrager Diesel (ULSD) A1-A3 (markt mix 2023) (o.b.v. Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland}) diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation Cut-off, U)	1	ton	Energiedrager gelijk aan functionele eenheid
Transport naar gebruiker en opslag	A4	Energiedrager Opslag en Transport van Diesel/FAME/HVO (A4) (o.b.v. NMD kaart Well-to-tank Diesel (A1-A4) zonder A1-A3 en aangepast naar ton)	1	kton	Waarden gelijk aan A1-A3 energiedrager
Productie AdBlue (A1- A3)	A1- A3	Energiedrager AdBlue (A1-A3) 32,5% Ureum	1000 / 0,832 * 5% * 1,109 = 66,65	kg	Alleen relevant voor Stage V. AdBlue (A1-A3), kaart is opgesteld per kg AdBlue. Aanname is dat er 4 - 6% (gemiddelde 5%) liter AdBlue per liter Diesel nodig is (https://www.auto-motor-oel.de/ratgeber/adblue-der-grosse-ratgeber/2935/#Adblue-Verbrauch) bij een dichtheid van 0,832 kg/l. Gerekend met gemiddelde van 5% https://www.auto-motor-oel.de/ratgeber/adblue-der-grosse-ratgeber/2935/#Adblue-Verbrauch) bij een dichtheid van 0,832 kg/l. Omgerekend naar kg o.b.v. dichtheid energiedrager en dichtheid AdBlue van 1,109 ton/m3 (32,5% Ureum 1,335 ton/m3 en 67,5% water 1 ton/m3). 1000 / 0,832 * 5% * 1,109 = 66,65 kg AdBlue per ton Diesel. Geschaald naar overige energiedragers middels verhouding in energieinhoud per ton.
Transport naar gebruiker	A4	Energiedrager AdBlue (A4) 32,5% Ureum	66,65	kg	Gelijk aan A1-A3 AdBlue
Verbranding semissies	B	Gebruiksprofiel Diesel (ULSD) Verbrandingsemissies (zoner PM en NOx) B1 (o.b.v Transport, freight, inland waterways, barge {RER}) transport, freight, inland waterways, barge Cut-off, U) to-tank Diesel (A1-A4) zonder A1-A3 en aangepast naar ton)	1	ton	Emissies per ton Diesel
Emissies AdBlue	B	Emmissieprofiel AdBlue (B), CO2 naar lucht per kg AdBlue, 32,5% Ureum	66,65	kg	Waarden gelijk aan A1-A3 AdBlue
PM	B	Gebruiksprofiel - PM emissie naar lucht (Particulates, < 10 um, low.pop.)	0,03 / 1000 * 4789 = 0,14	Kg	Afhankelijk van selectie CCR/Stage klasse, huidige waarde voor Stage V IWP/IWA, 0,03 gr/kWh, 17240 MJ (4789 kWh) arbeid per ton
NOx	B	Gebruiksprofiel - NOx emissie naar lucht (Nitrogen oxides, low. pop.)	3,61 / 1000 * 4789 = 17,3	kg	Afhankelijk van selectie CCR/Stage klasse, huidige waarde voor Stage V IWP/IWA. 3,61 gr/kWh, 17240 MJ (4789 kWh) arbeid
Casco Schip	B	Kapitaalgoederen - Baggeren Zoet (Diesel)	1,00	ton	Afschrijving is onderdeel van het basisproces, afschrijving a.d.h.v. lifetime brandstofverbruik (Diesel). Geschaald naar overige energiedragers middels MJ arbeid per functionele eenheid.
Verbranding smotor	B	Kapitaalgoederen Verbrandingsmotor (1000 kg o.b.v. Marine engine {GLO}) marine engine construction Cut-off, U) (inclusief reD)	1,57E-03	ton	tussen de 345 en 1350 kW vermogen. 635 ton schip gebruikt voor kapitaalgoederen casco schip zoet heeft 1350 kW motor vermogen. Inschatting 15-40 kg per kW. Gerekend met een motor van 4500kW van 50 ton (11 kg per kW) https://www.yanmar.com/us/marinecommercial/products/propulsion_engine-medium_speed/8ey33w/?utm Totaal 1350 * 11,11 = 15 ton Levensduur 15 jaar en 635 ton Diesel per jaar. 15 / (15 * 635) = 1,57E-3 ton overige brandstoffen geschaald middels arbeid per F.E..

Tabel 60: Werkschip Zoet, Accu Elektrisch, per kWh

Proces	Fase	Milieuprofiel	Hoeveelheid	Eenheid	Uitgangspunten
Energiedrager	A1-A3	pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, van windturbines, mix 2023 (37% zee en 63% land), bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh	Energiedrager gelijk aan functionele eenheid, zijn 5 opties voor elektriciteit (grijs, groen, wind mix, wind zee en wind land).
Transport naar gebruiker	A4	N/A	-	-	-
Casco Schip	B	*RWS Kapitaalgoederen - Baggeren Zoet (Diesel)	1,00 * 2,75 / 17240= 1,6E-4	ton	Afschrijving is onderdeel van basisproces, afschrijving a.d.h.v. lifetime brandstofverbruik (Diesel). Geschaald naar overige energiedragers middels MJ arbeid per functionele eenheid (2,75 MJ geleverde arbeid per kWh stroom en 17240 MJ per ton Diesel).
Elektrische Aandrijving	B	Kapitaalgoederen aandrijving elektrisch schip (100 kW) (inclusief EOL en reD)	13,5/ 5,97E7 = 2,26E-7	P (100kW)	Gelijk aan vermogen diesel aandrijving (2100 tot 16000kW) 1350 kW Kaart per stuk (100kW), 13,5 stuks aandrijving Aanname levensduur 15 jaar Afgeschreven over de arbeid output van een Diesel schip (635 * 17240 * 15 = 1,64E8 MJ) maar geschaald naar elektrisch middels arbeid per F.E. voor elektrisch (2,75 MJ). 1,64E8 / 2,75 = 5,97E7 kWh stroom geladen in 15 jaar. 13,5 / 5,97E7 = 2,26E-7
Accu		Accu, Lithium-ion, per kWh accucapaciteit (o.b.v. 5kg per kWh)	1/ 2000 = 5,0E-4	kWh	Accu levert 2000 cycli, 1/2000 afschrijven per kWh opgeladen.

In deze sectie worden de transport kaarten beschreven, het betreft een selectie aan zee bulktransport en binnenvaart transport. De selectie is voortgekomen uit overleggen met de betrokken marktpartijen. Deze kaarten bestaan uit dezelfde basisprocessen zoals beschreven in dit LCA-rapport, echter is de functionele eenheid tonkilometers (een massa van 1 ton verplaatsen over 1 kilometer). Alle invoer is dus geschaald naar deze functionele eenheid.

Tabel 61: Kaarten voor invoer categorie 3 NMD

Nr.	Type	Energiedrager
1	Transport Binnenvaart	Diesel - CCRI
2	Transport Binnenvaart	CNG - CCRII
3	Transport Binnenvaart	HVO - CCRI
4	Transport Binnenvaart	FAME- CCRI
5	Transport Binnenvaart	Waterstof – Vloeibaar SMR grijs. -Verbrandingsmotor -Stage V
6	Transport Binnenvaart	Waterstof Vloeibaar - Elektrolyse wind - Verbrandingsmotor – Stage V
7	Transport Binnenvaart	Elektriciteit - Groene Mix
8	Transport Zeegaand	CNG - TIER II
9	Transport Zeegaand	HFO – TIER II
10	Transport Zeegaand	MGO - TIER II
11	Transport Zeegaand	Waterstof – Vloeibaar SMR grijs. -Verbrandingsmotor -TIER III
12	Transport Zeegaand	Waterstof Vloeibaar - Elektrolyse wind - Verbrandingsmotor -TIER III
13	Transport Zeegaand	LNG - TIER II
14	Transport Zeegaand	FAME - TIER II
15	Transport Zeegaand	Bio LNG - TIER II

Onderstaande tabel geeft de vloot gemiddelde stageklassen weer voor zeegaande en binnenvaartschepen. Op basis van deze gegevens is bepaald welke emissielimiet het dichtst bij het gemiddelde ligt voor de transport kaarten welke worden ingevoerd in de NMD. Voor Binnenvaart is dit CCR I (voor alle energiedragers afgezien van waterstof en CNG) en voor zeegaand TIER II (voor alle energiedragers afgezien van waterstof).

Tabel 62: Vloot gemiddelde stageklassen in het jaar 2022.

Binnenvaart	Bijdrage	NOx (gr/kWh)	Zeegaand	Bijdrage	NOx (gr/kWh)
Pre CCR I	48,1%	10,1	Pre-Tier I	4,0%	14
CCR1	19,9%	9,2	Tier I	35,0%	9,9
CCR2	31,0%	7	Tier II	61,0%	10
Stage-V	1,0%	3,61	Tier III	1,0%	2,9
Binnenvaart Mix	100%	8,9	Zeevaart Mix	100%	10,15
Bron: (TNO, TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor: Klimaat- en Energieverkenning (KEV-24) en Emissieramingen Luchtverontreinigende stoffen (ERL-25 2025)					

4.2.1. Transport Zeegaand

Voor het zeegaande transport is de kaart “Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO}| transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods | Cut-off, U” als basis gebruikt. Uit deze kaart is het HFO gebruik per tonkm overgenomen als basis brandstofverbruik. Het brandstofverbruik per tonkm is afhankelijk van het scheepstype. De kaarten dienen echter breed toepasbaar te zijn en de huidige waarde is representatief voor een relatief groot bulkschip. Dit verbruik is omgerekend naar de MJ geleverde arbeid per tonkm, welke geschaald is naar alle overige energiedragers middels de energie-inhoud van de brandstoffen (Tabel 63). Doordat de geleverde arbeid per tonkm gelijk is voor alle varianten is er ook geen verschil in de afschrijving van de kapitaalgoederen

Tabel 63: Brandstofverbruik per tonkm zeegaand transport

Brandstof	FE	Hoeveelheid / tonkm	Eenheid energiedrager	Rendement Aandrijving	MJ (input per kg)	MJ output per tonkm	Opmerking
HFO	tkm	1,727E-6	ton	0,45	40,5	3,15E-02	Geschaald vanuit HFO naar overige energiedragers middels energie inhoud. <i>Geleverde arbeid per tonkm / (energie-inhoud * rendement).</i> Verbruik vanuit Ecolnvent kaart “Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO} transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods Cut-off, U”. 1 stuk
MGO	tkm	1,727E-6 * 40,5/ 42,6 = 1,64E-06	ton	0,45	44		
LNG	tkm	1,43E-06	ton	0,45	49		
Bio-LNG	tkm	1,43E-06	ton	0,45	49		
CNG	tkm	1,51E-06	ton	0,45	46,3		
FAME	tkm	1,88E-06	ton	0,45	37,2		
Waterstof Vloeibaar Verbrandingsmotor	tkm	5,83E-07	ton	0,45	120		
Waterstof Gas Verbrandingsmotor	tkm	5,83E-07	ton	0,45	120		

Tabel 64: Opbouw van de zeegaand transport kaarten.

Energiedrager	Eenheid	Energiedager (A1-A3)	Energiedager (A4)	AdBlue (A1-A3) ¹	Adblue (A4) ¹	Verbrandingsemissies	Emissies AdBlue ¹	PM	NOx	Kapitaalgoederen
		ton	ton	kg	kg	ton	kg	kg	kg	Tonkm
HFO – TIER II	tkm	1,73E-06	1,73E-06	N/A	N/A	1,73E-06	N/A	6,47E-06	8,74E-05	1,0
MGO – TIER II	tkm	1,64E-06	1,64E-06	N/A	N/A	1,64E-06	N/A	2,10E-06	8,74E-05	
LNG – TIER II	tkm	1,43E-06	1,43E-06	N/A	N/A	1,43E-06	N/A	1,75E-07	1,66E-05	
Bio-LNG – TIER II	tkm	1,43E-06	1,43E-06	N/A	N/A	1,43E-06	N/A	1,75E-07	1,66E-05	
CNG – TIER II	tkm	1,51E-06	1,51E-06	N/A	N/A	1,51E-06	N/A	1,75E-07	1,66E-05	
FAME – TIER II	tkm	1,88E-06	1,88E-06	N/A	N/A	1,88E-06	N/A	1,89E-06	9,79E-05	
Waterstof (vloeibaar) SMR – TIER III	tkm	5,83E-07	5,83E-07	5,83E-7 * 430 = 2,51E-4	2,51E-4	5,83E-07	2,51E-4	0,00E+00	2,54E-05	
Waterstof (vloeibaar) Elektrolyse (wind) – TIER III	tkm	5,83E-07	5,83E-07	2,51E-4	2,51E-4	5,83E-07	2,51E-4	0,00E+00	2,54E-05	

¹AdBlue alleen relevant voor TIER III, waarden per ton H2 overgenomen uit Tabel 55.

4.2.2. Transport Binnenvaart

Voor het verbruik per tonkm bij binnenvaart transport is praktijkdata over brandstofverbruik als basis gebruikt (Tabel 65). In de praktijk is er een spreiding in dit verbruik doordat er diverse aspecten kunnen variëren (schip, motor, beladingsgraad, stroomopwaarts/afwaarts). De transport kaart dient echter breed inzetbaar te zijn en er is dus met een gemiddelde waarden gerekend welke hieronder onderbouwd wordt. Dit Diesel verbruik per tonkm is als basis brandstofverbruik gebruikt en geschaald naar de overige energiedragers middels de energiedichtheden. Dit betekent dat de MJ geleverde arbeid per tonkm voor alle transport kaarten identiek is (Tabel 63). Doordat de geleverde arbeid per tonkm gelijk is voor alle varianten is er ook geen verschil in de afschrijving van de kapitaalgoederen

Tabel 65: Brandstofverbruik per tonkm binnenvaart transport

Brandstof	FE	Hoeveelheid/ tonkm	Eenheid energiedrager	Rendement Aandrijving	MJ (input per kg)	MJ output per tonkm	Opmerking
Diesel	tkm	6,89E-06	ton	0,40	43,1	0,119	Opnieuw berekend: - 6,89E-3 kg Diesel per tonkm - Uitgaande van een M7 motorvrachtschip - laadvermogen is 1900 ton (NEA (2009) Kostenkengetal len binnenvaart 2008). - Uitgegaan van een benuttingsgraad van 52,5% (CE Delft (2021), STREAM Goederenvervoer 2020). Deze is gebaseerd op een beladingsgraad van 75% en een aandeel beladen kilometers van 70% - Het energieverbruik is gebaseerd op de berekeningen van de Emissieregistratie van de binnenvaart. Hierbij zijn uit de uitkomsten van het model de gemiddelde waarden voor het aantal kilometers en het berekende brandstofverbruik (op basis van snelheid en stroming) op basis van AIS voor M7 motorvrachtschepen als uitgangspunt genomen. Geschaald vanuit Diesel naar overige energiedragers middels energie-inhoud. <i>Geleverde arbeid per tonkm / (energie-inhoud * rendement)</i>
CNG	tkm	$6,89E-6 * (43,1 / 46,3) = 6,42E-6$	ton	0,40	46,3		
HVO	tkm	6,75E-06	ton	0,40	44		
FAME	tkm	7,99E-06	ton	0,40	37,2		
Waterstof Vloeibaar Verbrandingsmotor	tkm	2,48E-06	ton	0,40	120		
Waterstof Gas Verbrandingsmotor	tkm	2,48E-06	ton	0,40	120		
Accu Elektrisch	tkm	$0,119 / (3,6 * 0,77) = 4,32E-02$	kwh	0,77	3,6		

Tabel 66: Opbouw van de binnenvaart transport kaarten.

Energiedrager	Eenheid	Energiedager (A1-A3)	Energiedager (A4)	AdBlue (A1-A3) ¹	Adblue (A4) ¹	Verbrandingsemissies	Emissies AdBlue ¹	PM	NOx	Kapitaalgoederen	Accu ²	Aandrijving elektrisch ²
		ton	ton	kg	kg	ton	kg	kg	kg	Tonkm	kWh	p
Diesel – CCR I	tkm	6,89E-06	6,89E-06	N/A	N/A	6,89E-06	N/A	9,90E-06	3,04E-04	1,0	N/A	N/A
CNG– CCR II	tkm	6,42E-06	6,42E-06	N/A	N/A	6,42E-06	N/A	9,66E-07	6,27E-05			
HVO– CCR I	tkm	6,75E-06	6,75E-06	N/A	N/A	6,75E-06	N/A	8,91E-06	3,04E-04			
FAME– CCR I	tkm	7,99E-06	7,99E-06	N/A	N/A	7,99E-06	N/A	8,91E-06	3,04E-04			
Waterstof (vloeibaar) (SMR) – Stage V	tkm	2,48E-06	2,48E-06	2,48 ^{E-6} * 430 = 1,06 ^{E-3}	1,06 ^{E-3}	2,48E-06	1,06 ^{E-3}	0,00E+00	1,19E-04			
Waterstof (vloeibaar) Elektrolyse (wind) – Stage V	tkm	2,48E-06	2,48E-06	1,06 ^{E-3}	1,06 ^{E-3}	2,48E-06	1,06 ^{E-3}	0,00E+00	1,19E-04			
Elektrisch	tkm	4,32E-02	-	-	-	-	-	-	-		4,32 ^{E-2} / 2000 = 2,15 ^{E-5}	2,26E-7 * 4,32 ^{E-2} = 9,76 ^{E-9}

¹AdBlue alleen relevant voor TIER III, waarden per ton H2 overgenomen uit Tabel 55.

²Afschrijving accu en aandrijving overgenomen van werken zoet (Tabel 60) en geschaald met verbruik (4,32^{E-2} kWh).

5. Resultaten

Berekening milieuprofiel

In deze LCA zijn de volgende rekenprocedures toegepast:

- De berekeningen in deze LCA zijn gemaakt volgens de eisen en richtlijnen van NEN-EN 15804+A2 (set 1 en set 2) en het Protocol Opstellen en Peer Reviewen categorie 3 productkaarten.
- De milieu-ingrepen zijn berekend met de methoden die zijn omschreven in NEN-EN 15804+A2 aangevuld met karakterisatiefactoren uit de CML-VLCA-rekenmethode.
- Indien van toepassing zijn de regels voor allocatie bij multi-input, -output, recycling- en hergebruikprocessen uit NEN-EN 15804 gevolgd, overeenkomstig de NEN-EN-ISO 14044.
- Voor de werk kaarten zijn de LCA-berekeningen zijn uitgevoerd met bijbehorende Excel-rekentool.
- Voor de transport kaarten zijn de LCA-berekeningen zijn uitgevoerd met SimaPro:
 - Ecoinvent processen zijn doorgerekend inclusief infrastructuurprocessen en kapitaalgoederen.
 - Ecoinvent processen zijn doorgerekend exclusief lange termijn (>100 jaar) emissies.
- Conform paragraaf 3.5 van de Bepalingsmethode zijn deze effectcategorieën omgerekend naar een milieukosten indicator (MKI) in euro's.

5.1 Gekarakteriseerde resultaten en gewogen resultaat

Gekarakteriseerde resultaten en het gewogen resultaat zijn in Tabel 69 t/m Tabel 72 weergegeven, per deelproduct en per functionele eenheid voor zowel Set 1 en Set 2. De uitgebreide resultaten per module zijn opgenomen in de Bijlagen resultaten tabellen transport kaarten.

Het wegen van resultaten is een proces waarbij de resultaten van verschillende milieueffectcategorieën worden omgezet naar een 1 punt' score zodat ze integraal beschouwd kunnen worden. In deze studie wordt, conform de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW werken, gebruikgemaakt van de Milieu Kosten Indicator (MKI) om de verschillende effectcategorieën te wegen tot één eindpunt

5.1.3. Werken Zout en Zoet

In dit hoofdstuk worden alleen de totale MKI:A1 en MKI:A2 weergegeven. De complete milieuprofielen voor alle werkschipcombinaties kunnen worden gegenereerd middels de bijbehorende Excel rekentool.

Tabel 67: MKI-resultaten voor zoute werkschepen, per ton en per GJ-geleverde arbeid.

Schip-energedrager combinatie	MKI:A2 per ton	MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid	MKI:A1 per ton	MKI:A1 per GJ-geleverde arbeid
Diesel, Pre Tier I	€ 864,90	€ 44,59	€ 528,22	€ 27,23
Diesel, TIER I/ II	€ 769,25	€ 39,66	€ 457,56	€ 23,59
Diesel, TIER III	€ 606,93	€ 31,29	€ 341,28	€ 17,60
Diesel, ULEV	€ 623,45	€ 32,15	€ 353,73	€ 18,24
HFO, Pre Tier I	€ 830,96	€ 45,59	€ 511,60	€ 28,07
HFO, TIER I/ II	€ 741,18	€ 40,67	€ 445,22	€ 24,43
HFO, TIER III	€ 588,65	€ 32,30	€ 335,95	€ 18,43
HFO, ULEV	€ 603,21	€ 33,10	€ 347,47	€ 19,07
MGO, Pre Tier I	€ 866,73	€ 45,21	€ 544,72	€ 28,42
MGO, TIER I / II	€ 772,19	€ 40,28	€ 474,88	€ 24,77
MGO, TIER III	€ 611,75	€ 31,91	€ 359,95	€ 18,78
MGO, ULEV	€ 628,09	€ 32,76	€ 372,27	€ 19,42
LNG, TIER II/ III / ULEV	€ 686,94	€ 31,15	€ 374,20	€ 16,97
CNG, Algemeen TIER II/ III / ULEV	€ 609,24	€ 29,24	€ 301,15	€ 14,45
Bio-LNG, TIER II / III / ULEV	€ 248,17	€ 11,25	€ 140,56	€ 6,37
Bio CNG, TIER II / III / ULEV	€ 238,09	€ 11,43	€ 135,18	€ 6,49
HVO, Pre Tier I	€ 455,55	€ 23,01	€ 338,03	€ 17,07
HVO, TIER I/ II	€ 357,92	€ 18,08	€ 265,90	€ 13,43
HVO, TIER III	€ 192,21	€ 9,71	€ 147,19	€ 7,43
HVO, ULEV	€ 209,13	€ 10,56	€ 159,92	€ 8,08
FAME, Pre Tier I	€ 492,36	€ 29,41	€ 357,54	€ 21,36
FAME, TIER I /II	€ 399,50	€ 23,87	€ 288,94	€ 17,26
FAME, TIER III	€ 234,66	€ 14,02	€ 170,28	€ 10,17
FAME, ULEV	€ 248,97	€ 14,87	€ 181,04	€ 10,81
Methanol, Bio, TIER III	€ 109,29	€ 12,20	€ 95,28	€ 10,64
Methanol, Bio, ULEV	€ 117,10	€ 13,08	€ 101,06	€ 11,29
Methanol, Bio, Brandstofcel	€ 90,69	€ 9,70	€ 95,62	€ 10,22
Methanol, Grijs, TIER III	€ 311,62	€ 34,80	€ 171,80	€ 19,19
Methanol, Grijs, ULEV	€ 319,43	€ 35,67	€ 177,59	€ 19,83
Methanol, Grijs Brandstofcel	€ 293,02	€ 31,33	€ 172,14	€ 18,41
E-Methanol (Fossiele CO2, H2 Wind Mix), TIER III	€ 250,21	€ 27,94	€ 173,06	€ 19,33
E-Methanol (Fossiele CO2, H2 Wind Mix), ULEV	€ 258,02	€ 28,81	€ 178,84	€ 19,97
E-Methanol (Fossiele CO2, H2 Wind Mix), Brandstofcel	€ 231,61	€ 24,76	€ 173,40	€ 18,54
E-Methanol (Biogene CO2, H2 Wind Mix), TIER III	€ 91,16	€ 10,18	€ 104,50	€ 11,67
E-Methanol (Biogene CO2, H2 Wind Mix), ULEV	€ 98,97	€ 11,05	€ 110,29	€ 12,32



E-Methanol (Biogene CO2, H2 Wind Mix), Brandstofcel	€ 72,56	€ 7,76	€ 104,84	€ 11,21
Ammoniak, Grijs, TIER III	€ 373,30	€ 44,60	€ 204,11	€ 24,39
Ammoniak, Grijs, ULEV	€ 380,65	€ 45,48	€ 209,52	€ 25,03
Ammoniak, Grijs Brandstofcel	€ 354,38	€ 40,54	€ 202,47	€ 23,16
Ammoniak, Synthetisch, H2 Wind Mix TIER III	€ 104,04	€ 12,43	€ 135,50	€ 16,19
Ammoniak, Synthetisch, H2 Wind Mix, ULEV	€ 111,38	€ 13,31	€ 140,92	€ 16,84
Ammoniak, Synthetisch, H2 Wind Mix Brandstofcel	€ 85,12	€ 9,74	€ 133,86	€ 15,31
Waterstof, Gas, Elektrolyse, Grijs Mix, TIER III	€ 4.086,31	€ 75,67	€ 2.131,14	€ 39,47
Waterstof, Gas, Elektrolyse, Grijs Mix, ULEV	€ 4.133,70	€ 76,55	€ 2.166,08	€ 40,11
Waterstof, Gas, Elektrolyse, Grijs Mix Brandstofcel	€ 3.964,23	€ 70,29	€ 2.120,56	€ 37,60
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Grijs Mix TIER III	€ 4.497,87	€ 83,29	€ 2.335,11	€ 43,24
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Grijs Mix, ULEV	€ 4.545,26	€ 84,17	€ 2.370,05	€ 43,89
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Grijs Mix Brandstofcel	€ 4.375,79	€ 77,58	€ 2.324,53	€ 41,22
Waterstof, Gas, SMR, Grijs Mix TIER III	€ 1.946,14	€ 36,04	€ 996,30	€ 18,45
Waterstof, Gas, SMR, Grijs Mix, ULEV	€ 1.993,53	€ 36,92	€ 1.031,24	€ 19,10
Waterstof, Gas, SMR, Grijs Mix - Brandstofcel	€ 1.824,06	€ 32,34	€ 985,72	€ 17,48
Waterstof, Vloeibaar, SMR, Grijs Mix TIER III	€ 2.357,69	€ 43,66	€ 1.200,27	€ 22,23
Waterstof, Vloeibaar, SMR, Grijs Mix, ULEV	€ 2.405,08	€ 44,54	€ 1.235,21	€ 22,87
Waterstof, Vloeibaar, SMR, Grijs Mix Brandstofcel	€ 2.235,61	€ 39,64	€ 1.189,69	€ 21,09
Waterstof, Gas, SMR, Groene Mix - TIER III	€ 1.744,00	€ 32,30	€ 901,05	€ 16,69
Waterstof, Gas, SMR, Groene Mix, ULEV	€ 1.791,39	€ 33,17	€ 936,00	€ 17,33
Waterstof, Gas, SMR, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.621,92	€ 28,76	€ 890,47	€ 15,79
Waterstof, Vloeibaar, SMR, Groene Mix TIER III	€ 1.891,28	€ 35,02	€ 985,83	€ 18,26
Waterstof, Vloeibaar, SMR, Groene Mix, ULEV	€ 1.938,67	€ 35,90	€ 1.020,78	€ 18,90
Waterstof, Vloeibaar, SMR, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.769,20	€ 31,37	€ 975,25	€ 17,29
Waterstof, Gas, Elektrolyse, Groene Mix TIER III	€ 1.636,80	€ 30,31	€ 998,64	€ 18,49
Waterstof, Gas, Elektrolyse, Groene Mix, ULEV	€ 1.684,19	€ 31,19	€ 1.033,58	€ 19,14
Waterstof, Gas, Elektrolyse, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.514,72	€ 26,86	€ 988,06	€ 17,52
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Groene Mix TIER III	€ 1.784,08	€ 33,04	€ 1.083,42	€ 20,06
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Groene Mix, ULEV	€ 1.831,47	€ 33,92	€ 1.118,36	€ 20,71
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.662,00	€ 29,47	€ 1.072,84	€ 19,02
Waterstof, Gas, Electrolyse, Wind Mix TIER III	€ 456,08	€ 8,45	€ 545,05	€ 10,09
Waterstof, Gas, Electrolyse, Wind Mix, ULEV	€ 503,47	€ 9,32	€ 580,00	€ 10,74
Waterstof, Gas, Electrolyse, Wind Mix Brandstofcel	€ 334,00	€ 5,92	€ 534,47	€ 9,48
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Wind Mix TIER III	€ 475,97	€ 8,81	€ 579,07	€ 10,72
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Wind Mix, ULEV	€ 523,36	€ 9,69	€ 614,01	€ 11,37
Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Wind Mix Brandstofcel	€ 353,89	€ 6,27	€ 568,49	€ 10,08

Tabel 68: MKI-resultaten voor zoete werkschepen, per ton en per GJ-geleverde arbeid.

Funtionele Eenheid (F.E.)	Onderdeel	MKI:A2 per F.E.	MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid	MKI:A1 per F.E.	MKI:A1 per GJ-geleverde arbeid
ton	Diesel (ULSD), CCR 0 / Unspecified	€ 781,75	€ 45,35	€ 476,18	€ 27,62
ton	Diesel (ULSD), CCR I	€ 762,09	€ 44,20	€ 461,94	€ 26,79
ton	Diesel (ULSD), CCR II	€ 715,20	€ 41,48	€ 427,37	€ 24,79
ton	Diesel (ULSD), Stage V IWP/IWA	€ 650,18	€ 37,71	€ 383,20	€ 22,23
ton	Diesel (ULSD), Stage V NRE	€ 602,83	€ 34,97	€ 348,20	€ 20,20
ton	GTL, CCR 0 / Unspecified	€ 900,38	€ 51,16	€ 599,84	€ 34,08
ton	GTL, CCR I	€ 882,35	€ 50,13	€ 586,76	€ 33,34
ton	GTL, CCR II	€ 839,27	€ 47,69	€ 555,00	€ 31,53
ton	GTL, Stage V IWP/IWA	€ 788,12	€ 44,78	€ 521,14	€ 29,61
ton	GTL, Stage V NRE	€ 739,78	€ 42,03	€ 485,41	€ 27,58
ton	LNG, CCR II	€ 722,49	€ 36,86	€ 411,52	€ 21,00
ton	LNG, Stage V IWP/IWA	€ 730,75	€ 37,28	€ 421,88	€ 21,52
ton	LNG, Stage V NRE	€ 718,20	€ 36,64	€ 412,60	€ 21,05
ton	CNG, CCR II	€ 642,83	€ 34,71	€ 336,41	€ 18,16
ton	CNG, Stage V IWP/IWA	€ 650,63	€ 35,13	€ 346,20	€ 18,69
ton	CNG, Stage V NRE	€ 638,73	€ 34,49	€ 337,42	€ 18,22
ton	Bio-LNG, CCR II	€ 283,71	€ 14,48	€ 177,88	€ 9,08
ton	Bio-LNG, Stage V IWP/IWA	€ 291,97	€ 14,90	€ 188,24	€ 9,60
ton	Bio-LNG, Stage V NRE	€ 279,42	€ 14,26	€ 178,96	€ 9,13
ton	Bio CNG, CCR II	€ 271,67	€ 14,67	€ 170,45	€ 9,20
ton	Bio CNG, Stage V IWP/IWA	€ 279,48	€ 15,09	€ 180,23	€ 9,73
ton	Bio CNG, Stage V NRE	€ 267,58	€ 14,45	€ 171,46	€ 9,26
ton	HVO, CCR 0 / Unspecified	€ 370,62	€ 21,06	€ 284,89	€ 16,19
ton	HVO, CCR I	€ 350,61	€ 19,92	€ 270,37	€ 15,36
ton	HVO, CCR II	€ 302,75	€ 17,20	€ 235,08	€ 13,36
ton	HVO, Stage V IWP/IWA	€ 236,41	€ 13,43	€ 190,00	€ 10,80
ton	HVO, Stage V NRE	€ 188,08	€ 10,69	€ 154,26	€ 8,76
ton	FAME, CCR 0 / Unspecified	€ 385,50	€ 25,91	€ 286,70	€ 19,27
ton	FAME, CCR I	€ 368,58	€ 24,77	€ 274,43	€ 18,44
ton	FAME, CCR II	€ 328,12	€ 22,05	€ 244,59	€ 16,44
ton	FAME, Stage V IWP/IWA	€ 272,03	€ 18,28	€ 206,48	€ 13,88
ton	FAME, Stage V NRE	€ 231,17	€ 15,54	€ 176,26	€ 11,85
ton	Methanol, Grijs - Stage V IWP/IWA	€ 331,77	€ 41,68	€ 191,20	€ 26,94
ton	Methanol, Grijs - Stage V NRE	€ 309,91	€ 38,93	€ 175,03	€ 21,99
ton	Methanol, Grijs - Brandstofcel	€ 313,26	€ 33,49	€ 192,37	€ 20,57
ton	E-Methanol (Fossiele CO2, H2 wind mix), Stage V IWP/IWA	€ 270,36	€ 33,96	€ 192,45	€ 24,18
ton	E-Methanol(Fossiele CO2, H2 wind mix), Stage V NRE	€ 248,50	€ 31,22	€ 176,29	€ 22,15
ton	E-Methanol(Fossiele CO2, H2 wind mix), Brandstofcel	€ 251,84	€ 26,93	€ 193,62	€ 20,70
ton	E-Methanol (Biogene CO2, H2 wind mix), Stage V IWP/IWA	€ 111,31	€ 13,98	€ 123,89	€ 15,56
ton	E-Methanol (Biogene CO2, H2 wind mix), Stage V NRE	€ 89,45	€ 11,24	€ 107,73	€ 13,53
ton	E-Methanol (Biogene CO2, H2 wind mix), Brandstofcel	€ 92,80	€ 9,92	€ 125,07	€ 13,37
ton	Methanol, Bio Stage V IWP/IWA	€ 129,45	€ 16,26	€ 114,67	€ 14,41
ton	Methanol, Bio Stage V NRE	€ 107,58	€ 13,52	€ 98,51	€ 12,38
ton	Methanol, Bio Brandstofcel	€ 110,93	€ 11,86	€ 115,84	€ 12,39
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Grijs Mix - Stage V IWP/IWA	€ 4.208,11	€ 87,67	€ 2.248,13	€ 46,84
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Grijs Mix Stage V NRE	€ 4.076,29	€ 84,92	€ 2.150,67	€ 44,81
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Grijs Mix - Brandstofcel	€ 4.086,28	€ 72,45	€ 2.242,50	€ 39,76
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Grijs Mix Stage V IWP/IWA	€ 4.619,66	€ 96,24	€ 2.452,10	€ 51,09
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Grijs Mix Stage V NRE	€ 4.487,84	€ 93,50	€ 2.354,64	€ 49,05
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Grijs Mix - Brandstofcel	€ 4.497,83	€ 79,75	€ 2.446,47	€ 43,38

ton	Waterstof, Gas, SMR, Grijs Mix Stage V IWP/IWA	€ 2.067,94	€ 43,08	€ 1.113,30	€ 23,19
ton	Waterstof, Gas, SMR, Grijs Mix Stage V NRE	€ 1.936,11	€ 40,34	€ 1.015,83	€ 21,16
ton	Waterstof, Gas, SMR, Grijs Mix Brandstofcel	€ 1.946,10	€ 34,51	€ 1.107,66	€ 19,64
ton	Waterstof, Vloeibaar, SMR, Grijs Mix Stage V IWP/IWA	€ 2.479,49	€ 51,66	€ 1.317,27	€ 27,44
ton	Waterstof, Vloeibaar, SMR, Grijs Mix - Stage V NRE	€ 2.347,67	€ 48,91	€ 1.219,80	€ 25,41
ton	Waterstof, Vloeibaar, SMR, Grijs Mix Brandstofcel	€ 2.357,66	€ 41,80	€ 1.311,63	€ 23,26
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Groene Mix Stage V IWP/IWA	€ 1.758,59	€ 36,64	€ 1.115,63	€ 23,24
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Groene Mix Stage V NRE	€ 1.626,77	€ 33,89	€ 1.018,17	€ 21,21
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.636,76	€ 29,02	€ 1.110,00	€ 19,68
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Groene Mix - Stage V IWP/IWA	€ 1.905,87	€ 39,71	€ 1.200,41	€ 25,01
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Groene Mix Stage V NRE	€ 1.774,05	€ 36,96	€ 1.102,95	€ 22,98
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.784,04	€ 31,63	€ 1.194,78	€ 21,18
ton	Waterstof, Gas, SMR, Groene Mix Stage V IWP/IWA	€ 1.865,80	€ 38,87	€ 1.018,05	€ 21,21
ton	Waterstof, Gas, SMR, Groene Mix Stage V NRE	€ 1.733,97	€ 36,12	€ 920,58	€ 19,18
ton	Waterstof, Gas, SMR, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.743,96	€ 30,92	€ 1.012,42	€ 17,95
ton	Waterstof, Vloeibaar, SMR, Groene Mix Stage V IWP/IWA	€ 2.013,08	€ 41,94	€ 1.102,83	€ 22,98
ton	Waterstof, Vloeibaar, SMR, Groene Mix Stage V NRE	€ 1.881,25	€ 39,19	€ 1.005,36	€ 20,95
ton	Waterstof, Vloeibaar, SMR, Groene Mix Brandstofcel	€ 1.891,24	€ 33,53	€ 1.097,20	€ 19,45
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Wind Mix Stage V IWP/IWA	€ 577,87	€ 12,04	€ 662,05	€ 13,79
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Wind Mix Stage V NRE	€ 446,05	€ 9,29	€ 564,58	€ 11,76
ton	Waterstof, Gas, Elektrolyse, Wind Mix Brandstofcel	€ 456,04	€ 8,09	€ 656,41	€ 11,64
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Wind Mix Stage V IWP/IWA	€ 597,77	€ 12,45	€ 696,06	€ 14,50
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Wind Mix - Stage V NRE	€ 465,94	€ 9,71	€ 598,60	€ 12,47
ton	Waterstof, Vloeibaar, Elektrolyse, Wind Mix Brandstofcel	€ 475,93	€ 8,44	€ 690,43	€ 12,24
kWh	Elektriciteit, Grijs - Elektromotor	€ 0,07814	€ 28,37	€ 0,0463	€ 16,82
kWh	Elektriciteit, Groen Elektromotor	€ 0,03430	€ 12,46	€ 0,0261	€ 9,47
kWh	Elektriciteit, Wind Mix (37% Zee, 63% Land) Elektromotor	€ 0,01317	€ 4,78	€ 0,0179	€ 6,51

5.1.4. Transport Zeegaand

Tabel 69: Resultaten transport zeegaand per tonkm, EN15804:A1 en MKI:A1.

Effectcategorie	Eenheid	Bio-LNG, TIER II	CNG, TIER II	FAME, TIER II	HFO, TIER II	LNG, TIER II/III	MGO, TIER II	Waterstof (vloeibaar Elektrolyse wind), verbrandingsm otor TIER III	Waterstof vloeibaar SMR Grijs), verbrandingsm otor TIER III
abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	1,01E-08	9,32E-09	1,15E-08	9,36E-09	9,28E-09	9,82E-09	2,26E-08	1,59E-08
abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	5,43E-07	7,71E-06	2,78E-06	6,25E-06	7,29E-06	7,03E-06	1,27E-06	9,79E-06
global warming (GWP)	kg CO2 eq	1,29E-04	3,61E-04	1,12E-04	3,26E-04	3,61E-04	3,32E-04	6,28E-05	3,85E-04
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,19E-09	1,49E-08	7,53E-09	3,08E-08	1,30E-08	3,09E-08	3,17E-09	2,03E-08
photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	5,24E-06	6,65E-06	5,01E-06	7,31E-06	7,42E-06	7,17E-06	4,01E-06	6,08E-06
acidification (AP)	kg SO2 eq	4,28E-05	5,33E-05	2,39E-04	2,24E-04	6,87E-05	2,35E-04	8,25E-05	9,32E-05
eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	2,22E-05	2,44E-05	1,31E-04	1,14E-04	2,60E-05	1,14E-04	4,41E-05	4,34E-05
human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	9,05E-05	9,00E-05	1,36E-04	1,70E-04	1,34E-04	1,62E-04	2,39E-04	1,38E-04
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	4,35E-07	4,86E-07	1,23E-06	2,07E-06	2,02E-06	2,00E-06	1,20E-06	7,35E-07
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	4,52E-06	5,41E-06	9,92E-06	1,25E-05	2,33E-05	1,44E-05	1,15E-05	8,52E-06
Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	6,52E-07	5,79E-07	8,44E-07	7,01E-07	5,67E-07	7,07E-07	5,66E-06	1,50E-06
MKI	€	2,96E-04	5,50E-04	6,38E-04	8,64E-04	6,30E-04	8,74E-04	4,52E-04	6,87E-04

Tabel 70: Resultaten transport zeegaand per tonkm, EN15804:A2 en MKI:A2.

Effectcategorie	Eenheid	Bio-LNG, TIER II	CNG, TIER II	FAME, TIER II	HFO, TIER II	LNG, TIER II/III	MGO, TIER II	Waterstof (vloeibaar Elektrolyse wind), verbrandingsmotor TIER III	Waterstof vloeibaar SMR Grijs), verbrandingsmotor TIER III
Climate change	kg CO2 eq	2,54E-03	7,11E-03	2,34E-03	7,18E-03	7,47E-03	6,90E-03	1,19E-03	1,03E-02
Climate change - Fossil	kg CO2 eq	5,94E-04	7,10E-03	2,33E-03	7,17E-03	7,46E-03	6,89E-03	1,18E-03	1,03E-02
Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	1,94E-03	9,87E-07	-3,50E-06	4,55E-06	-1,38E-06	5,21E-06	7,60E-07	-1,21E-06
Climate change - Land use and LU ch	kg CO2 eq	6,39E-06	6,58E-06	2,26E-05	6,60E-06	6,66E-06	6,59E-06	6,94E-06	6,79E-06
Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,95E-12	2,97E-10	7,23E-11	1,37E-10	9,65E-11	6,13E-10	5,25E-11	6,71E-10
Acidification	mol H+ eq	1,51E-05	1,76E-05	8,47E-05	7,55E-05	2,00E-05	7,87E-05	2,71E-05	2,99E-05
Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,16E-08	4,18E-08	5,02E-08	3,60E-08	3,71E-08	3,67E-08	3,11E-07	9,83E-08
Eutrophication, marine	kg N eq	6,96E-06	7,45E-06	4,09E-05	3,54E-05	8,15E-06	3,55E-05	1,12E-05	1,23E-05
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	7,62E-05	8,16E-05	4,45E-04	3,85E-04	8,93E-05	3,87E-04	1,21E-04	1,35E-04
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	2,42E-05	2,83E-05	1,13E-04	1,09E-04	3,49E-05	1,05E-04	3,24E-05	3,83E-05
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	1,15E-08	8,59E-09	9,88E-09	8,21E-09	8,67E-09	8,53E-09	8,82E-08	1,38E-08
Resource use, fossils	MJ	6,43E-03	8,40E-02	3,20E-02	8,55E-02	8,55E-02	9,36E-02	1,36E-02	1,56E-01
Water use	m3 depriv.	1,86E-04	2,46E-04	2,99E-05	2,66E-04	2,59E-04	2,58E-04	9,57E-04	9,50E-04
Particulate matter	disease inc.	5,99E-11	5,86E-11	1,14E-10	9,86E-11	6,85E-11	1,29E-10	9,90E-11	8,29E-11
Ionising radiation	kBq U- 235 eq	1,50E-05	2,14E-05	2,32E-05	2,33E-05	1,84E-05	2,62E-05	3,67E-05	9,49E-05
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,54E-03	5,85E-03	1,43E-02	3,92E-02	6,67E-03	3,12E-02	5,14E-02	2,92E-02
Human toxicity, cancer	CTUh	2,91E-12	3,13E-12	3,24E-12	4,06E-12	3,28E-12	3,76E-12	6,27E-12	3,80E-12
Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,13E-11	2,07E-11	2,28E-11	3,02E-11	2,28E-11	5,32E-11	9,65E-11	3,28E-11
Land use	Pt	4,52E-03	3,26E-03	8,88E-03	5,93E-03	3,23E-03	4,61E-03	1,16E-02	5,57E-03
MKI	€	4,25E-04	9,90E-04	8,21E-04	1,35E-03	1,05E-03	1,34E-03	3,63E-04	1,46E-03

5.1.5. Transport Binnenvaart

Tabel 71: Resultaten transport Binnenvaart per tonkm, EN15804:A1 en MKI:A1.

Effectcategorie	Eenheid	CNG, CCR II	Diesel, CCR I	FAME, CCR I	HVO, CCR I	Elektrisch, hernieuwbare mix	Waterstof (Elektrolyse Wind Vloeibaar) Verbrandingsmotor Stage V	Waterstof (SMR Grijs Vloeibaar) Verbrandingsmotor Stage V
abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	3,73E-07	3,76E-07	4,33E-07	4,13E-07	7,27E-07	7,28E-07	4,12E-07
abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	2,56E-04	6,29E-05	1,25E-04	8,54E-05	7,83E-05	8,53E-05	4,23E-04
global warming (GWP)	kg CO2 eq	4,04E-02	3,37E-02	1,93E-02	1,42E-02	1,46E-02	1,50E-02	5,42E-02
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC- 11 eq	2,82E-09	8,21E-10	1,77E-09	1,21E-09	1,09E-09	1,15E-09	4,64E-09
photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	2,22E-05	1,55E-05	1,87E-05	1,88E-05	1,81E-05	1,66E-05	2,13E-05
acidification (AP)	kg SO2 eq	9,09E-05	2,03E-04	2,36E-04	2,24E-04	8,39E-05	1,31E-04	1,42E-04
eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	1,60E-05	4,68E-05	5,29E-05	5,13E-05	1,33E-05	2,78E-05	2,67E-05
human toxicity (HT)	kg 1,4- DB eq	6,12E-03	6,33E-03	8,17E-03	7,74E-03	9,81E-03	1,32E-02	7,88E-03
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4- DB eq	1,32E-04	1,15E-04	2,38E-04	5,01E-04	1,97E-04	2,34E-04	1,64E-04
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4- DB eq	3,38E-01	2,81E-01	5,29E-01	3,57E-01	5,58E-01	5,98E-01	4,87E-01
Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4- DB eq	6,24E-05	5,88E-05	8,12E-05	1,69E-04	1,68E-04	4,23E-04	1,22E-04
MKI	€	3,21E-03	3,57E-03	3,24E-03	2,87E-03	2,19E-03	2,85E-03	4,39E-03

Tabel 72: Resultaten transport Binnenvaart per tonkm, EN15804:A1 en MKI:A1.

Effectcategorie	Eenheid	CNG, CCR II	Diesel, CCR I	FAME, CCR I	HVO, CCR I	Elektrisch, hernieuwbare mix	Waterstof (Elektrolyse Wind Vloeibaar) Verbrandingsm otor Stage V	Waterstof (SMR Grijs Vloeibaar) Verbrandingsm otor Stage V
Climate change	kg CO2 eq	4,00E-02	3,39E-02	1,97E-02	1,49E-02	1,69E-02	1,48E-02	5,35E-02
Climate change - Fossil	kg CO2 eq	3,97E-02	3,37E-02	1,94E-02	1,43E-02	1,43E-02	1,46E-02	5,33E-02
Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	1,05E-04	9,28E-05	8,63E-05	1,20E-04	2,59E-03	1,04E-04	9,61E-05
Climate change - Land use and LU ch	kg CO2 eq	1,02E-04	1,01E-04	1,70E-04	5,31E-04	1,08E-04	1,03E-04	1,03E-04
Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,37E-09	1,41E-10	4,20E-10	2,97E-10	3,99E-10	3,36E-10	2,97E-09
Acidification	mol H+ eq	1,12E-04	2,84E-04	3,20E-04	3,11E-04	1,02E-04	1,67E-04	1,78E-04
Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,36E-07	4,80E-07	5,72E-07	5,58E-07	6,70E-07	1,68E-06	7,76E-07
Eutrophication, marine	kg N eq	3,86E-05	1,30E-04	1,40E-04	1,41E-04	1,82E-05	6,18E-05	6,66E-05
Eutrophication, terrestrial	mol N eq	4,25E-04	1,43E-03	1,53E-03	1,52E-03	3,03E-04	6,75E-04	7,34E-04
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,56E-04	3,74E-04	4,10E-04	4,14E-04	8,01E-05	1,92E-04	2,17E-04
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	5,62E-08	5,26E-08	6,17E-08	6,29E-08	3,29E-07	3,95E-07	7,83E-08
Resource use, fossils	MJ	4,64E-01	1,29E-01	2,43E-01	1,78E-01	1,58E-01	1,65E-01	7,68E-01
Water use	m3 depriv.	3,60E-03	3,26E-03	2,68E-03	4,32E-03	4,61E-03	6,62E-03	6,58E-03
Particulate matter	disease inc.	6,57E-10	6,91E-10	8,71E-10	8,15E-10	1,07E-09	8,33E-10	7,64E-10
Ionising radiation	kBq U-235 eq	5,75E-04	5,35E-04	5,82E-04	5,62E-04	6,25E-04	6,39E-04	8,87E-04
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	6,18E-02	5,45E-02	9,77E-02	1,75E-01	2,59E-01	2,55E-01	1,61E-01
Human toxicity, cancer	CTUh	2,50E-11	2,35E-11	2,55E-11	2,67E-11	2,95E-11	3,83E-11	2,78E-11
Human toxicity, non-cancer	CTUh	1,72E-10	1,48E-10	1,81E-10	1,98E-10	3,21E-10	4,95E-10	2,24E-10
Land use	Pt	3,92E-01	3,91E-01	4,16E-01	4,32E-01	9,98E-01	4,28E-01	4,02E-01
MKI	€	5,80E-03	6,00E-03	4,62E-03	4,05E-03	3,17E-03	3,22E-03	7,89E-03

5.2 Duiding van de resultaten (Zwaartepuntanalyse)

5.2.1 Werkschepen zout analyse

Onderstaande figuren geven een beeld van de verhouding tussen alle energiedragers per GJ geleverde arbeid voor de zoute werkschepen weer (Figuur 3 voor MKI:A2 en Figuur 6 voor MKI:A1). De energie-inhoud van de energiedragers loopt sterk uiteen, waardoor vergelijking op massa een vertekend beeld zal geven. Om een helder beeld te geven is er gekozen voor een beperkte selectie. Voor de verbrandingsmotoren zijn alleen de beste en slechtste emissieklassen weergegeven en voor alle waterstof varianten is ook een beperkte selectie weergegeven. Meer detail volgt in de opvolgende figuren.

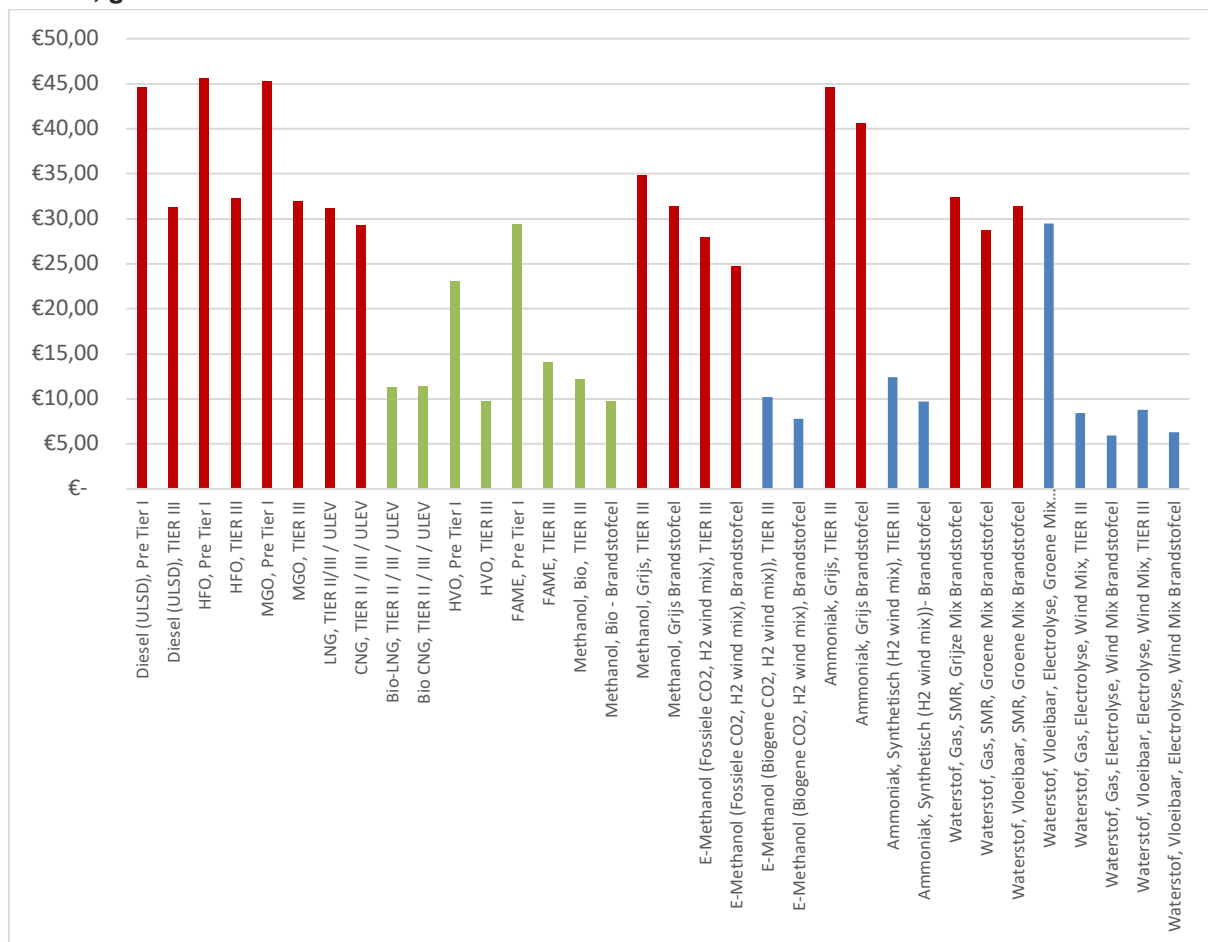
Wat betreft de huidige beschikbare brandstoffen is er weinig verschil tussen de fossiele varianten. Wel heeft de overgang van TIER I / II naar TIER III een zeer grote invloed op de MKI:A2. Met de huidige modellering scoren de biobrandstoffen een stuk gunstiger, met name bio-LNG, bio-CNG, bio-methanol en HVO (TIER III).

Verder naar de toekomst kijkend, van de RFNBOs heeft waterstof verkregen middels elektrolyse uit windenergie de laagste MKI:A2. Het verschil tussen gasvormig en vloeibaar is enkele procenten, afhankelijk van de gebruikte elektriciteit voor de liquefactie/compressie. Het verschil tussen de verbrandingsmotoren en de brandstofcel wordt veroorzaakt door de NOx emissies bij de verbrandingsmotororen, dit wordt later in meer detail weergegeven.

Na waterstof o.b.v. wind geven de RFNBOs synthetische ammoniak en e-methanol (biogeen) een erg lage MKI:A2. De MKI ligt hoger dan waterstof zelf aangezien deze twee RFNBOs geproduceerd worden uit waterstof (in dit geval ook H2-elektrolyse wind mix). De e-methanol variant is op basis van afgevangen fossiele CO2, om deze reden scoort deze energiedrager niet competitief. De implicaties van deze keuze worden verder toegelicht in de gevoeligheidsanalyse.

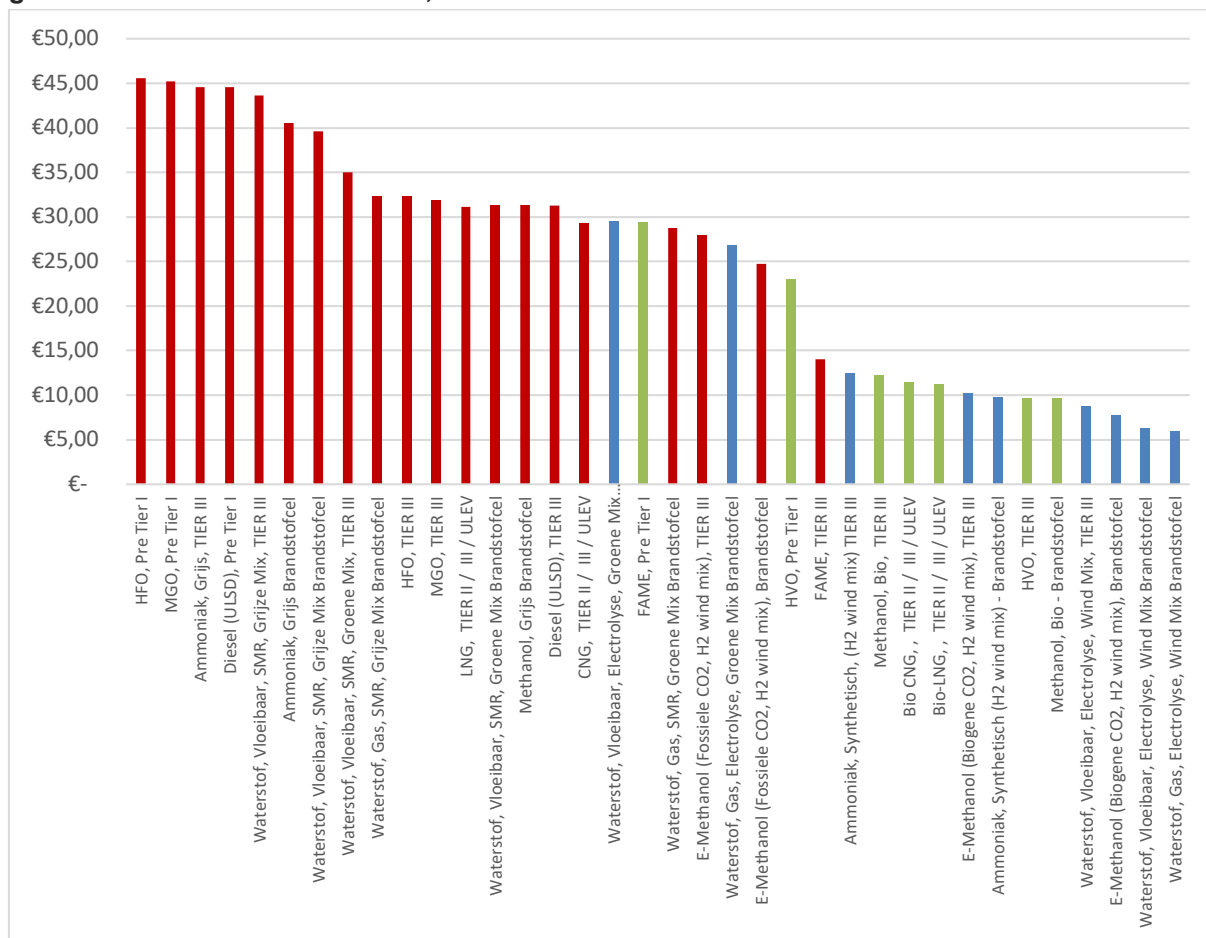
Hierbij komt wel dat er nog grote onzekerheid bestaat omtrent de RFNBOs. De technieken voor deze schepen zijn nog erg nieuw en de datapunten zijn relatief onzeker. Zo is er nog zeer gering zicht op de emissies in de gebruiksfase, productie, distributie en van de kapitaalgoederen. Dit kan effect hebben op onderlinge verschillen tussen de diverse energiedragers en aandrijflijnen.

Figuur 3: Overzicht werkschepen zout, totale MKI:A2 per GJ geleverde arbeid. Per type, rood - fossiel, groen - biobrandstof en blauw - RFNBOs.



Figuur 4 geeft dezelfde selectie als in Figuur 3 maar dan gerangschikt van hoogste naar laagste MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. De linkerkant (hoogste MKI) wordt gedomineerd door de fossiele energiedragers en dan met name de lagere TIER klassen, let hierbij op dat alle tussenliggende TIER klassen en ULEV niet in deze selectie zitten, deze komen naar voren in Figuur 7. De eerder beschreven toelicht dat alleen H2 o.b.v. elektrolyse van windenergie (of andere stroombronnen zie gevoeligheidsanalyse) een competitieve MKI:A2 geeft. De RFNBOs welke deze H2 gebruiken resulteren ook in een relatief lage MKI:A2. Onder de huidige aannamen geven de biobrandstoffen met TIER III een zeer lage MKI:A2, vergelijkbaar met de RFNBOs synthetische ammoniak en e-methanol. De waterstof elektrolyse wind varianten scoren het laagst (voor meer nuance over de benadering voor de biobrandstoffen zie de gevoeligheidsanalyse).

Figuur 4: Overzicht van hoog naar laag voor selectie zoute werkschepen, MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. Rood – Fossiel, Groen – biobrandstof en blauw - RFNBO.



In Figuur 5 wordt bovenstaande vergelijking nogmaals herhaald maar dan met uitsplitsing naar de drie hoofdonderdelen (energiedrager, gebruiksprofiel en kapitaalgoederen). Hierin is te zien dat bij de traditionele brandstoffen het gebruiksprofiel dominant is, dit komt met name door de fossiele CO2 emissies. De invloed van de NOx emissies is te zien in de afname in MKI van de pre-TIER I naar TIER III varianten. De productie van de energiedrager draagt in mindere mate bij.

Voor de biobrandstoffen geldt hetzelfde als voor de fossiele brandstoffen, echter geeft de productie van de energiedrager een negatieve MKI:A2 vanwege de opname van biogene CO2. Netto over de levenscyclus hebben de biobrandstoffen een biogene-CO2 balans van 0. Dit maakt dat de biobrandstoffen lager uitkomen op de totalen zoals weergegeven in Figuur 3.

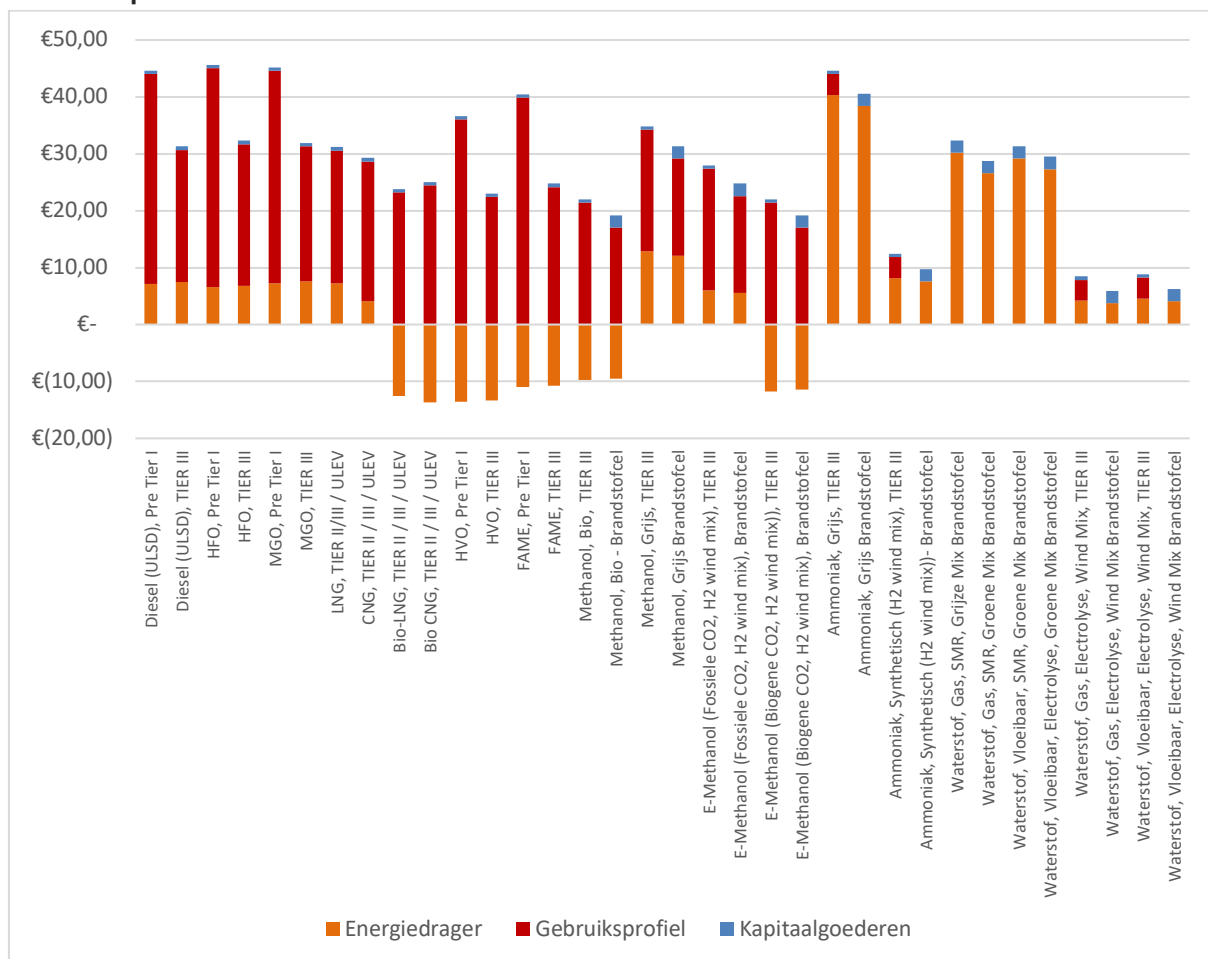
Bij ammoniak, e-methanol (biogeen) en waterstof ligt het zwaartepunt bij de productie van de energiedrager. In alle gevallen wordt er alleen een sterke MKI:A2 reductie behaald wanneer de waterstof met windenergie is geproduceerd. Dit geldt ook voor de synthetische ammoniak en de e-methanol waar waterstof de belangrijkste grondstof is.

Voor de energiedragers die zowel in een verbrandingsmotor als een brandstofcel gebruikt kunnen worden valt de brandstofcel variant lager uit. Dit komt door de bijdrage van de NOx emissies bij de

verbrandingsmotoren, dit is €3,57 /GJ voor waterstof en komt neer op tussen de 5-40% van de MKI:A2. De rendementen van de verbrandingsmotor en de brandstofcel liggen bij de zoute schepen dicht bij elkaar (2% verschil voor zout). Door dit verschil gebruikt de brandstofcel variant marginaal minder energiedrager per GJ geleverde arbeid, wat het verschil enigszins vergroot. De balans ligt anders bij de zoete werkschepen waar er een groter rendement verschil is (wordt toegelicht onder de analyse van de zoete werkschepen). Door de technische commissie en TNO wordt er aangegeven dat dit rendement in de toekomst wellicht nog kan oplopen richting de 50%, en potentieel nog enkele procenten verder.

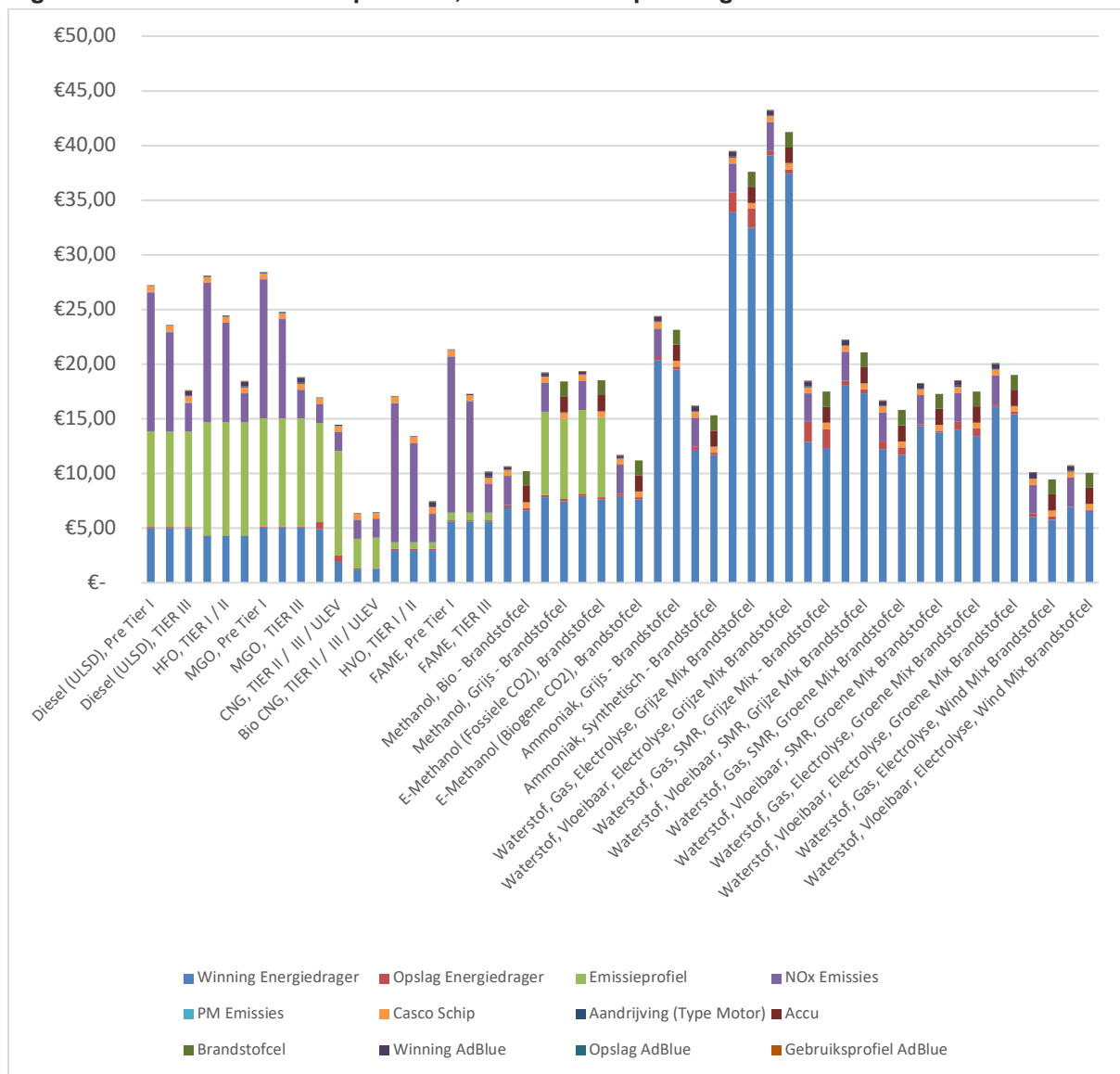
De innovatieve energiedrager e-methanol (fossiele CO₂) scoort vergelijkbaar met fossiele energiedragers. Dit komt doordat zowel de verbrandingsmotor als de brandstofcel fossiele CO₂-emissies hebben in de gebruiksfase. Dit is niet het geval voor de biogene e-methanol welke daarom wel een significant lagere MKI:A2 geeft. Zoals eerder aangegeven wordt hier verder uitweiding aan gegeven in de gevoeligheidsanalyse.

Figuur 5: Overzicht per onderdeel, MKI:A2 per onderdeel per GJ geleverde arbeid zoute werkschepen.



De Figuur 6 geeft hetzelfde totaal overzicht als Figuur 3 maar dan voor de MKI:A1. De MKI:A1 is de huidige MKI-score welke gebaseerd is op andere impact categorieën (met een andere weging) dan de nieuwere MKI:A2. De absolute waarden wijken af, echter is de algemene rangorde vergelijkbaar, afgezien van de biobrandstof varianten welke een lagere MKI:A1 geven dan de RFNBOs.

Figuur 6: Overzicht werkschepen zout, totale MKI:A1 per GJ geleverde arbeid.

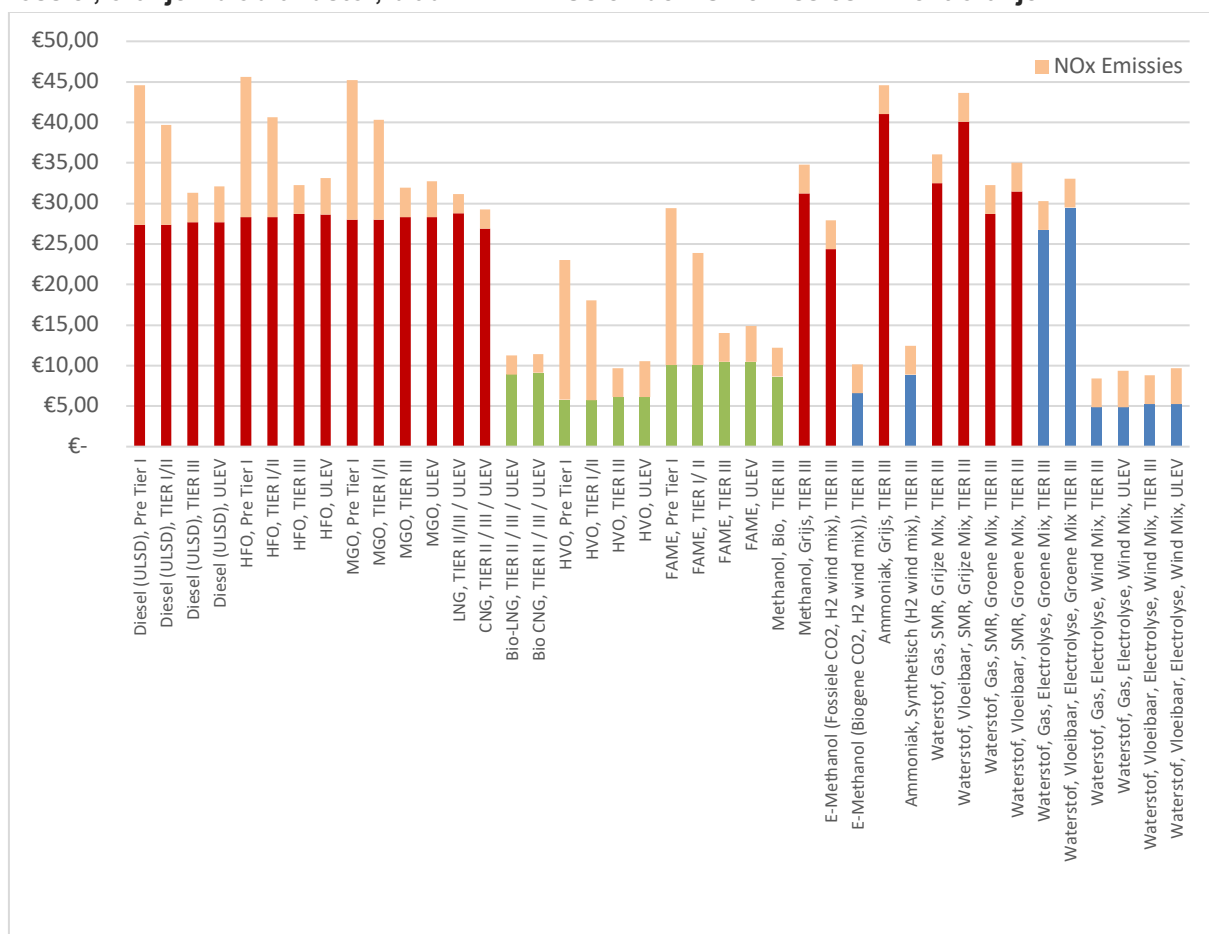


Waterstof

Emissieklassen

In onderstaande figuur zijn alle verbrandingsmotor varianten weergegeven afgezien van de ULEV klassen bij de RFNBOs. De bijdrage van de NOx emissies zijn los weergegeven (licht oranje). De stap van Pre Tier I / II naar TIER III geeft zo'n 30% reductie voor de traditionele energiedragers (Diesel, MGO, HFO), dit komt volledig door de reductie in NOx. De Stage V IWP/IWA limieten voor ULEV geven een marginaal hogere MKI door extra NOx emissies. De fossiele energiedragers scoren slechter dan de biobrandstoffen, zelfs voor een fossiele TIER III versus een biogene Pre Tier I. Wat betreft de RFNBOs zijn alleen energiedragers o.b.v. waterstof elektrolyse wind competitief, dus waterstof (elektrolyse wind) en e-methanol (biogeen) en synthetische ammoniak op basis van H2 elektrolyse wind.

Figuur 7: Alle verbrandingsmotoren in totale MKI:A2 per GJ geleverde arbeid. Per type, rood - fossiel, oranje - biobrandstof, blauw - RFNBOs en de NOx emissies in licht oranje.



Toekomstbeeld

De Figuur 8 geeft een overzicht van alle innovatieve energiedragers (RFNBOs) weer. Voor deze energiedragers is de energiebron cruciaal. Waterstof elektrolyse vanuit grijze stroom geeft hogere milieu impact dan waterstof SMR. Indien de huidige groene stroom mix wordt toegepast ligt de MKI:A2 in de buurt van Diesel. Het voordeel van waterstof komt pas tot uiting wanneer een energiebron met een zeer lage milieu impact wordt toegepast, in dit geval de wind mix (mix land en zee). Meer nuance over het belang van de stroombron komt naar voren in de gevoeligheidsanalyse.

Dit betekent dat een analyse van de toekomstige energiemarkt in relatie met waterstofproductie essentieel is voor de RFNBOs. Indien blijkt dat er geen windenergie toegepast zal worden maar bijvoorbeeld nucleaire energie of zon zal dit effect hebben op de RFNBOs (zie gevoeligheidsanalyse).

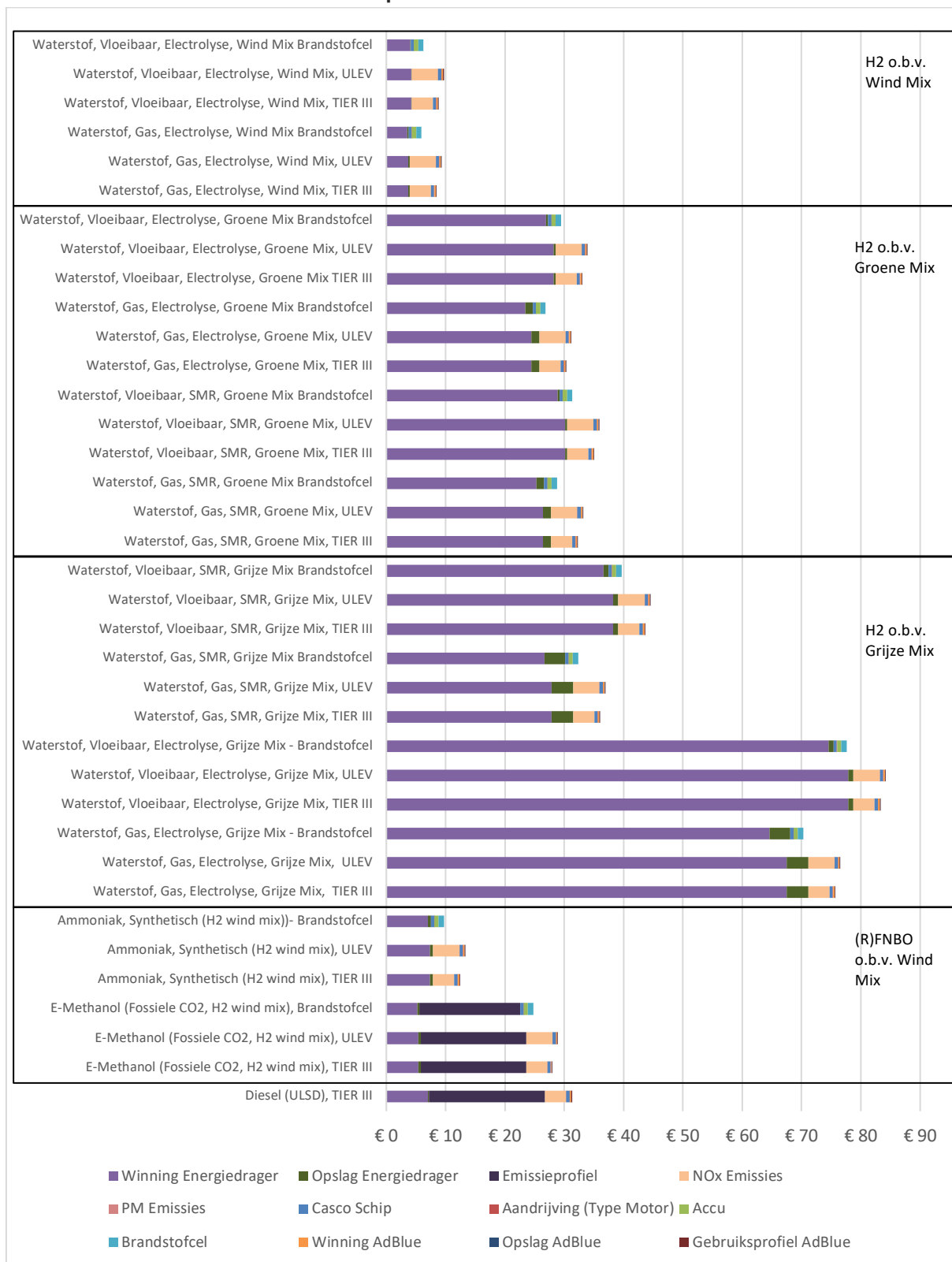
Vloeibare waterstof heeft een hogere MKI dan gasvormige waterstof, dit verschil ligt tussen de 4%-10% afhankelijk van de stroombron voor de compressie (grijs, groen, wind). Ook is er nog onzekerheid omtrent de transport en opslag scenario's voor de waterstof varianten. Dit zal worden uitgediept in de gevoeligheidsanalyse.

De synthetische ammoniak en e-methanol worden geproduceerd uit waterstof. De huidige ammoniak en e-methanol kaarten gaan uit van waterstof elektrolyse wind. Mocht de energiebron hier veranderen heeft dit zeer groot effect op de MKI:A2 van deze energiedragers. Dit wordt verder toegelicht in de gevoeligheidsanalyse.

Zoals eerder aangegeven levert e-methanol (o.b.v. fossiel afgevangen CO₂) geen MKI:A2 reductie vanwege de fossiele-CO₂ emissies in de gebruiksfase dit is niet het geval voor de biogene variant. De biogene-methanol variant scoort daarom aanmerkelijk lager (Figuur 3). Deze e-methanol variant is niet los in Figuur 8 opgenomen vanwege de negatieve MKI van de energiedrager welke de figuur lastig leesbaar zal maken. Een verdere vergelijking met e-methanol o.b.v. Direct-Air-Capture (DAC) wordt uitgediept in de gevoeligheidsanalyse.



Figuur 8: Alle innovatieve energiedragers, per onderdeel MKI:A2 per GJ geleverde arbeid versus Diesel voor de zoute werkschepen.



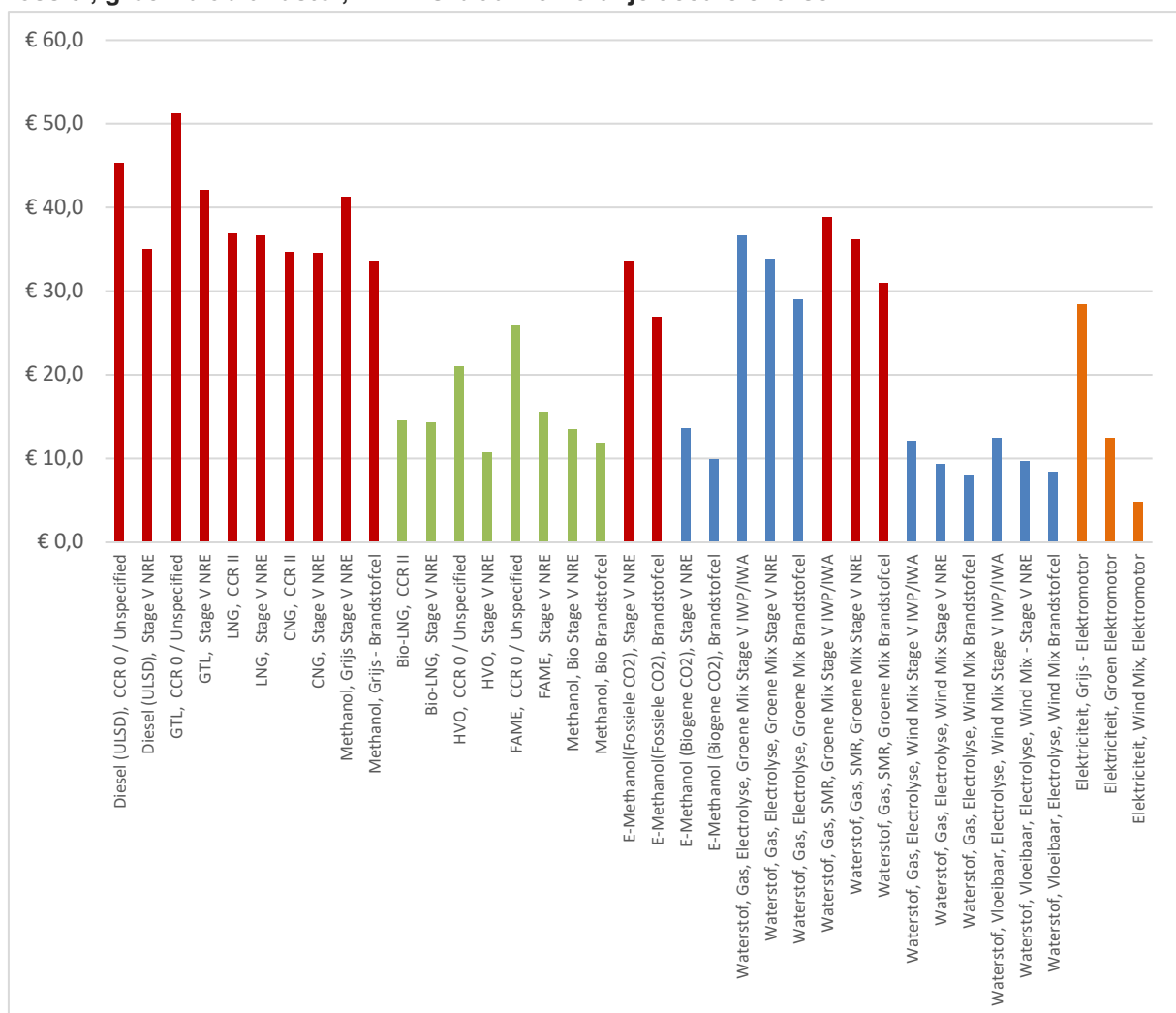
5.2.2 Werkschepen zoet analyse

Onderstaande figuren geven een beeld van de verhouding tussen alle energiedragers per GJ geleverde arbeid voor de zoete werkschepen (Figuur 9 en Figuur 12 voor MKI:A1). Om een helder beeld te geven is er gekozen voor een beperkte selectie. Voor de verbrandingsmotoren zijn alleen de beste en slechtste emissie klassen weergegeven en voor alle waterstof varianten alleen de brandstofcellen.

Wat betreft de huidige beschikbare brandstoffen is er weinig verschil tussen de fossiele varianten. Wel heeft de overgang naar Stage V een zeer grote invloed op de MKI:A2. Met de huidige modellering scoren de biobrandstoffen een stuk gunstiger, met name bio-LNG, bio-CNG, HVO en bio-methanol (Stage V NRE).

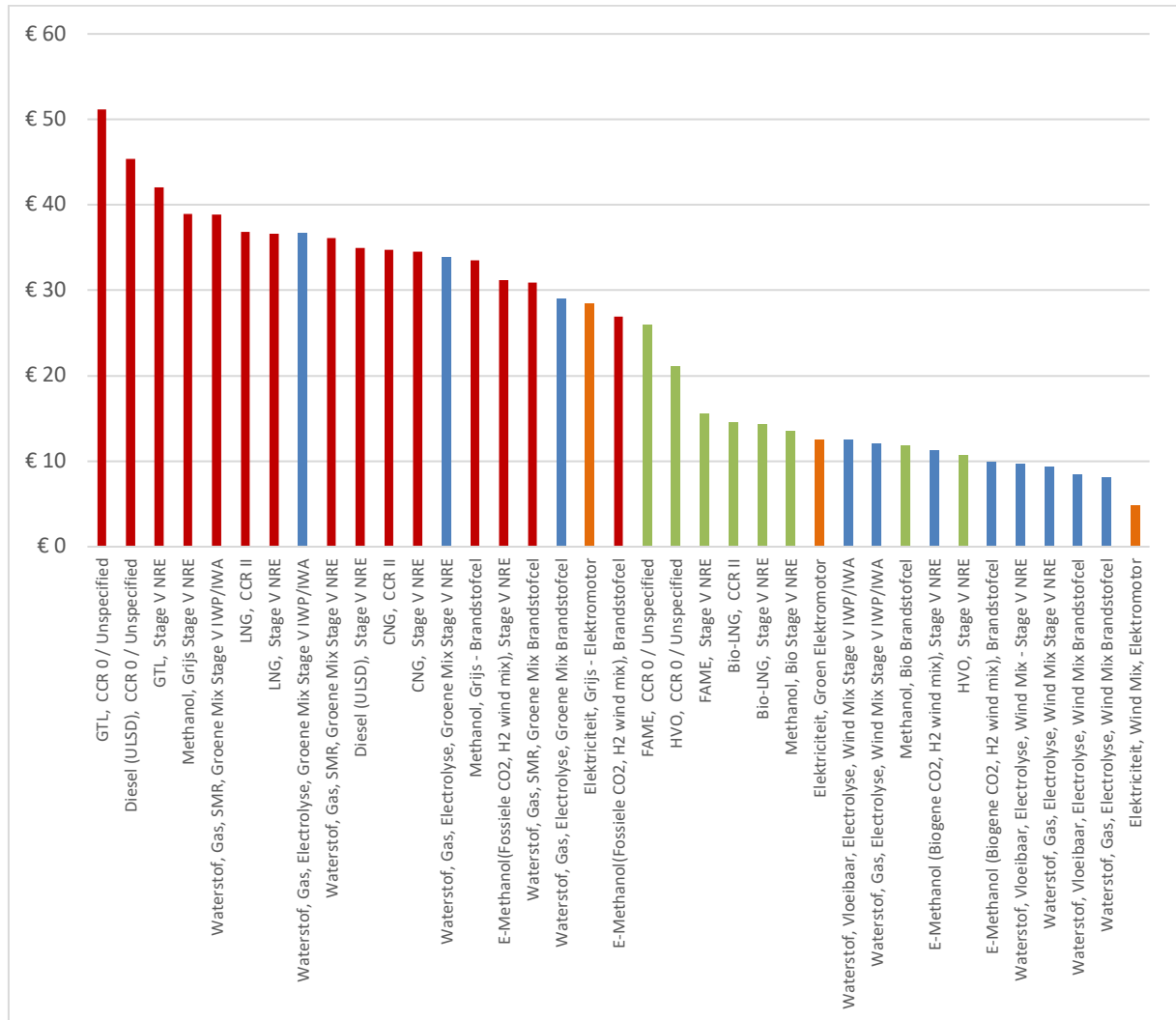
Accu elektrische schepen op groene stroom (huidige groene mix) scoren vergelijkbaar met de biobrandstoffen. Indien er windenergie wordt toegepast geeft accu elektrisch de laagste MKI:A2. Verder naar de toekomst kijkend scoort waterstof verkregen middels elektrolyse uit windenergie het laagst (tussen elektrisch groene-mix en wind-mix in). Het verschil tussen vloeibaar en gasvormige waterstof en tussen de verbrandingsmotoren en de brandstofcel wordt later in detail weergegeven.

Figuur 9: Overzicht werkschepen zoet, totale MKI:A2 per GJ geleverde arbeid. Per type, rood is fossiel, groen biobrandstof, RFNBO blauw en oranje accu-elektrisch.



Onderstaande figuur geeft dezelfde selectie als hierboven in Figuur 9 maar dan gerangschikt van hoogste naar laagste MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. Aan de linkerkant (hoogste MKI:A2) zitten met name de fossiele energiedragers en de waterstof, elektrolyse (groen) verbrandingsmotoren. Het middenstuk bestaat met name uit de biobrandstoffen en enkele RFNBO-verbrandingsmotoren. Vervolgens komen na elektrisch varen op groene stroom alle best presterende energiedragers, dit is een enkele biobrandstof maar met name de varianten waterstof elektrolyse o.b.v. wind en e-methanol biogeen in een brandstofcel scoren zeer goed. De laagste variant is elektrisch varen o.b.v. windenergie.

Figuur 10: Overzicht van hoog naar laag voor selectie zoete werkschepen, MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. Rood – Fossiel, Groen – biobrandstof, blauw – RFNBO en Oranje - Elektrisch.



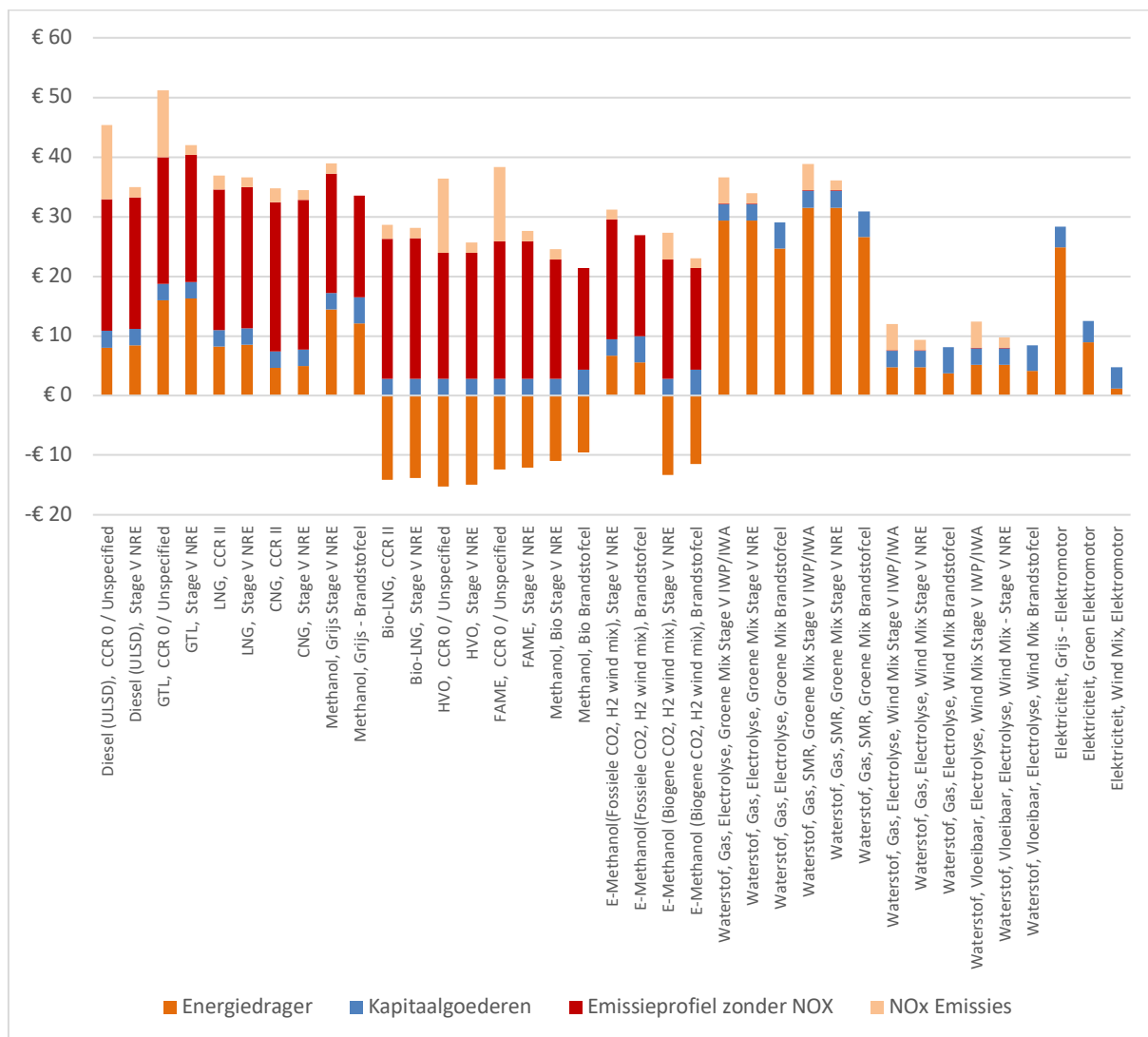
In Figuur 11 wordt bovenstaande vergelijking nogmaals herhaald maar dan met uitsplitsing naar de drie hoofdonderdelen (energiedrager, gebruiksprofiel (en NOx los) en kapitaalgoederen). Hierin is te zien dat bij de traditionele brandstoffen het gebruiksprofiel dominant is, dit komt met name door de fossiele CO2 emissies. De invloed van de NOx emissies is te zien in de afname van pre CCR naar Stage V (licht oranje in onderstaande figuur). De productie van de energiedrager draagt in mindere mate bij.

Voor de biobrandstoffen geldt hetzelfde als voor de fossiele brandstoffen. Echter geeft de productie van de energiedrager een negatieve MKI:A2 vanwege de opname van biogene CO₂. Netto over de levenscyclus hebben de biobrandstoffen een biogene CO₂ balans van 0. Dit maakt dat de totale MKI-scores voor de biobrandstoffen lager uitkomen.

Bij waterstof ligt het zwaartepunt bij de productie van de energiedrager. Met name waterstof o.b.v. windenergie geeft significante MKI-reductie t.o.v. de biobrandstoffen. De brandstofcel varianten scoren relatief gunstiger voor de zoete werkschepen vanwege het rendement verschil van 7% tussen de verbrandingsmotoren en de brandstofcellen.

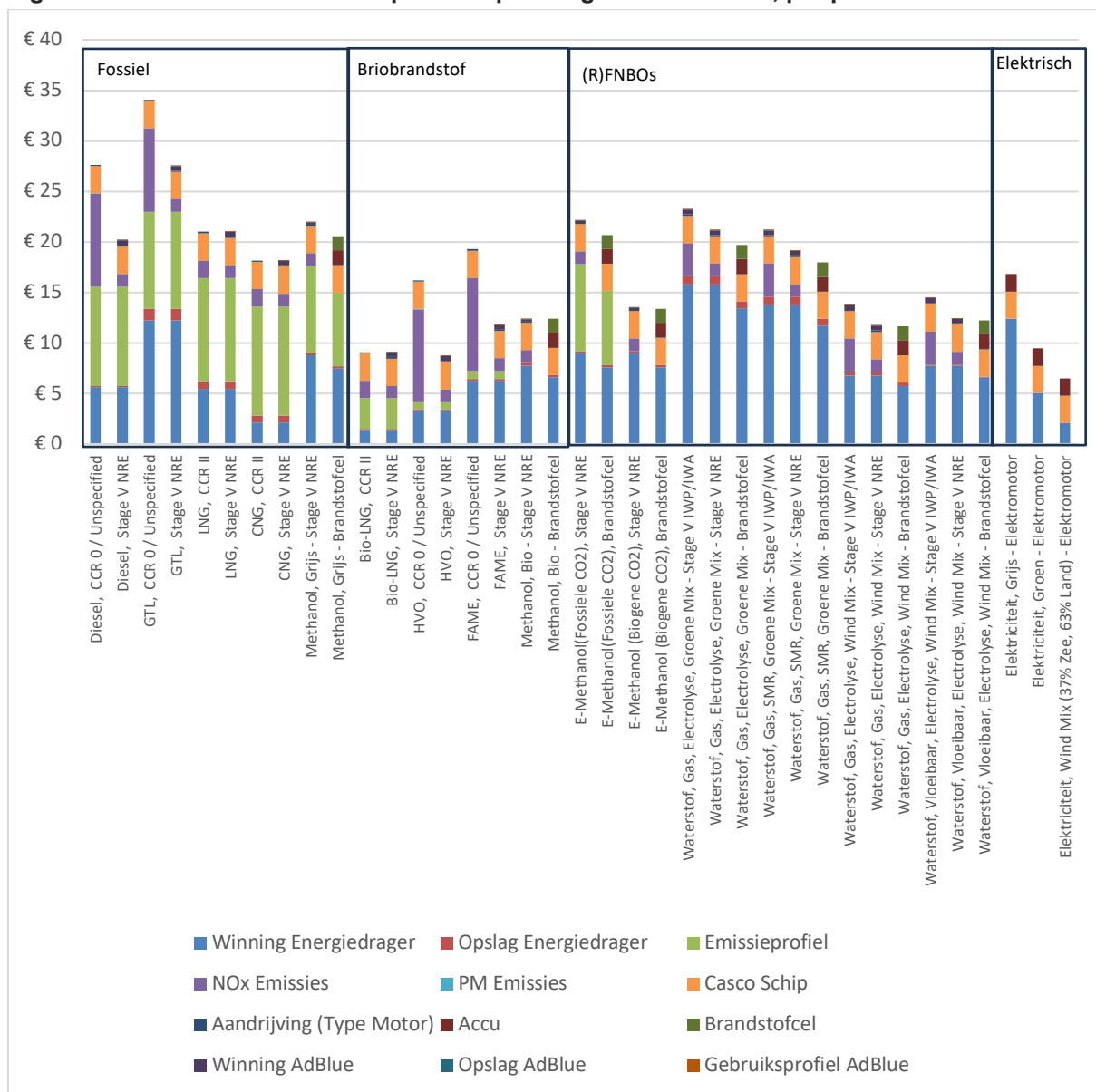
Bij elektrische schepen is de stroombron doorslaggevend, waarbij groene stroom al competitief is met de biobrandstoffen. Naarmate de energiedrager zelf afneemt in MKI:A2 neemt de relatieve bijdrage van de kapitaalgoederen toe. Tot een punt waar de MKI:A2 van elektrisch (wind) voornamelijk uit kapitaalgoederen bestaat.

Figuur 11: Werkschepen zoekt, overzicht per onderdeel, MKI:A2 per onderdeel per GJ geleverde arbeid.



Figuur 12 geeft hetzelfde totaal overzicht als Figuur 9 maar dan voor de MKI:A1. De MKI:A1 is de huidige MKI-score welke gebaseerd is op andere impact categorieën (met een andere weging) dan de MKI:A2. De absolute waarden wijken af, echter is de algemene rangorde vergelijkbaar. De H2-elektrolyse wind varianten scoren echter hoger dan enkele biobrandstof varianten. Verder ligt het rendement van de brandstofcel 7% hoger dan de verbrandingsmotoren (zoals beschreven in Tabel 3). Hierdoor is er minder energiedrager nodig per GJ-geleverde arbeid en scoort bij dezelfde energiedrager de brandstofcel beter dan de verbrandingsmotor.

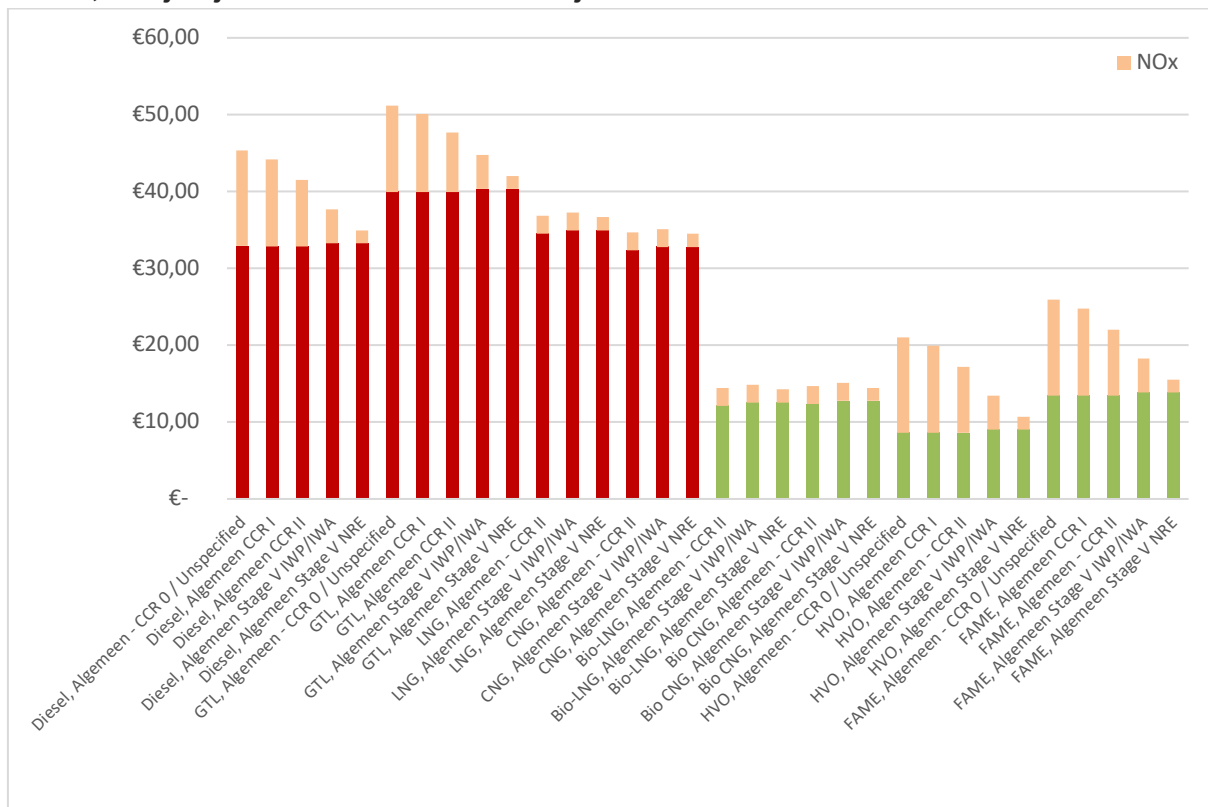
Figuur 12: MKI:A1 voor werkschepen zoet per GJ-geleverde arbeid, per product onderdeel.



Emissieklassen

De verschillen tussen alle CCR en Stageklassen staan weergegeven in Figuur 13. Deze figuur geeft de MKI:A2 per GJ geleverde arbeid weer voor alle reguliere brandstoffen (fossiel en biogeen). De bijdrage van de NOx emissies zijn los weergegeven (licht oranje).

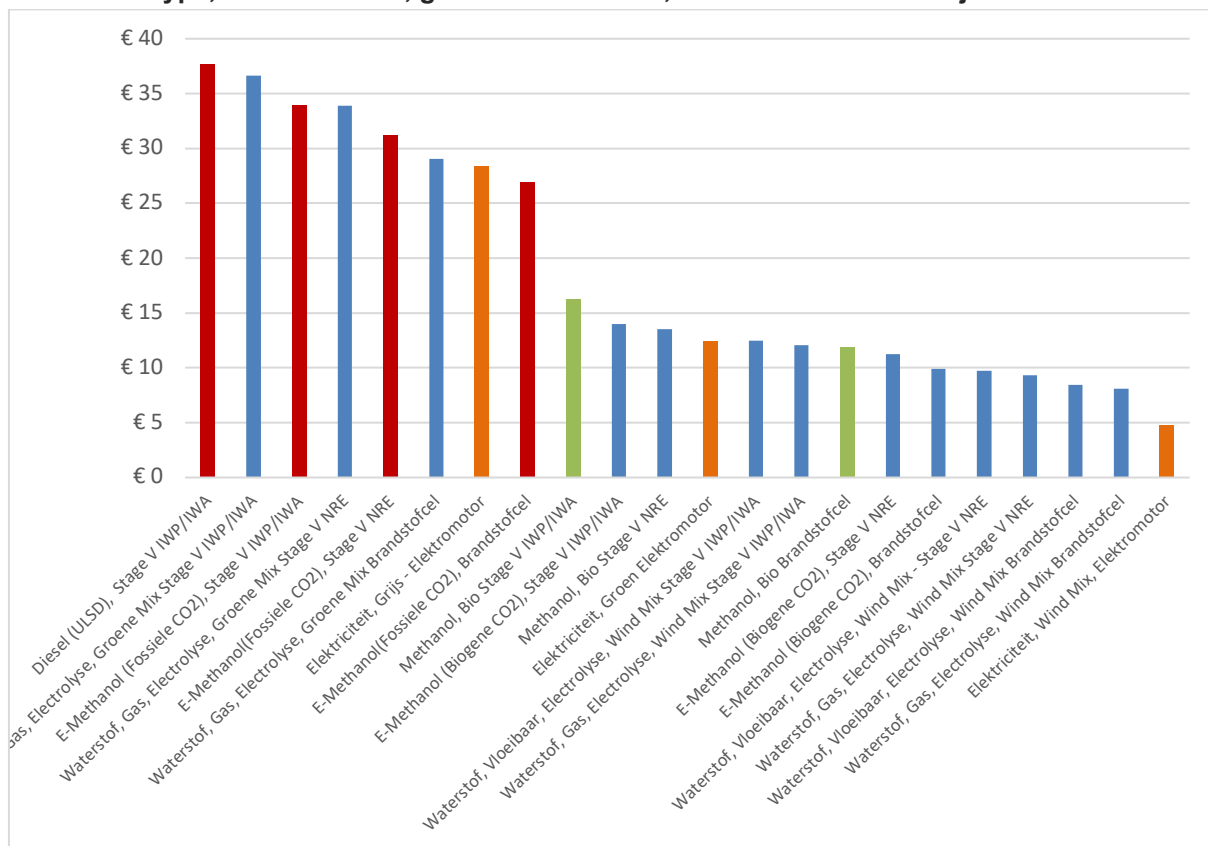
Figuur 13: MKI:A2 zoete werkschepen per emissieklasse, per GJ geleverde arbeid. Rood is fossiel, oranje zijn biobrandstof en licht oranje de Nox-emissies.



Toekomstbeeld

Onderstaande figuur geeft een vergelijking weer tussen de beste variant Diesel (Stage V) en een selectie aan innovatieve energiedragers (RFNBOs). Waterstof uit groene elektrolyse is competitief (op MKI:A2) met Diesel maar wel ongunstiger dan de biobrandstoffen. De verlaging in MKI met name door waterstof o.b.v. elektrolyse wind en e-methanol (biogene CO2 o.b.v. H2 wind) welke de MKI reduceert tot onder die van de biobrandstoffen. In deze verlaagt de brandstofcel de MKI nog verder, vanwege de hogere efficiëntie van de aandrijving i.v.m. de verbrandingsmotor. De laagste MKI wordt behaald met accu elektrisch o.b.v. windenergie.

Figuur 14: Ranking MKI:A2 van de innovatieve energiedragers t.o.v. Diesel, per GJ geleverde arbeid. Per type, rood is fossiel, groen biobrandstof, blauw RFNBO en oranje elektrisch.



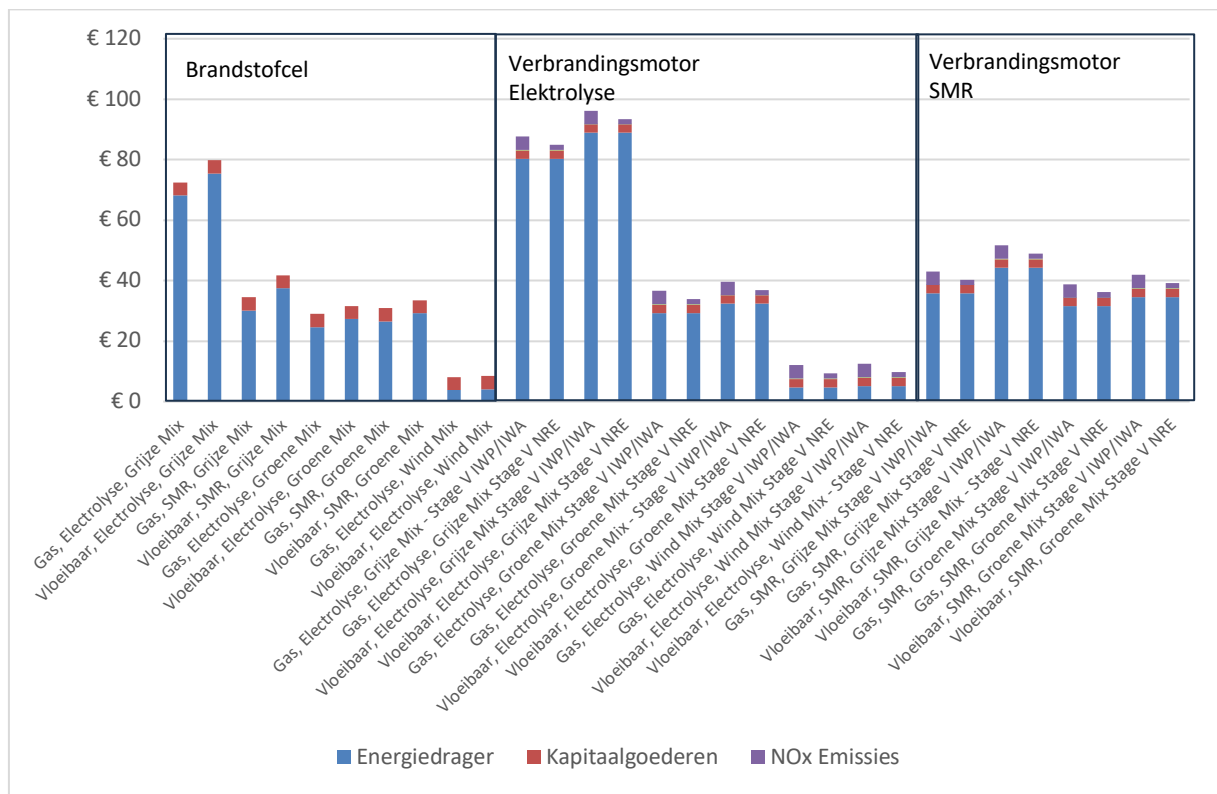
Waterstof detail

Voor de energiedragers die zowel in een verbrandingsmotor als een brandstofcel gebruikt kunnen worden valt voor zoete werkschepen de verbrandingsmotor variant hoger uit. Dit komt door de lagere efficiëntie van de tweetakmotoren, welke 40% betreft t.o.v. 47% voor de brandstofcel (Bij de zoute schepen is dit verschil kleiner, namelijk 45% versus 47%) (zie Tabel 3 voor onderbouwing). Daarnaast dragen de NOx emissies veel bij aan de MKI:A2 (€2,71/GJ), dit is tussen de 4% en de 30% afhankelijk van de energiedrager/stroombron.

De afschrijving van de brandstofcel verhoogt de MKI van de kapitaalgoederen enigszins (€0,9 MKI/GJ). In totaal draagt de brandstofcel tussen de 1% en de 10% bij aan de MKI:A2, deze toename is vergelijkbaar met de reductie als gevolg van het hogere rendement (t.o.v. de verbrandingsmotor). De afschrijving van de brandstofcel is gebaseerd op een totale levensduur van 20.000 uur een gemiddeld jaar verbruik en uur inzet van een H2-hopperzuiger. In deze data zit meegenomen dat de brandstofcel niet elk uur op 100% capaciteit draait. Afhankelijk van bovenstaande parameters kan de afschrijving van de brandstofcel meerdere factoren afwijken afhankelijk van de hierboven genoemde aannamen. Dit wordt toegelicht in de gevoeligheidsanalyse.

De vloeibare waterstof variant heeft een hogere MKI dan de gasvormige variant. Dit komt door de additionele energie voor compressie en opslag. Dit effect speelt een minder grote rol naarmate er duurzamere stroombronnen worden gebruikt voor deze opslag en compressie (e.g. wind i.p.v. grijze stroom). Ook is er onzekerheid omtrent de scenario's voor transporten van gasvormige waterstof in module-A4. Dit kan het verschil tussen gasvormig en vloeibaar nog meer nivelleren.

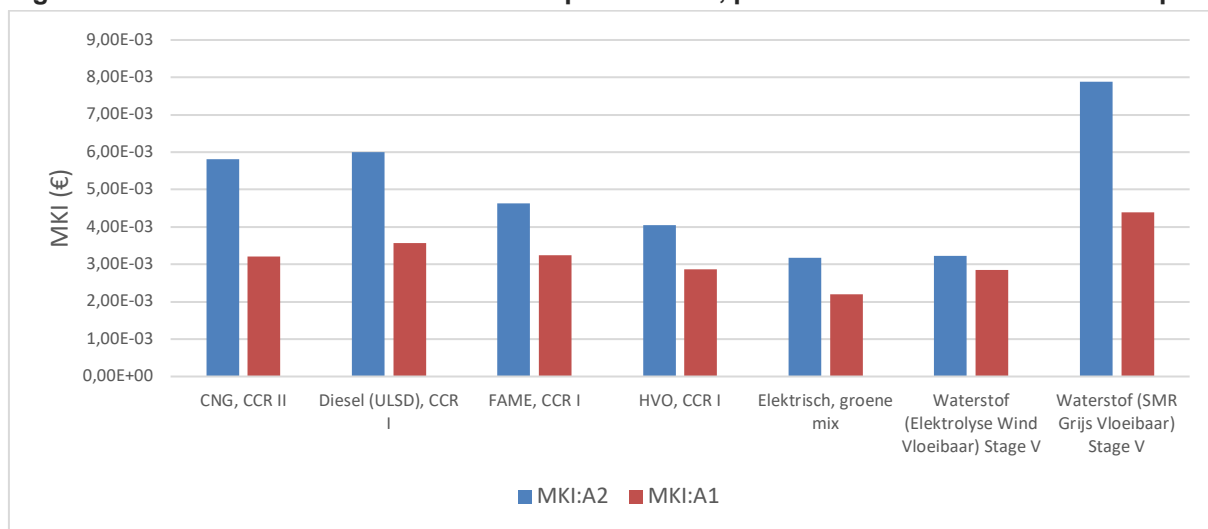
Figuur 15: Bijdrage van onderdelen aan MKI:A2 voor alle waterstof varianten per GJ geleverde arbeid.



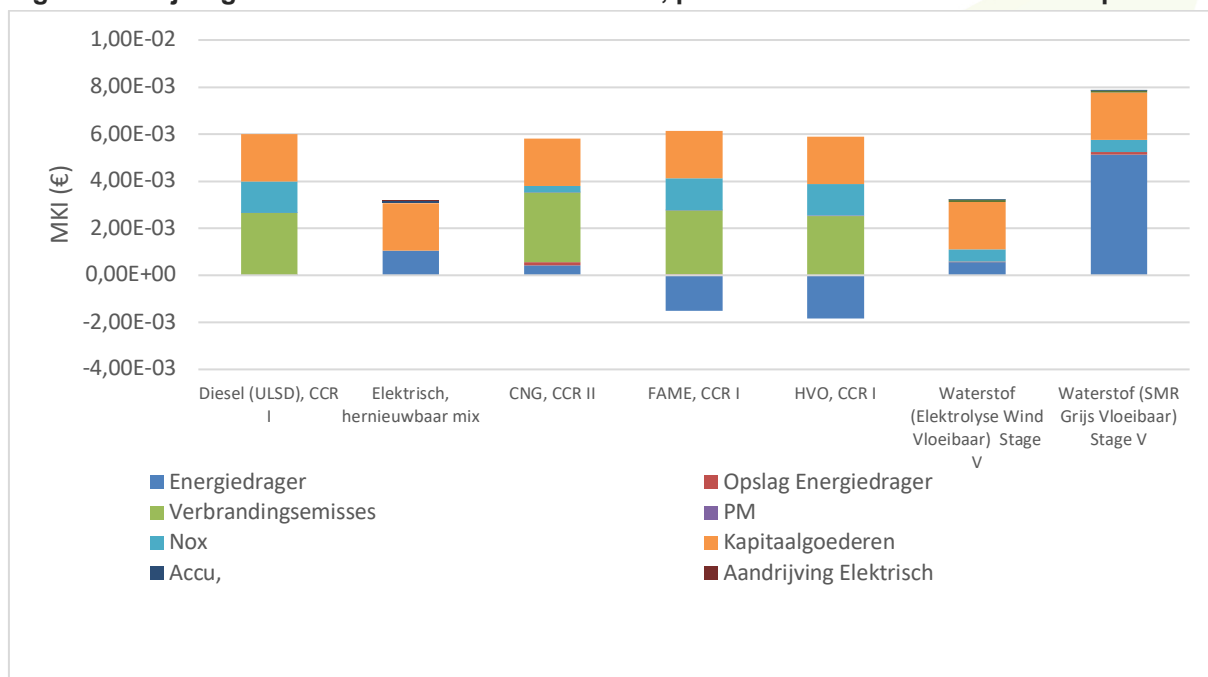
5.2.3 Transport binnenvaart

De transport kaarten volgen veelal dezelfde basisprocessen als de werkschepen, maar met de functionele eenheid tonkm, gebaseerd op een inschatting van het brandstofverbruik per tonkm. Uitsluitend de kapitaalgoederen zijn anders t.o.v. de werkschepen. Zo zijn haveninfrastructuur en vaarwegen ook meegenomen. Dit zal verder naar voren komen in de opvolgende figuren. Onderstaande figuur geeft de totale MKI:A1 en MKI:A2 weer voor alle cat.3. binnenvaart transport kaarten. Zowel MKI:A1 als MKI:A2 volgen dezelfde trend. Waar elektrisch (groenestroom-mix) het best scoort gevolgd door waterstof elektrolyse wind (Stage V) en HVO CCR I.

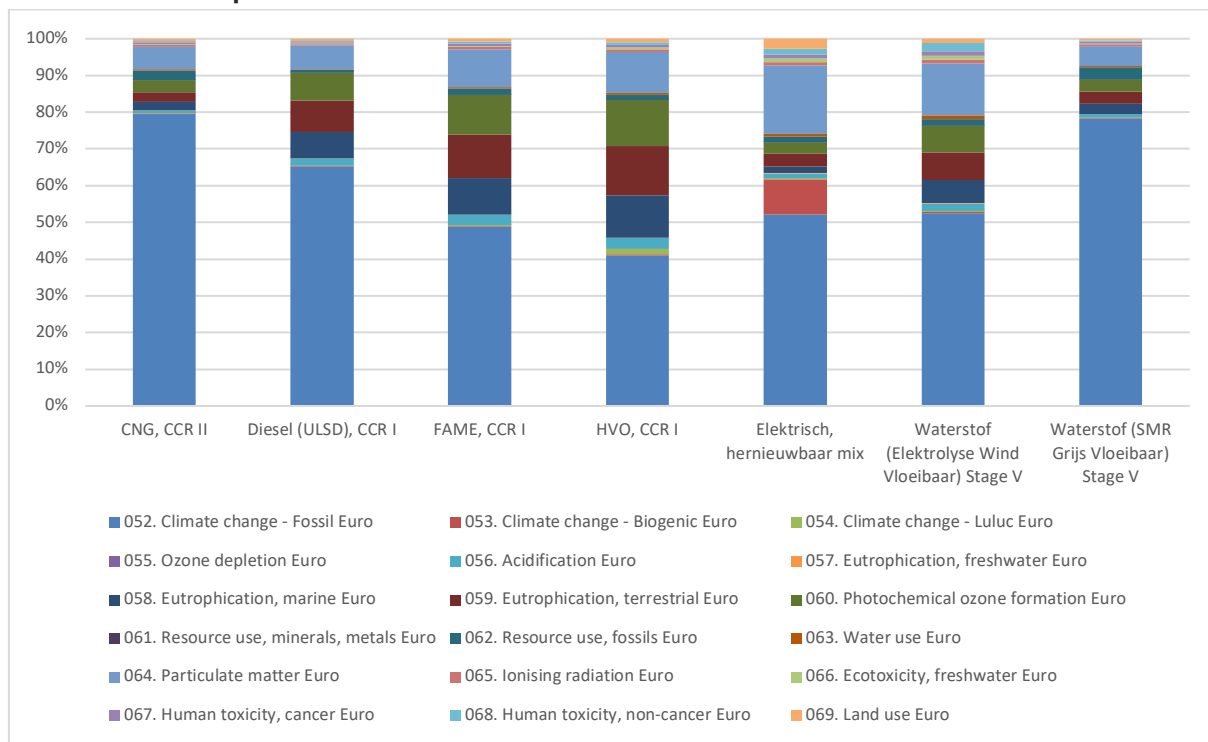
Figuur 16: MKI:A1 en MKI:A2 voor alle transport kaarten, per tonkm voor binnenvaart transport.



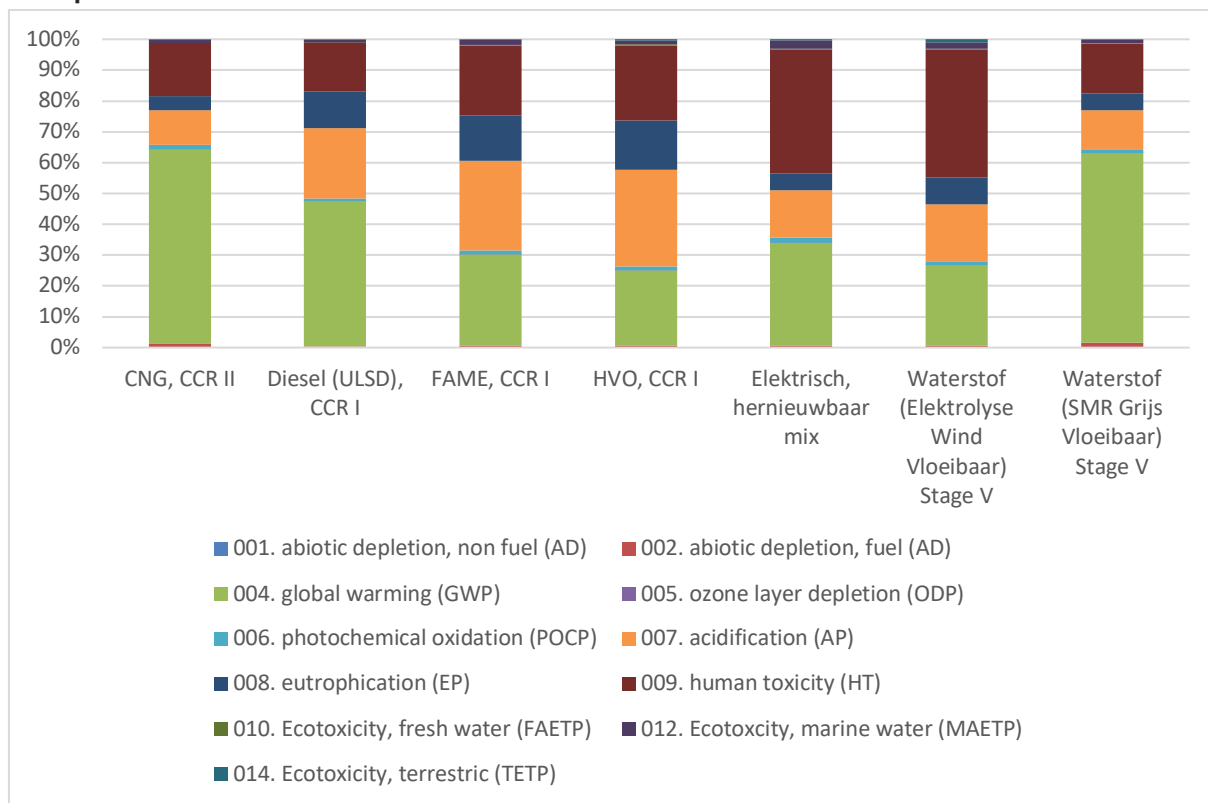
Figuur 17: Bijdrage van alle onderdelen aan MKI:A2, per tonkm voor binnenvaart transport.



Figuur 18: Bijdrage van EN15804:A2 impact categorieën aan de MKI:A2, per tonkm voor binnenvaart transport.

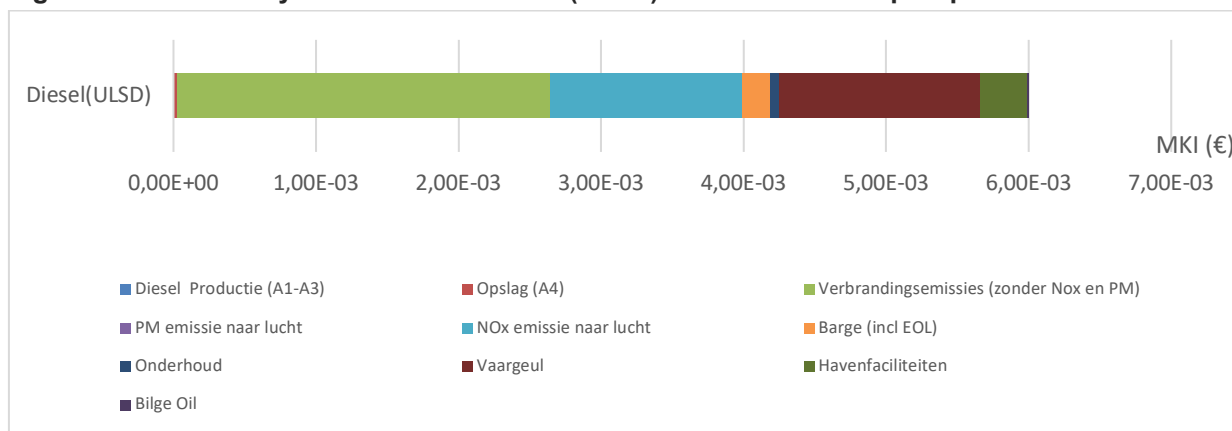


Figuur 19: Bijdrage van alle impact categorieën aan MKI:A1, per tonkm voor binnenvaart transport.



Onderstaande figuur geeft een overzicht van de MKI:A2 bijdrage van de diverse onderdelen aan de MKI:A2 per tonkm voor Diesel (ULSD) binnenvaart transport. Hierin komen de diverse onderdelen van de kapitaalgoederen ook naar voren. De kapitaalgoederen komen in minder mate door het schip maar met name door het vaargeulonderhoud. Het vaargeulonderhoud is meegenomen om consistent te blijven met Ecolnvent. Dit onderhoud draagt voor 24% bij aan de totale MKI:A2 voor binnenvaart transport Diesel en voor 70% aan de kapitaalgoederen. Voor variant met de laagste MKI:A2, elektrisch varen groene stroom, draagt het vaargeulonderhoud zelfs voor 44% bij aan de totale MKI:A2. De MKI van het vaargeulonderhoud wordt met name veroorzaakt door materiaalgebruik (beton en stalen damwanden). In een vervolgproject kunnen deze specifieke parameters geïdentificeerd kunnen om een beter beeld te verkrijgen van de vaargeul onderhoud werkzaamheden.

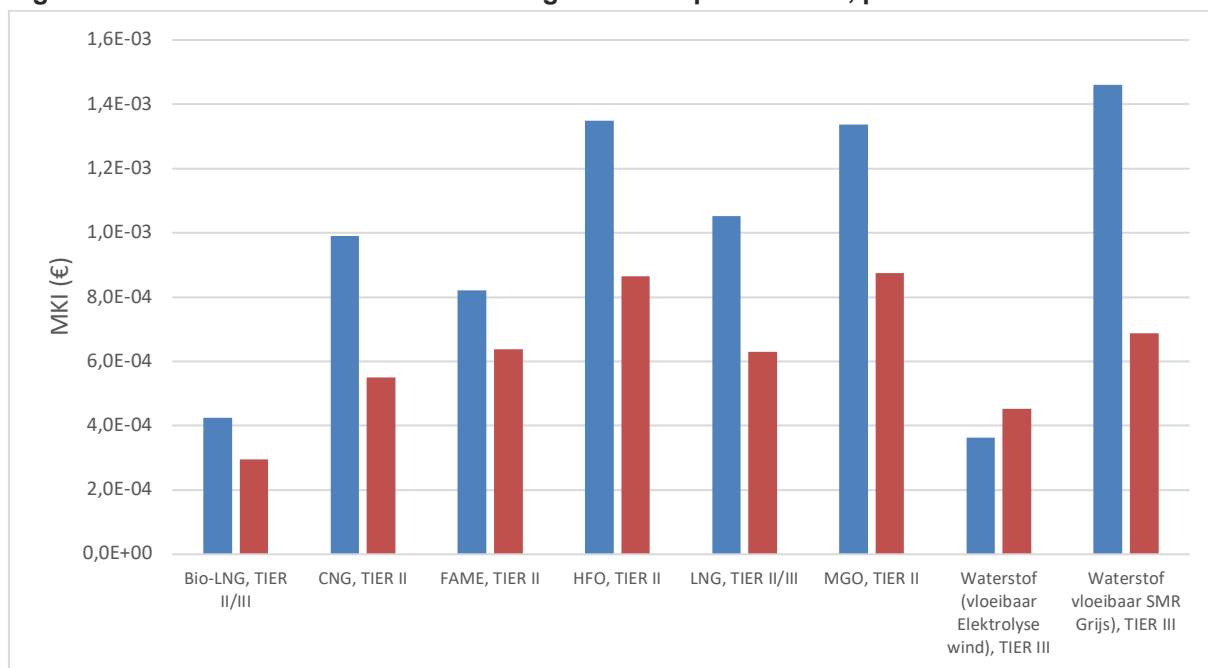
Figuur 20: Detail analyse van MKI:A2 Diesel (ULSD) binnenvaart transport per tonkm.



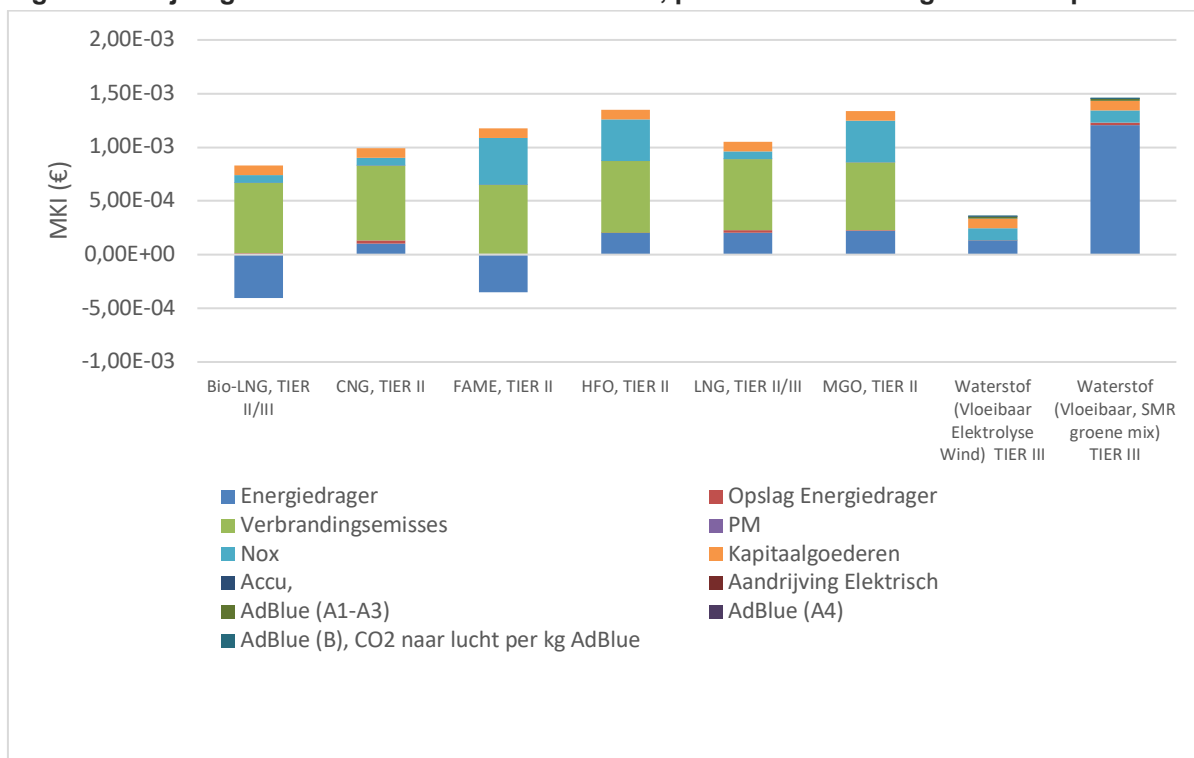
5.2.4 Transport zeegaand

De transport kaarten volgen dezelfde basisprocessen als de werkschepen. Uitsluitend de kapitaalgoederen zijn anders t.o.v. de werkschepen, zo is haveninfrastructuur ook meegenomen. Dit zal verder naar voren komen in de opvolgende figuren. Onderstaande figuur geeft de totale MKI:A1 en MKI:A2 weer voor alle cat.3. zeegaande transport kaarten. Zowel MKI:A1 als MKI:A2 volgen dezelfde trend, waar bio-LNG het best scoort gevolgd door waterstof elektrolyse wind (Stage V) en CNG Tier II.

Figuur 21: MKI:A1 en MKI:A2 voor alle zeegaand transport kaarten, per tonkm.

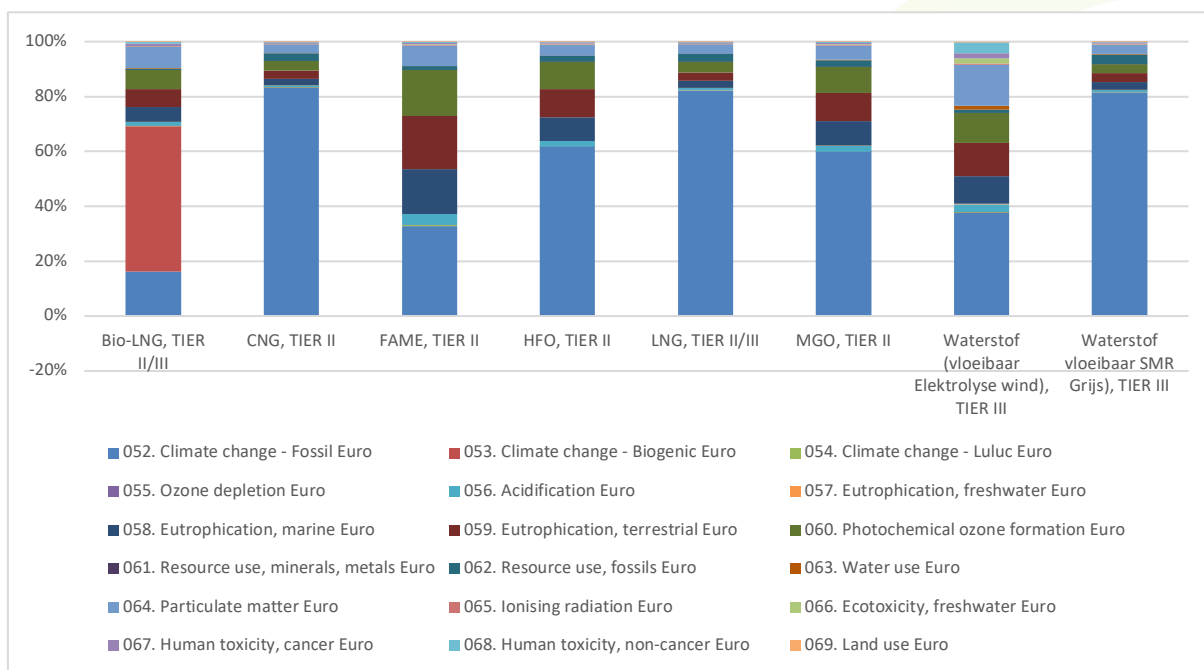


Figuur 22: Bijdrage van alle onderdelen aan MKI:A2, per tonkm voor zeegaand transport.

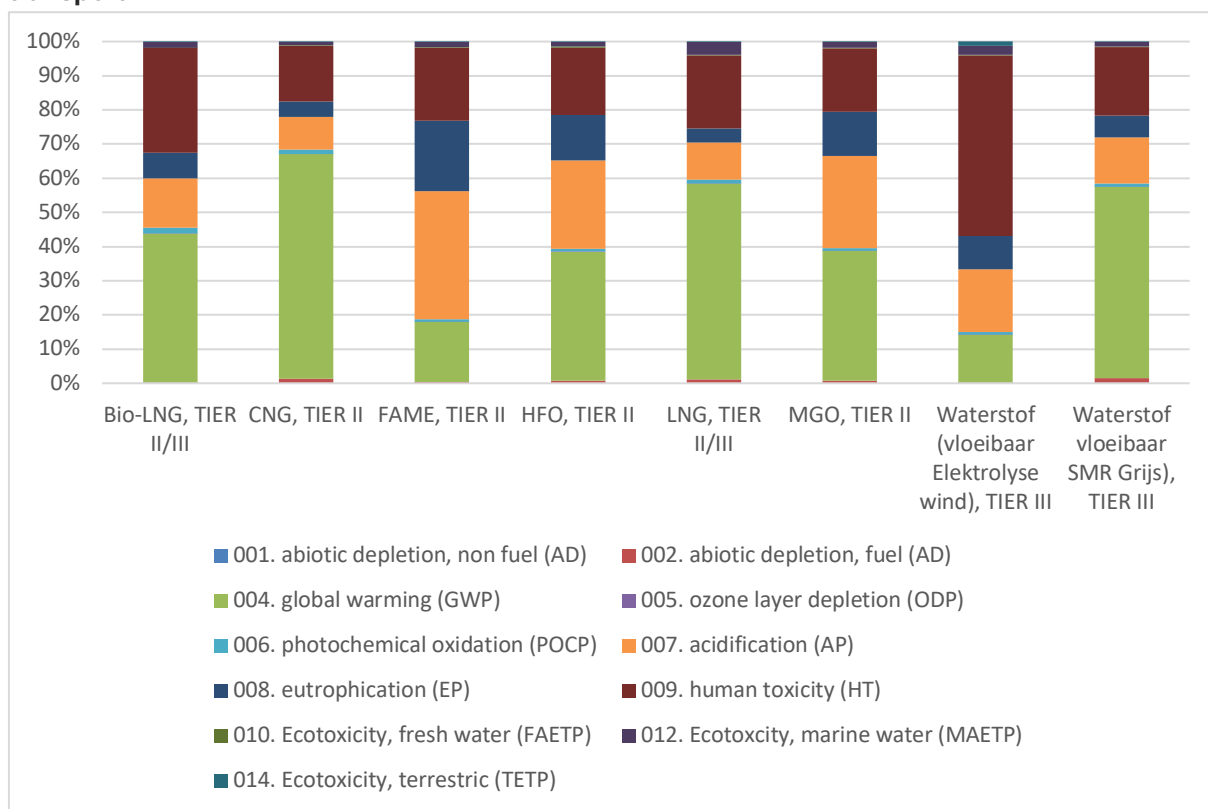


Klimaatverandering is de grootste bijdrager aan de MKI:A2 voor de meeste energiedragers. Opvallend is dat voor bio-LNG de biogene klimaatverandering sterk bijdraagt, dit komt door methaan emissies in de gebruiksfase.

Figuur 23: Bijdrage van EN15804:A2 impact categorieën aan de MKI:A2, per tonkm voor zeegaand transport.

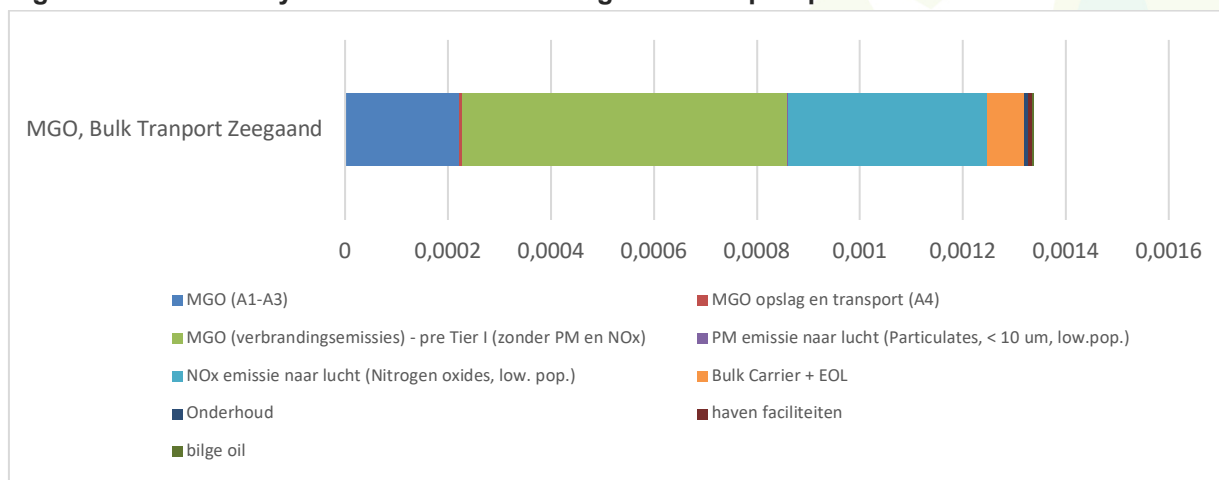


Figuur 24: Bijdrage van alle impact categorieën aan MKI:A1, per tonkm voor zeegaand transport.



Onderstaande figuur geeft een overzicht van de MKI:A2 bijdrage van de diverse onderdelen aan de MKI:A2 per tonkm voor MGO zeegaand transport. Hierin komen de diverse onderdelen van de kapitaalgoederen ook naar voren. Het schip zelf draagt met name bij aan de MKI:A2 van de kapitaalgoederen en de havenfaciliteiten dragen maar marginaal bij.

Figuur 25: Detail analyse van MKI:A2 MGO zeegaand transport per tonkm.



5.3 Gevoeligheidsanalyse

In dit hoofdstuk zal de invloed van diverse datapunten op de totale MKI:A2 getoetst worden. Dit geeft weer hoe gevoelig de resultaten zijn voor verandering van onderliggende aannames. Dit betreft datapunten met welke een grote impact kunnen hebben op de investeringskeuzes voor toekomstige energiedragers. Deze vergelijkingen zijn met name indicatief om een beeld te krijgen van de implicaties van dergelijke onzekerheden. Met name voor alle RFNBO's is er nog veel onduidelijk, dit komt zowel door het TRL als door de keten die de energiedragers zal gaan leveren.

Voorbeelden zijn de efficiëntie van aandrijflijn, Het doel is om de lezer een beeld te geven van de onderliggende mechanismen en het effect hiervan op de spreiding. De lezer dient deze onzekerheden in acht te nemen en kritisch te zijn bij het interpreteren van de figuren alvorens deze mee te wegen in interne besluitvorming.

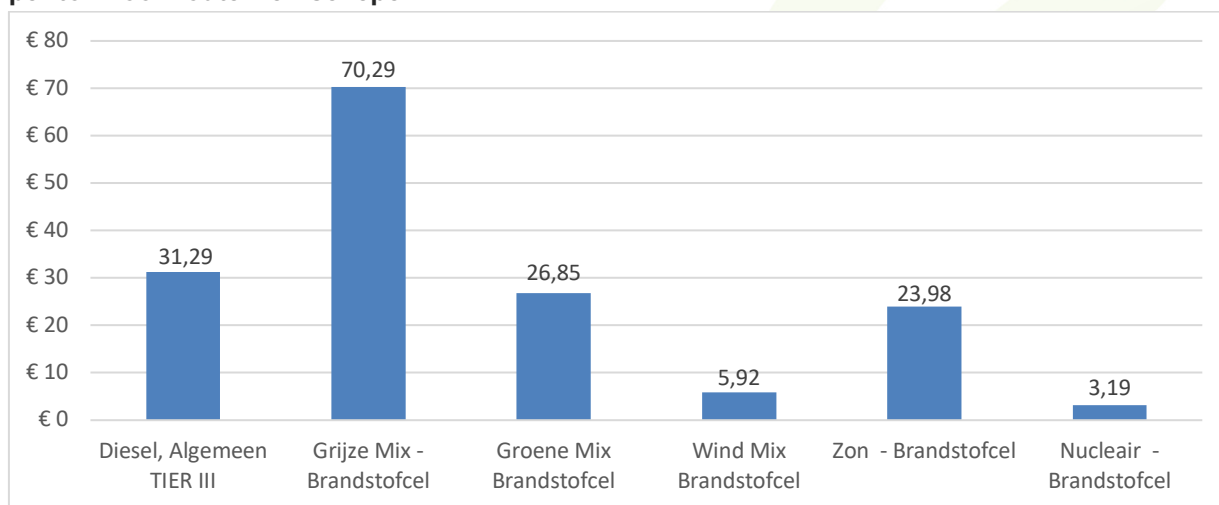
Energiebron voor waterstof elektrolyse

Zoals beschreven in de zwaartepunt analyse is de stroombron voor de waterstofproductie (elektrolyse) essentieel voor alle RFNBO's. Niet alleen voor directe toepassing van waterstof maar ook voor productie van synthetische ammoniak of e-methanol.

De onderstaande figuur geeft weer dat de milieu impact van zonne-energie te hoog is om waterstof te produceren met een voldoende lage MKI. Voor zon is er wel nog ruimte voor optimalisatie. Indien er bijvoorbeeld zonne-energie uit Spanje wordt gebruikt, kan door de hogere opbrengst per paneel de MKI van de zon variant nog zo'n 35% afnemen. Het is onduidelijk of windenergie werkelijk een pragmatische oplossing zal zijn voor waterstof productie. Overkoepelend is het daarom belangrijk om een beeld te verkrijgen van de toekomstige ontwikkelingen in de waterstofproductie.

Andere alternatieven voor elektriciteit is stroom opgewekt middels nucleaire energie of waterkrachtcentrales. Deze laatste twee geven een constant vermogen en geven een nog lagere MKI:A2 dan elektrolyse o.b.v. windenergie. De MKI:A2 van H₂, gas, elektrolyse, nucleair, TIER III betreft €3,19 per ton, zo'n 70% lager dan een HVO TIER III. Naast de stroombron is er in theorie wellicht ook nog een slag te maken in het rendement van de elektrolyse zelf. Hier is echter geen zicht op en geen onderzoek naar gedaan binnen deze LCA-studie.

Figuur 26: Vergelijking tussen diverse stroombronnen voor waterstof, gas, elektrolyse. MKI:A2 per ton voor zoute werkschepen.

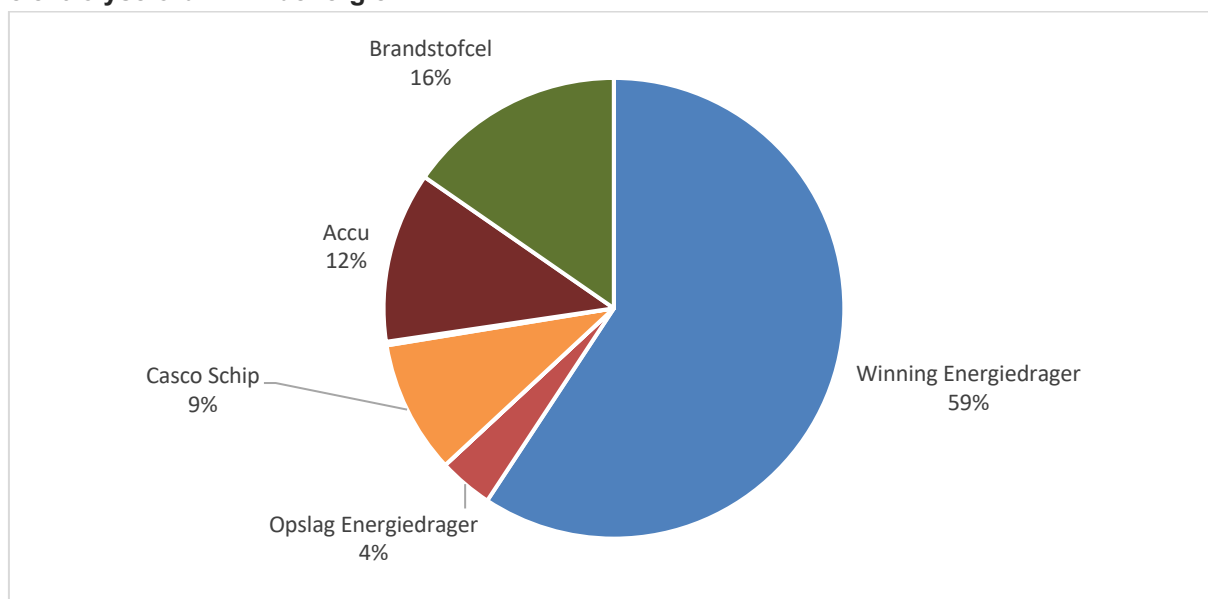


Brandstofcel afschrijving

De relatieve bijdrage van de kapitaalgoederen nemen sterk toe naarmate de MKI van de energiedrager en het gebruiksprofiel afnemen. Voor waterstof Elektrolyse wind is de bijdrage van de brandstofcel 16% (Figuur 27). Deze bijdrage is redelijk conservatief aangezien deze is gebaseerd op jaar gemiddelde verbruiksdata. De brandstofcel is afgeschreven op het aantal draaiuren maar zal niet alle uren op vol vermogen hebben gedraaid. In de praktijk zullen de belasting en de levensduur met elkaar verbonden zijn. Indien de levensduur van 20.000 behaald wordt op vol vermogen zal de afschrijving maximaal een factor 10 kunnen afnemen t.o.v. de huidige waarden.

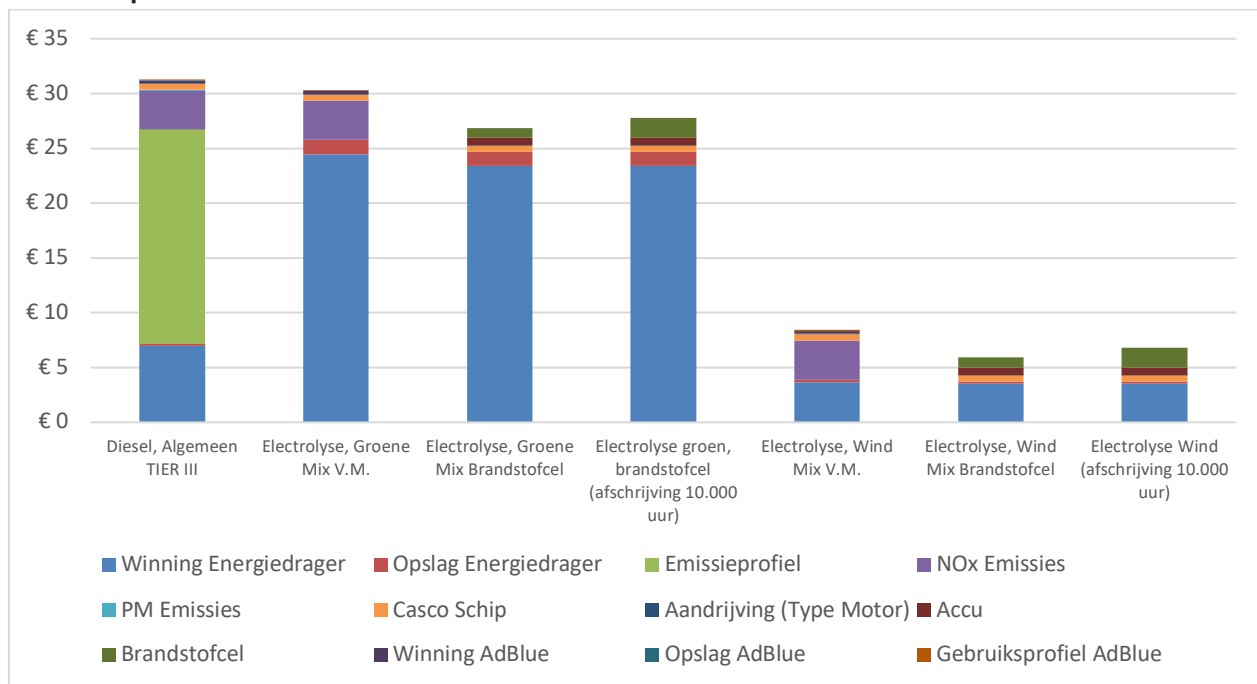
De levensduur van 20.000 uur wordt door de huidige markt opgegeven echter is dit nog breed onderbouwd met praktijk data. De inschatting is dat de 20.000 uur een toekomstbeeld is welke naar waarschijnlijkheid in de komende 10 jaar behaald zal worden. Echter ligt volgens TNO de huidige aangetoonde levensduur eerder in de nabijheid van de 10.000 uur. In de opeenvolgende figuren wordt weergegeven wat het effect is van het aanpassen van de brandstofcel levensduur naar 10.000 uur, wat tot een verdubbeling van de bijdrage van de brandstofcel zal leiden. Dit is een indicatieve worst case inschatting, zoals hierboven beschreven kan de bijdrage in de toekomst met meer praktijk data ook afnemen.

Figuur 27: Bijdrage van onderdelen aan MKI:A2 voor zeegaand, waterstof, brandstofcel, elektrolyse o.b.v. windenergie.



In Figuur 28 is te zien wat het effect is van het verlagen van de levensduur van 20.000 uur naar 10.000 uur. De MKI:A2 van brandstofcel-elektrolyse-groen neemt met 3% en van elektrolyse-wind met 15%. Met de huidige aannamen betekent dit dat de een factor 2 verschil in de afschrijving van de brandstofcel voor de zoute schepen geen verschil maakt in de ranking tussen een verbrandingsmotor. Echter gelden dergelijke onzekerheden in de datapunten ook voor de verbrandingsmotoren, welke ook een laag TRL hebben. Dit geldt bijvoorbeeld voor de werkelijke NOx emissies in de gebruiksfase, welke significant bijdragen aan de MKI:A2 voor de H2-verbrandingsmotoren.

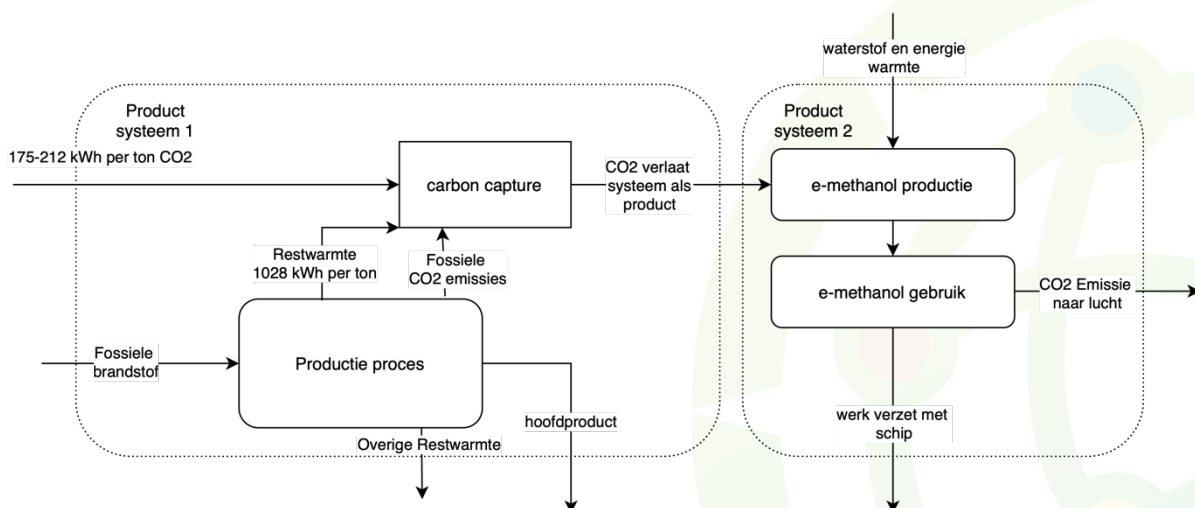
Figuur 28: Effect van afschrijving brandstofcel voor diverse waterstofvarianten van zoute werkschepen.



E-methanol bronnen van afgevangen CO2

De e-methanol kaart gebruikt naast H₂ ook CO₂ als grondstof voor de brandstofproductie. Deze CO₂ wordt verkregen via een post-combustion-CO₂-afvanginstallatie, of in de toekomst wellicht direct vanuit de lucht (direct air capture, DAC). De huidige kaart is opgesteld op basis van afgevangen fossiele CO₂, een versimpeld overzicht van dit proces is weergegeven in Figuur 29.

Figuur 29: e-methanol CO₂ afvang proces



Het betreft het productiesysteem van een product waar CO₂ bij vrijkomt, dit kan bijvoorbeeld een cement productieproces zijn maar ook afvalverbrandingsinstallatie. Normaliter zal deze CO₂ uit de rookgasafvoer in de lucht belanden, echter kan de producent ervoor kiezen een kapitaalinvestering te doen in een CO₂-afvang-systeem. Een dergelijk systeem verbruikt energie en warmte om de CO₂ af te

vangen uit de rookgasafvoer. De additionele milieu impact voor het elektriciteitsverbruik (175- 212 kWh per ton CO₂) benodigd voor het afvangen valt bij het primaire productsysteem (PBL 2024).

Vrijkomende warmte betreft een functionele stroom, zoals te zien is bij bijvoorbeeld de HVO-productiekaart wordt er doorgaans impact aan vrijkomende restwarmte gealloceerd. Dit betekent dat het gebruiken van restwarmte voor het afvangen van CO₂ indirect de functionele uitstroom uit het product systeem verlaagt (minder vrijkomende restwarmte). De inschatting is dat er 1028 kWh restwarmte per ton CO₂ benodigd is (PBL 2024).

De aanname is dat het totale energieverbruik (stroom en warmte) netto voordelig is voor de producent aangezien de CO₂-emissies van het productieproces gereduceerd worden. De opgevangen CO₂ kan permanent opgeslagen worden of deze kan gebruikt worden voor andere doeleinden. Voorbeelden zijn gebruik in kassen, gebruik als koolzuurgas of voor e-methanol productie.

De afgevangen CO₂ wordt als een reststroom gezien uit het primaire productieproces en komt het e-methanol productieproces vrij-van-last binnen. Hier dient het als een grondstof voor de e-methanol productie in combinatie met waterstof en proces energie/warmte. Tijdens de gebruiksfase wordt deze brandstof verbrand (of toegepast in een brandstofcel) en komt de CO₂ alsnog in de lucht terecht.

In de praktijk kan de CO₂ bron ook een mix zijn van fossiele en biogene CO₂, dit is afhankelijk van de grondstoffen die verbrand worden in het primaire productieproces. Voor biogene afgevangen CO₂ levert dit binnen de LCA-regels een aparte situatie op. Binnen de EN15804:A2 geldt dat de biogene koolstofbalans over de gehele levenscyclus netto op nul dient uit te komen. Dit betekent dat voor het primaire productieproces het voordeel van afgevangen biogene-CO₂ niet tot uiting zal komen in de LCA-resultaten. De biogene-CO₂ balans is voor de levenscyclus van het methanol verbruik in het schip ook netto 0, wat betekent dat er geen CO₂ emissies zijn die meetellen voor de MKI:A2.

De huidige modellering voor de biogene e-methanol is daarom de meest gunstige variant. Aangezien (binnen de regels van de EN15804) het productiesysteem geen baat heeft bij het afvangen van biogene-CO₂ kan er ook beargumenteerd worden dat de additionele energie niet aan het productiesysteem maar aan de e-methanol productie gealloceerd dient te worden.

Het is hier essentieel dat er duidelijke rekenregels worden opgesteld omtrent het rekenen met afgevangen CO₂ en het toepassen daarvan in brandstoffen. Zo dient er voorkomen te worden dat er door beide productsystemen met vermeden emissies gerekend wordt en er potentieel CO₂-emissies gealloceerd blijven.

Deze aspecten zullen in de toekomst tot uiting moeten komen in de LCA voor de specifieke geleverde e-methanol. Dit is een aandachtspunt waar rekening mee gehouden dient te worden als het aankomt op bewijslast en de LCA-rekenregels voor de beschikbare e-methanol, in relatie met de bestaande instanties zoals bijvoorbeeld de RED II en ISCC.

De derde optie is de CO₂ direct afvangen uit de lucht (Direct Air Capture, DAC). Bij deze variant behoort de energie, zowel de elektriciteit als de warmte, die nodig is voor het afvangen van de CO₂ uit de lucht bij de productie van de e-methanol. Voor deze variant geldt ook dat de koolstofbalans netto nul is over de levenscyclus. Dit proces staat nog in de kinderschoenen en er is beperkt informatie over beschikbaar. Vanuit TNO is een indicatief getal aangeleverd, dit betreft 250 kWh elektriciteit per ton opgevangen CO₂. Voor de DAC-variant is de optie meegenomen waar wel impact van warmteproductie is meegenomen (warmte uit verbranden van houtsnippers). Indien er warmte uit aardgas toegepast

zal worden zal dit een groter effect hebben op de MKI:A2 van deze variant. Er is geen beeld over de verdere hulpstoffen en/of benodigdheden van een dergelijke CO₂-DAC-methoden.

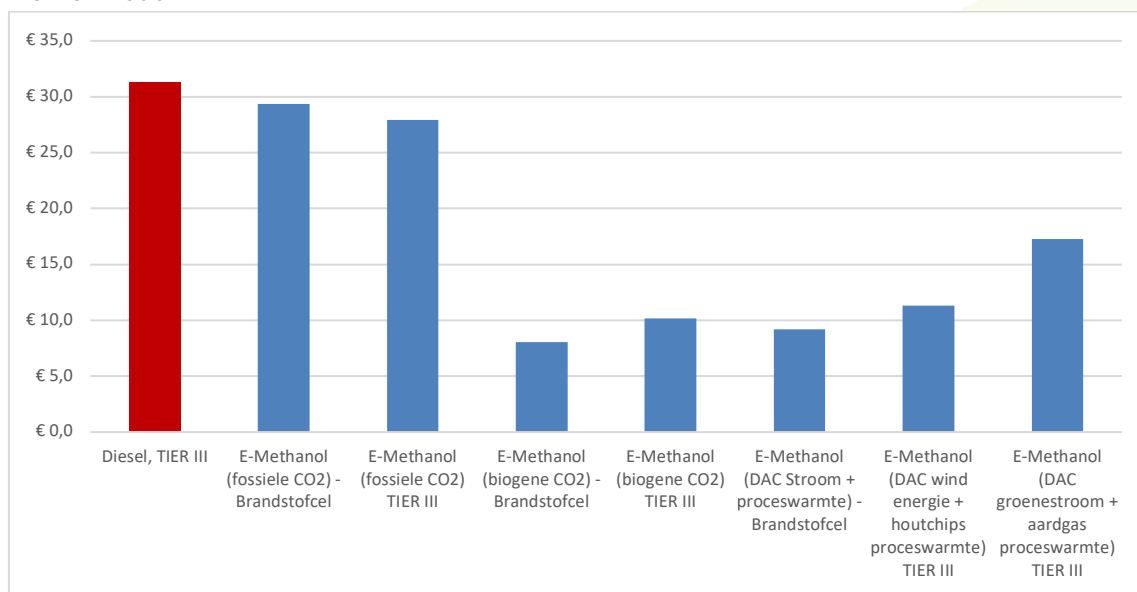
Figuur 30 geeft de impact weer van de hierboven beschreven productieroutes voor e-methanol. De fossiele variant scoort vergelijkbaar met Diesel vanwege de fossiele CO₂-emissies in de gebruiksfase. Voor de biogene-CO₂ en de DAC-route geldt dat deze biogene CO₂-emissies netto nul zijn over de levenscyclus.

Voor de gevoeligheidsanalyse van de DAC-route is de variant o.b.v. warmte uit het verbranden van houtsnipper opgenomen ter vergelijking (Heat, district or industrial, other than natural gas {NL}| heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 | Cut-off, S). Hierbij is de aanname gedaan dat de warmte vraag gelijk is aan CO₂-opvang uit rookgasafvoer (1028 kWh).

De MKI:A2 voor de DAC variant komt op €9,2 (brandstofcel) en €11,3 (TIER III) uit per GJ geleverde arbeid. Dit is 12% hoger dan de biogene e-methanol variant en 36% hoger dan H₂-gas-elektrolyse wind brandstofcel. Momenteel is voor deze analyse warmte uit houtsnippers gekozen, wat een redelijk best-case scenario betreft. De extra milieu impact als gevolg van de elektriciteit en warmte verhoogt de MKI:A2 van de e-methanol energiedragerproductie met 10%. Van deze toename komt 12% door de benodigde elektriciteit (o.b.v. windenergie) en 88% door de benodigde warmte.

De MKI:A2 van zowel de stroom als de warmte kunnen enkele factoren hoger zijn afhankelijk van de bron. Zo neemt de A1-A3 MKI:A2 van de DAC e-methanol variant met 60% toe wanneer er groene stroom en warmte o.b.v. aardgas wordt toegepast. Dit betekent dat zowel de stroom- als de warmtebron significante invloed hebben op de totale MKI:A2 van de DAC e-methanol variant. De milieu impact van DAC kan daarom significant hoger uitkomen (zie Figuur 30).

Figuur 30: Totale MKI:A2 per GJ geleverde arbeid voor diverse typen e-methanol versus Diesel, werken zout.



Allocatie aan organische reststromen voor biobrandstoffen

Voor de biobrandstoffen HVO en FAME worden diverse oliën gebruikt welke uit afval- en reststromen worden gewonnen. Mondiaal gezien is er steeds meer vraag naar organische reststromen als duurzaam alternatief voor fossiele grondstoffen (Imam et al. 2024). Door deze toenemende vraag naar organische grondstoffen stijgt de prijs van deze reststromen enorm. Voor sommige productsystemen, die dergelijke reststromen zelf opwerken, betekent dit in de praktijk dat deze reststromen significante waardevermeerdering aan het productsysteem leveren en er daarom ruimte ontstaat voor de discussie of het een co-product betreft.

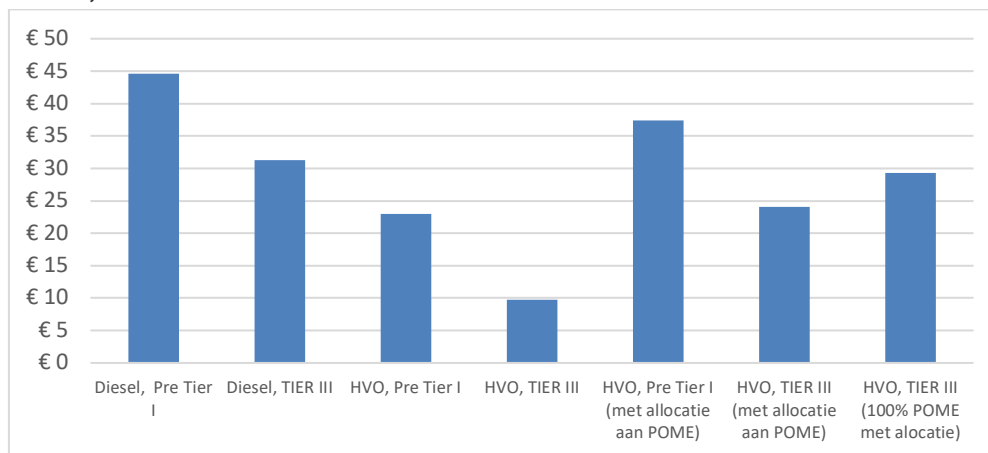
De EN15804 beschrijft dat er geen impact gealloceerd **hoeft** te worden aan co-producten met een minimale bijdrage aan het productsysteem. Minimaal wordt vervolgens onderschreven met voorbeeld waarde van 1%.

Voor HVO is de grootse reststroom POME-olie, welke voor 60% in de 2023 marktmix verwerkt zit (NEA 2023). Dergelijke olie wordt gewonnen uit de afvalstroom POME (palm oil mill effluent). Door de hierboven beschreven marktvraag is het voor palmolie producten rendabel geworden om de POME-olie te winnen uit het afvalwater en deze hoogwaardig te verwerken. Door de vele mogelijkheden van verwerking tot grondstof wordt POME-olie als een waardevolle grondstof gezien (Imam et al. 2024). De inschatting is dan ook dat POME-olie verantwoordelijk is voor gemiddeld 1,1% van de totale financiële uitstroom van palmolie productie.

Omdat deze waarden rond deze 1% grens ligt laat de EN15804 hier ruimte voor de LCA-opsteller om wel of niet impact te alloceren aan het co-product. Om consistent met beleid te blijven, welke op de RED II is gebaseerd, is gekozen om geen impact te alloceren aan deze reststromen. De impact van deze keuze zal voor 2 voorbeelden worden toegelicht in de onderstaande figuren.

Onderstaande figuur vergelijkt de Diesel met HVO markt-mix voor de zoute werkschepen per GJ-geleverde arbeid. De middelste twee varianten van HVO laten de huidige modellering zien. Dit betreft de 2023 NEA marktmix waarbij de POME-olie (60% van de mix) vrij-van-last het systeem binnen komt en uitsluitend de opwerking is meegenomen. De twee rechter HVO-varianten geven dezelfde markt mix weer waarbij 1,1% van de impact van palmolie productie aan de POME-olie wordt toegeschreven. Deze allocatie verhoogt de MKI:A2 van de HVO met een factor 2,5, waardoor HVO TIER III niet 70% maar 25% lager scoort dan Diesel. Dit geeft aan dat de milieu impact van de biobrandstoffen sterk afhankelijk is van het wel of niet alloceren van milieu impact aan deze reststromen. Indien de achterliggende impact van het landbouw en productieproces wordt meegenomen zijn deze biobrandstoffen in mindere mate competitief op MKI:A2 met de RFNBOs.

Figuur 31: Vergelijking allocatie aan POME-olie voor HVO zout werkschip per GJ geleverde arbeid, MKI:A2.



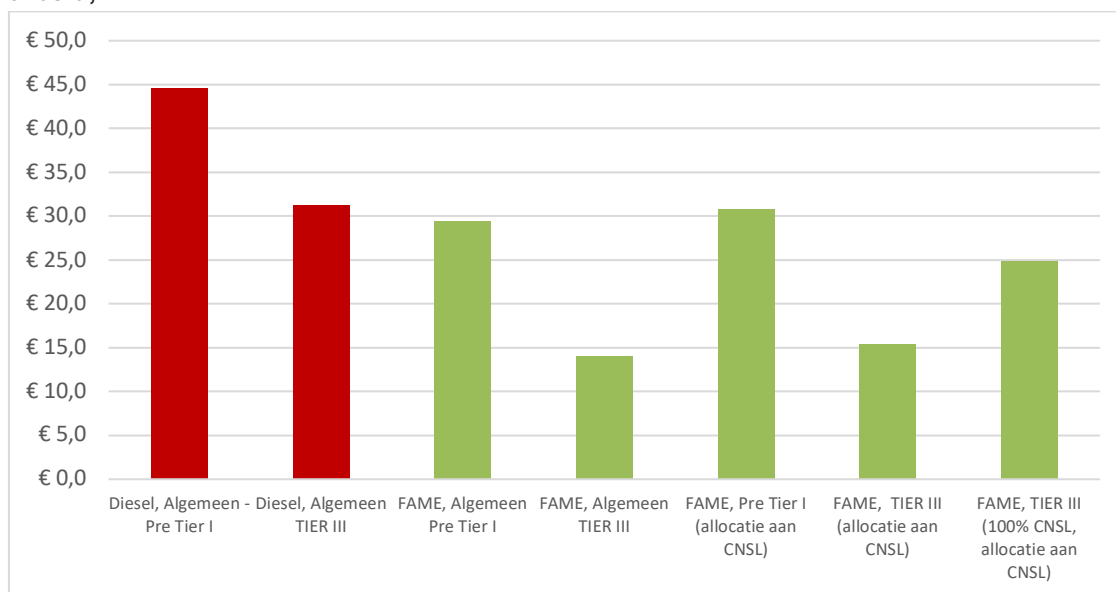
Als tweede illustratie is een voorbeeld voor FAME meegenomen. Dit betreft Cashew nut shell liquid, een olie welke gewonnen wordt uit de schillen van de cashewnot. De schillen van de cashewnot voldoen reeds aan de einde afval criteria. Echter is er geen zicht op de waarde van deze schillen t.o.v. de cashewnoten zelf. Er zijn opwerkingsstappen nodig om de olie uit de schillen te winnen. Dit kan op diverse manieren uit de schillen gewonnen worden, zo kan de CSNL warm of koud geperst worden of middels oplosmiddelen verkregen worden en wellicht is er ook raffinage nodig alvorens het als grondstof voor HVO en FAME kan dienen.

Voor deze gevoeligheidsanalyse wordt een versimpelde benadering gedaan en wordt impact van de cashewnoten productie aan de CSNL-olie gealloceerd o.b.v. de relatieve waarden. Dit wordt ingeschat op 6,67%, waar de noten zelf een waarde hebben van \$7500 per ton en de CNSL-olie \$500 per ton. Dit allocatie scenario verhoogt de MKI:A2 voor de TIER III variant met ongeveer 7% terwijl de FAME mix slechts voor 9% uit CNSL-olie bestaat. Indien de FAME voor 100% uit CNSL-olie (met allocatie) zou worden geproduceerd komt de MKI:A2 77% hoger uit (+/- 23% lager dan Diesel TIER III).

Deze alternatieve LCA-modellering op basis van de waarde van de reststromen heeft enkel betrekking op een andere verdeling (allocatie) van de milieubelasting over de diverse producten die uit de keten komen (palmolie of cashewnoten). De totale milieubelasting van die keten verandert niet, de impact wordt alleen anders verdeeld.

Als de vraag naar biobrandstof toeneemt, dan is te verwachten dat de waarde van reststromen nog verder toeneemt. Dat werd in het verleden ook geïllustreerd door de waardeontwikkeling van Used Cooking Oil, waarbij de prijs door de grote vraag hoger is geweest dan de prijs van nieuwe palmolie. RED monitort deze ontwikkelingen om de afweging te maken welke grondstoffen op Annex IA en Annex IXb staan. Het schaarse aanbod van organische reststromen en de beperkte opschaalbaarheid dient in ogenschouw genomen te worden bij het maken van beleidskeuzes voor de gewenste transitie in energiedragers voor schepen.

Figuur 32: Vergelijking allocatie aan CNSL-olie voor FAME zout werkschip per GJ geleverde arbeid, MKI:A2.



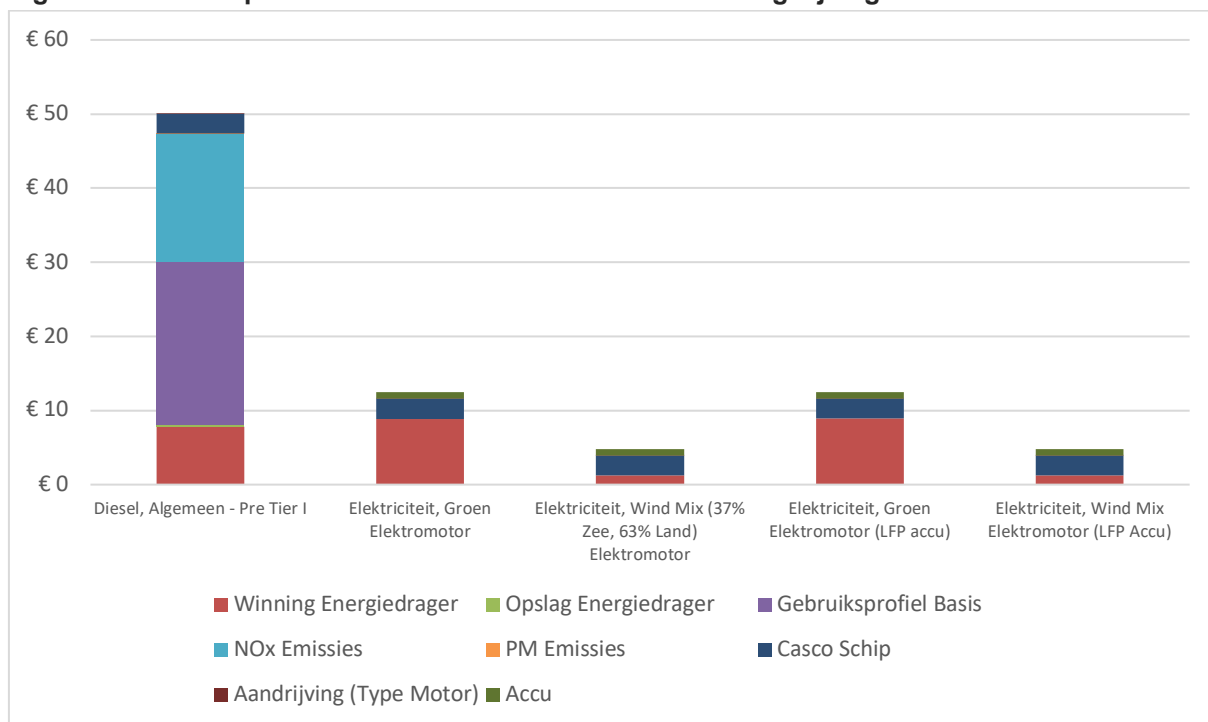
LFP versus LiMn2O4 accutypen

De bijdrage aan de MKI:A2 van de accucellen wordt met name veroorzaakt door het materiaal in de anode (grafiet), separator en de kathode (LiMn2O4), welke samen 86% van de impact van de accu cellen representeren. Aangezien de bijdrage aan de totale MKI:A2 redelijk gering is wordt er geen aanpassing gedaan aan de accu cellen. Wel worden de prestatie eigenschappen, welke relevant zijn voor de afschrijving van de accupakketten, kritisch onder de loep genomen (levensduur, laadcycli, energiedichtheid e.d.).

In de productie loopt de MKI:A2 per kg accu een factor 2 tot 5 uiteen. Dit verschil nivelleert enigszins als er ook gekeken wordt naar de verschillen in energiedichtheid en maximale aantal laadcycli. Er is echter geen zicht op de diverse einde-leven scenario's van de LFP en NMC accutypen waardoor een eerlijke vergelijking over de gehele levenscyclus niet mogelijk is. Momenteel is er in de NMD voor de LiMn2O4 accu's een deel hergebruik (70%) en een deel recycling gemodelleerd, waarbij uitsluitend de metalen worden uitgespaard. Als het einde-leven van de LFP accu identiek wordt gemodelleerd aan de LiMn2O4 accu is de inschatting dat de MKI:A2 kaart voor zout werken o.b.v. wind energie voor de LiMn2O4 6% lager uitkomt dan voor de LFP accu. Voor deze vergelijking is er met 150Wh/kg en 5000 cycli voor de LFP en 200Wh/kg en 2000 cycli voor de LiMn2O4 accu gerekend.

De impact op de werkschepen is marginaal (1 a 2%). Er zit echter veel spreiding in de uitgangspunten. Het advies is om naar de toekomst toe de accu kaarten uit te breiden in de NMD-database, zodat bij grootschalige toepassing van de NMC en LFP accutypen een compleet beeld bestaat van de cradle-to-grave milieu impact.

Figuur 33: MKI:A2 per GJ voor accu elektrisch vs diesel. Vergelijking LFP met LiMn2O4.



6. Conclusie

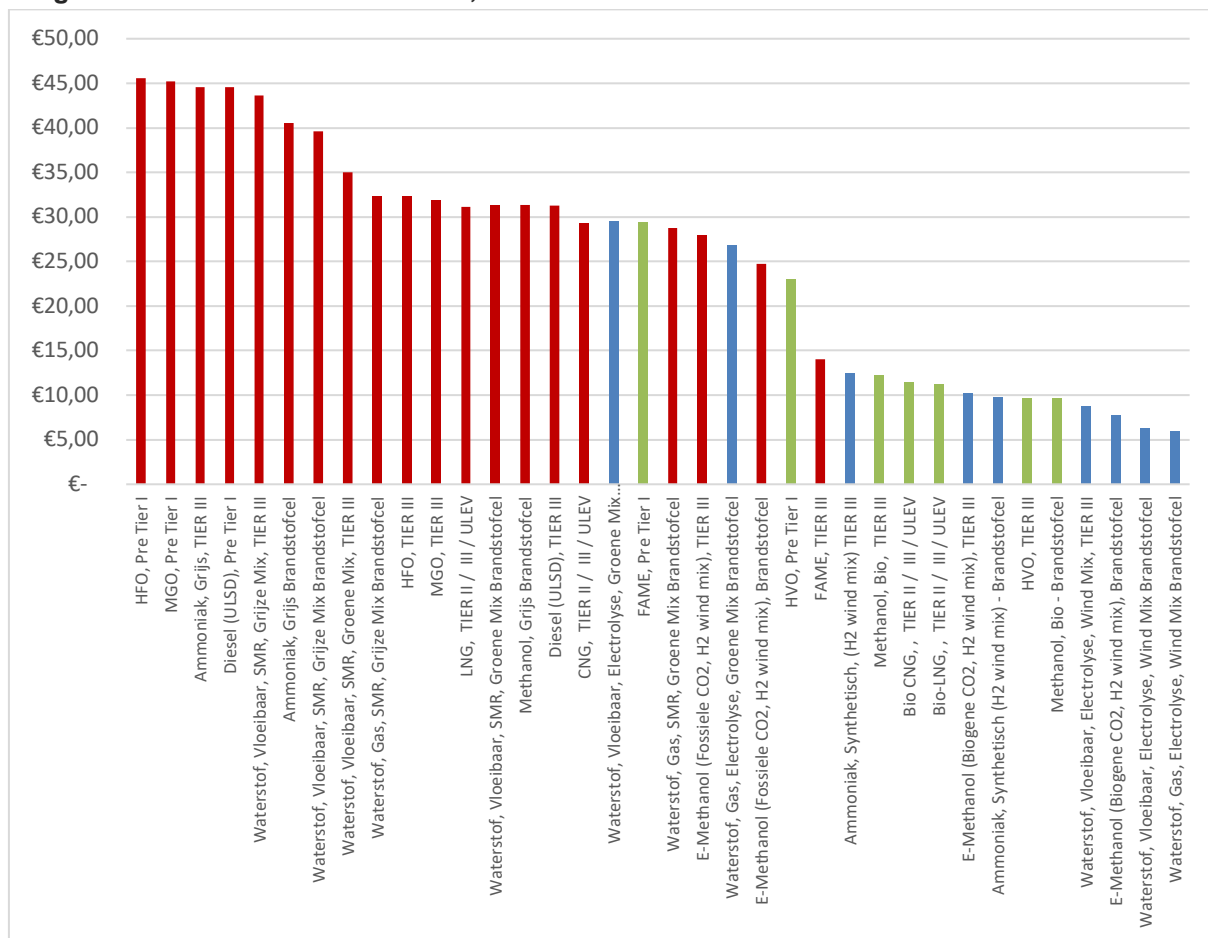
Dit rapport schetst een beeld van de (relatieve) milieu impact van het gebruiken van diverse energiedragers in schepen. De focus ligt op de Milieu Kosten Indicator (MKI:A2 en MKI:A1). De MKI-score is monetaire score in euro's welke verkregen wordt door diverse impact categorieën te wegen en op te tellen. In de LCA-methoden worden onder andere de grondstoffen en kapitaalgoederen meegenomen (denk hierbij aan het produceren en onderhouden van windmolens of zonnepanelen). Om deze reden geldt dat ook de duurzame alternatieven milieu impact hebben.

In dit rapport wordt er met name vergeleken op de geleverde arbeid op de as. Deze benadering is gekozen zodat er een vergelijking gemaakt kan worden op MKI tussen alle alternatieven. De energie-inhoud van de energiedragers lopen namelijk sterk uiteenlopen (zo bevat 1 ton H₂ 6 zes keer meer energie dan 1 ton Methanol).

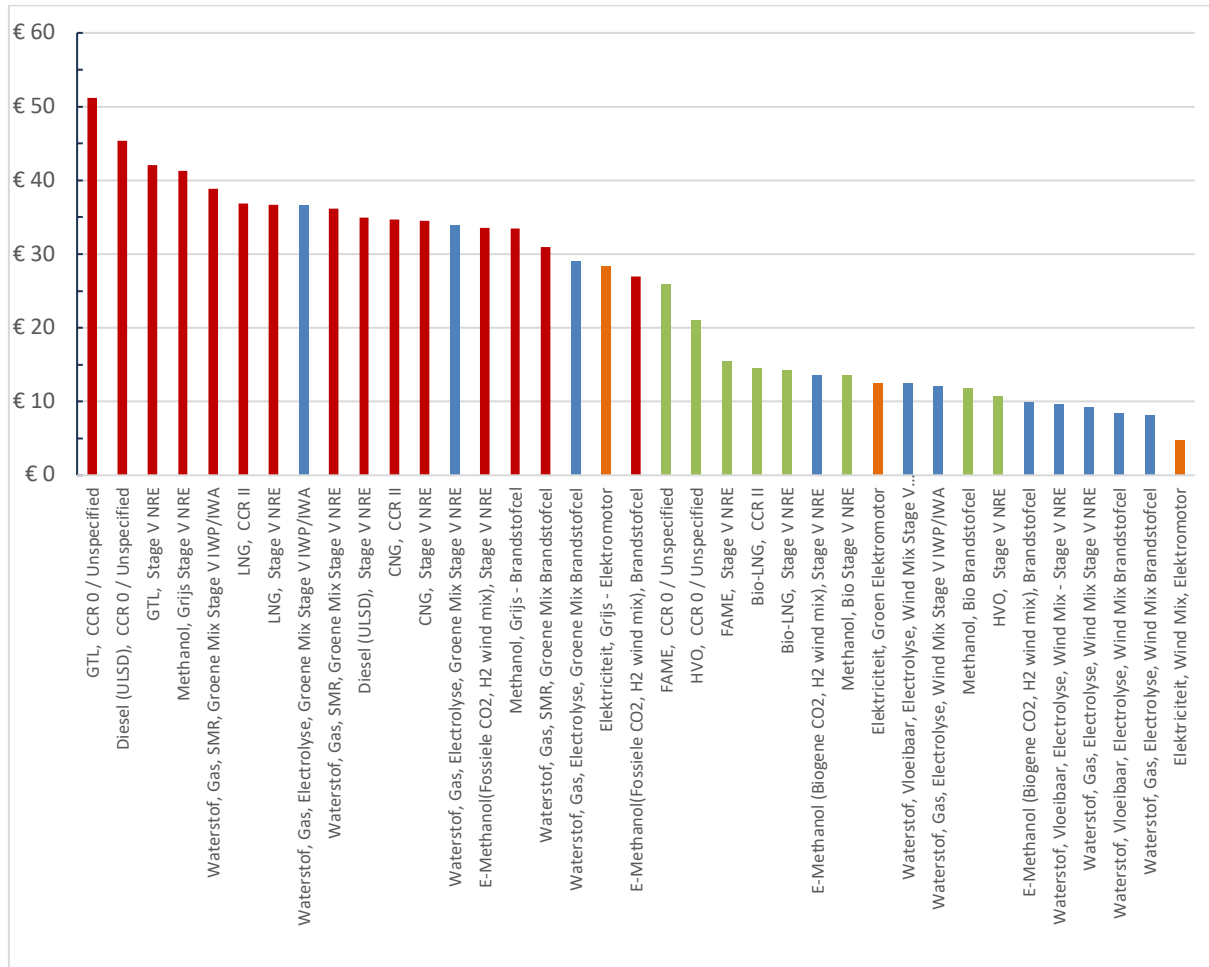
De resultaten geven een duidelijke lijn weer waar op hoofdlijnen strategie op afgestemd kan worden. De lezer dient tijdens het interpreteren van de resultaten in ogenschouw te nemen de onderliggende aannames effect kunnen hebben op de relatieve verschillen. De datapunten zijn een moment opname van de huidige beschikbare data en kunnen een grote spreiding hebben, zowel in het heden als naar de toekomst toe. De studie beschrijft een scala aan energiedragers en technieken welke allen een andere TRL (Technology Readiness Level) hebben. Zeker voor de energiedragers van de toekomst (RFNBOs) geldt dat er grote onzekerheden zijn omtrent productie, opslag, gebruik, beschikbaarheid etc.. Dergelijke onzekerheden werken twee kanten op en kunnen de MKI zowel laten stijgen als dalen. De implicaties van deze onzekerheden, worden in het rapport waar mogelijk toegelicht en uitgediept in de gevoeligheidsanalyses.



Figuur 34: Overzicht (van hoog naar laag) voor een selectie zoute werkschepen, MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. Rood – Fossiel, Groen – biobrandstof en blauw - RFNBO.



Figuur 35: Overzicht van hoog naar laag voor selectie zoete werkschepen, MKI:A2 per GJ-geleverde arbeid. Rood – Fossiel, Groen – biobrandstof, blauw – RFNBO en oranje - elektrisch.



Korte termijn

Fossiel

Op dit moment kunnen er verschillende fossiele energiedragers worden toegepast (zoals MGO, LNG en Ultra Low Sulfur Diesel) en verbrandingsmotoren met verschillende emissieklassen. Voor zoute schepen loopt de MKI van deze varianten uiteen tussen de €45 MKI:A2 per GJ en €30 MKI:A2 per GJ. Voor zoete werkschepen loopt de MKI uiteen van €51 MKI:A2 per GJ tot €30 MKI:A2 per GJ in de schoonste verbrandingsmotor. In vergelijking met de MKI voor de andere energiedragers is de spreiding beperkt.

Voor de lage TIER en CCR klassen geldt dat de NOx emissies voor een groot deel bijdragen aan de MKI:A2 (e.g. 44% aan Diesel pre TIER I). Het verbeteren van de emissieklassen zal de NOx emissie reduceren en daarmee ook de MKI sterk reduceren. Voor de werkschepen is er een 20% tot 30% reductie van pre TIER I/II naar TIER III (en van Pre CCR en Stage V voor zoet). Voor de fossiele energiedragers komt meer dan 50% van de MKI:A2 door de fossiele CO2 verbrandingsemissies. Bij de zoute schepen is ook de ULEV-variant opgenomen. Onder de huidige aannamen (Stage V IWP/IWA waarden) geeft deze marginaal hogere NOx dan TIER III. Doordat de techniek relatief nieuw is is er weinig praktijk data welke deze waarden onderbouwen. In de praktijk de ULEV-variant vergelijkbaar of beter scoren met TIER III, dit is mede afhankelijk van het AdBlue gebruik.

Biobrandstoffen

Op dit moment kunnen er verschillende biobrandstoffen worden toegepast (zoals HVO, FAME, bio-LNG en in de toekomst bio-Methanol) en verbrandingsmotoren met verschillende emissieklassen. Voor werk schepen loopt de MKI van deze varianten uiteen tussen de €30 MKI:A2 per GJ en €10 MKI:A2 per GJ in de schoonste verbrandingsmotor.

Voor de biobrandstoffen geldt per definitie in de LCA-norm (EN15804) dat de biogene-CO₂ balans over de gehele levenscyclus op nul moet uitkomen. Dit betekent dat de biogene-CO₂ opgeslagen zit in het biogene materiaal (negatieve waarde in module A1-A3) welke in de gebruiksfase (module-B) als verbrandingsemissies vrijkomen. Netto leveren deze CO₂ emissies dus geen bijdragen aan klimaatverandering impact categorie en ook niet aan de MKI:A2 (in MKI:A1 wordt biogene CO₂ niet gewogen). Dit verklaart voor een groot deel het verschil tussen de fossiele energiedragers en de biobrandstoffen

De bijdrage van NO_x emissies aan de MKI:A2 op de biobrandstoffen is vergelijkbaar met de fossiele energiedragers. De biobrandstoffen met een oude motor (pre-TIER I/pre-CCR I) scoren vergelijkbaar (op MKI:A2) met TIER III/Stage V motoren op een fossiele brandstof. De biobrandstoffen met de nieuwere TIER III/Stage V motoren komen zeer laag uit, namelijk een factor 2 tot 3 lager dan de fossiele varianten (afhankelijk van de emissieklasse). In de ranking scoren deze biobrandstoffen vergelijkbaar met de RFNBOs.

De lage MKI van biobrandstoffen is sterk afhankelijk van de modelleer keuze. Om in lijn te blijven met Europees beleid voor biobrandstoffen is binnen de LCA-normen (EN15804 en NMD-bepalingsmethoden) getracht zoveel mogelijk dezelfde modellering aan te houden als de berekening van de CO₂-reductie voor de Renewable Energy Directive (REDII). Dit betekent dat in deze LCA de organische reststromen als vrij-van-last zijn beschouwd, en alleen de opwerking tot biobrandstof is meegenomen. De EN15804 biedt ook ruimte voor een andere LCA-benadering op basis van een financiële allocatie op basis van de opbrengsten uit hoofdproducten en bijproducten. De prijs van de reststromen wordt beïnvloed door de verhouding tussen vraag en aanbod van organische reststromen. Beleid kan leiden tot een toegenomen vraag. Het aanbod aan reststromen kan niet toenemen en een toegenomen vraag zal vrijwel altijd leiden tot een prijsstijging. In de toekomst kan een dergelijke marktwerking de discussie over het huidige beleid en de huidige modelleerbenadering beïnvloeden.

Mocht op basis van een dergelijke economische allocatie een deel van de impact van de landbouw en opwerkingsprocessen wel aan deze reststromen worden toegekend komt de MKI van bijvoorbeeld HVO vergelijkbaar uit met die van Diesel. Dit laat zien dat de duurzaamheid van de biobrandstoffen is verbonden is met en de vraag naar en het aanbod van dergelijke organische reststromen. De hierboven genoemde nuances zijn zeer belangrijk voor de korte, middel en lange termijn visies omtrent het stimuleren van biobrandstoffen.

Richting de Toekomst

Er verschillende innovatieve energiedragers welke in de toekomst kunnen worden toegepast. Het TRL van deze varianten loopt uiteen en niet alle varianten zijn al beschikbaar op de markt. Deze categorie omvat Waterstof (groen en wind), Synthetische Ammoniak, e-Methanol (biogeen) en elektrisch varen. Voor de zoute werk schepen loopt de MKI van deze varianten uiteen tussen de €30 MKI:A2 per GJ en €6 MKI:A2 per GJ. Voor de zoete werkschepen loopt dit uiteen tussen de €36 MKI:A2 per GJ en €4,8 MKI:A2 per GJ.

Waterstof - RFNBO

Stroombron: Voor de waterstofvarianten geldt dat deze alleen een zeer lage MKI-score heeft wanneer deze met een duurzame stroombron wordt geproduceerd, bijvoorbeeld wind, waterkracht of nucleair. Waterstof welke vanuit de huidige groene stroommix is geproduceerd scoort vergelijkbaar met een Tier III/Stage V fossiele energiedrager. Gemiddeld grijs opgewekte elektriciteit geeft waterstof een hogere milieubelasting. Er is heel veel elektriciteit nodig om waterstof via elektrolyse te produceren. Als de vraag naar waterstof toeneemt zal er heel veel meer elektriciteit opgewekt moeten worden. Beleidsmakers zullen dit in ogenschouw moeten nemen wanneer er binnen de transitiepaden gestuurd wordt op grootschalig toepassen van waterstof in de scheepvaart.

Brandstofcel versus verbrandingsmotor: In de huidige data leveren brandstofcellen een hoger rendement dan de verbrandingsmotoren. Dit komt met name duidelijk naar voren bij de zoete werkschepen, hier wordt voor de verbrandingsmotor gerekend met een rendement van 40% (t.o.v. 47% voor de brandstofcel). Bij de zoute werkschepen is dit verschil kleiner doordat er voor de verbrandingsmotor gerekend wordt met een rendement van 45%. In de toekomst kan het rendement van de brandstofcel nog enigszins toenemen tot 50% en optioneel wellicht naar 55%.

Brandstofcel levensduur: De levensduur van de brandstofcel is een onzeker datapunt. De huidige aannamen voor de afschrijving zijn daarom conservatief ingestoken. Zelfs onder deze aannamen is de absolute bijdrage gering (0,9 MKI:A2 per GJ-arbeid). Naarmate de MKI van de energiedrager afneemt groeit de relatieve bijdrage van de kapitaalgoederen. Voor H₂-elktrolyse wind draagt de brandstofcel voor 15% bij aan de MKI:A2. Meer nuance zijn te vinden in de gevoeligheidsanalyse (p.102).

Vloeibaar versus gasvormig: De vloeibare waterstof geeft een hogere MKI vanwege de extra energie benodigd voor de liquefactie. Op de variant H₂-elektrolyse wind brandstofcel is dit verschil op MKI:A2 bijvoorbeeld 3,3%. Deze verschillen worden kleiner naarmate er een duurzamere stroombron wordt gebruikt voor deze processtap (b.v. windenergie i.p.v. grijze stroom). Er heerst ook nog onduidelijkheden over de leveranties van de waterstof. In de praktijk kan slechts 400kg gasvormige waterstof per vrachtwagen getransporteerd worden. Onder de huidige aannamen is bijdrage van het transport naar de gebruiker gering (<3%). Dit kan echter toenemen tot boven de 5% bijdrage als er over grote afstanden truck transport van gasvormige waterstof naar de gebruiker zal plaatsvinden.

Overige RFNBOs – e-methanol en ammoniak

Omtrent de 2 andere RFNBOs, e-methanol en synthetische ammoniak heerst nog veel onduidelijkheid. Vanuit TNO is aangegeven dat er zeer beperkt data beschikbaar is en dat er zeer veel onzekerheden aan deze RFNBOs verbonden zijn. Deze onzekerheden zitten zowel in de productieroutes als in de emissies tijdens de gebruiksfase. Zo is er geen data beschikbaar over potentiële milieu impact als gevolg van ammoniakslip bij ammoniak en formaldehyde bij methanol. Hier dient de lezer rekening mee te houden tijdens het interpreteren van de resultaten.

Los van onzekerheden in de verbrandingsemissies kunnen beide energiedragers een alternatief zijn met een relatief lage MKI:A2. Door de additionele opwerkstappen is de MKI per MJ-energiedrager hoger dan van waterstof zelf. Echter bieden deze energiedragers andere voor- en nadelen in het vervoer en gebruik. Het is hier opnieuw essentieel dat er als grondstof duurzame waterstof wordt toegepast (m.a.w. elektrolyse uit wind of andere lage MKI-stroombronnen).

Voor e-methanol is er nog veel onzekerheid over afgevangen CO₂ en het toepassen van restwarmte voor het afvang proces. De MKI:A2 van de e-methanol is namelijk alleen zeer laag wanneer de emissies van de opgevangen CO₂ niet bij de gebruiksfase van de brandstof liggen. Dit is alleen het geval voor E-methanol op basis van biogene CO₂. Tot op heden wordt er alleen fossiele CO₂ afgevangen bij de CO₂ intensieve industrie. Als die CO₂ wordt gebruikt voor de productie van E-methanol dan is er slechts sprake van vertraging van de CO₂-emissie, tegen lasten voor de afvang en de productie van methanol. De lasten van afvang van biogene CO₂ zijn niet meegenomen in de LCA-modelering van deze studie. Wel komt er meer nuance naar voren in de gevoeligheidsanalyse waar de DAC-variant wordt uitgelicht (p.104).

Over het direct afvangen van CO₂ (DAC) is zeer weinig data beschikbaar. Dit proces vergt warmte en energie, welke de MKI van de DAC e-methanol omhoogdrijft. In deze kwestie is de bron van de stroom en de (rest)warmte doorslaggevend. Afhankelijk van de stroom- en warmtebron kan de MKI van de DAC-route 10%-200% hoger liggen dan de huidige biogene variant (per GJ-geleverde arbeid). Dit schets een vergelijkbaar beeld van de bandbreedte voor de MKI van de biogene variant mocht er wel impact voor het afvangen aan de e-methanol worden gealloceerd.

De LCA-norm (EN15804) biedt nog geen duidelijk kader omtrent het opvangen, opslaan en doorgeven van CO₂-emissies. Voor e-methanol is het dus relevant dat er consistentie is in het rekenen/alloceren van afgevangen CO₂. Ook dient er aandacht te zijn voor de mogelijkheid dat bedrijven dubbele baten rekenen door ook negatieve carbon-credits voor vermeden emissies af te geven.

Accu-Elektrisch

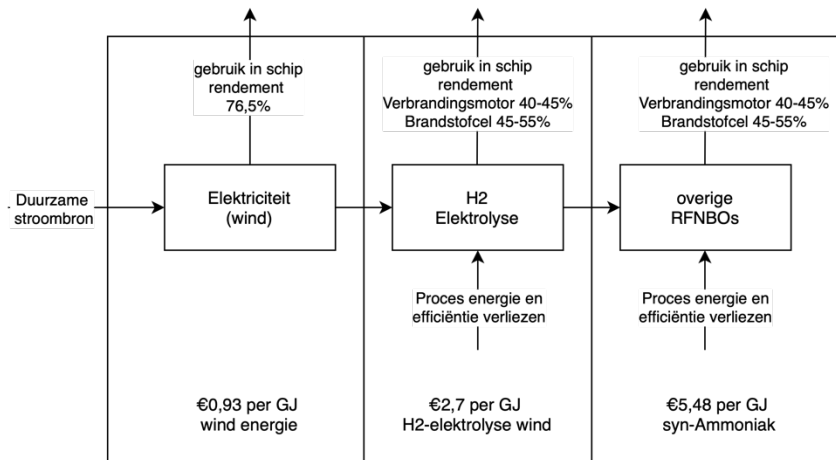
Accu-Elektrisch varen is de best presterende energiedrager, echter is dit voor zeegaande schepen vaak geen realistische optie en voor zoete werkschepen is deze optie alleen haalbaar als het schip aan de wal/ in de haven kan laden (in de buurt van het werk). Deze vorm van varen heeft de minste conversies en verliezen in het produceren van de energiedrager en in de aandrijflijn. Door de lage MKI dragen de kapitaalgoederen relatief veel bij aan het totaal. Net zoals bij de brandstofcel varianten heerst er nog veel onduidelijkheid over de levensduren van de aandrijflijn en de accupakketten.

Ketenverliezen in productiestappen RFNBOS

Onderstaande figuur geeft de hoofdlijn weer van de duurzame energiedragers (RFNBOS). Direct stroomverbruik levert de laagste MKI per MJ energiedrager, daarnaast heeft de elektrische aandrijving een hoog rendement, met als gevolg een lage MKI:A2 per GJ geleverde arbeid. De elektriciteit kun je ook gebruiken om middels elektrolyse waterstof te produceren, waar opnieuw procesemissies en verliezen plaatsvinden. Dit betekent dat de MKI voor waterstof per MJ-energiedrager hoger is dan de MKI van één MJ-electriciteit (€0,93 versus €2,7 per MJ).

Indien er vervolgens een andere RFNBO (b.v. e-methanol of synthetische ammoniak) uit deze waterstof geproduceerd wordt zullen er opnieuw verbruiken en verliezen optreden, welke de MKI per MJ-energiedrager verder verhogen (€5,48 per MJ). Vanuit een energetisch oogpunt (MKI per MJ-energiedrager) is het dus voordelig om zo min mogelijk additionele opwerkstappen in de keten te hebben. Echter spelen er een scala aan zaken mee welke niet in de LCA naar voren komen welke de praktijk afweging voor het type energiedrager beïnvloeden (normen en regels, energiedichtheid, type aandrijving, beschikbaarheid etc.). Deze zaken zijn niet meegenomen in deze studie.

Figuur 36: Van elektriciteit naar RFNBO, MKI:A2 per GJ-energiedrager



Afsluitend

De energiedragers met de laagste MKI-score geven een factor 4 tot 7 maal lagere MKI:A2 dan de fossiele energiedragers met de oudste motoren (Pre TIER I / Pre CCR I). Dit geeft een beeld van de maximaal te behalen milieu reductie t.o.v. de huidige markt. De beschikbaarheid van deze duurzame energiedragers is met name een uitdaging voor de transitie in de scheepvaart. Het aanbod volgt de vraag, echter is de investering in een alternatieve aandrijving pas duurzaam als de duurzamere RFNBOs ook beschikbaar zijn op de markt.

Op de lange termijn is met name toegang tot voldoende duurzame elektriciteit (met een lage MKI) cruciaal. Dit speelt niet alleen een rol voor de elektrische schepen, maar ook voor de waterstofproductie en de daaruit volgende RFNBOs (zoals e-methanol en synthetische ammoniak). Alleen als er voldoende duurzame stroom beschikbaar is kan de productie van de RFNBOs opschalen.

7. Referenties

- Eurostat. 2024. „Gross weight of goods transported to/from main ports - Netherlands - quarterly data [mar_go_qm_nl__custom_11972169].”
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/mar_go_qm_nl__custom_11972169/default/table.
- JEC. 2020. „WTW study version 5 (JEC_WTTv5_ Appendix 1_Pathways 4_Biodiesel).”
- TNO. 2021. *Update milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase.*
- Eurostat. 2024.
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/mar_go_qm_nl__custom_11972169/default/table.
- CBS. 2024. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/00372/table?ts=1733829183241>.
- NEA. 2023. *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2023.*
- Imam et al. 2024. „Valuable resources recovery from palm oil mill effluent (POME): A short review on sustainable wealth reclamation.” *Waste Management Bulletin* 3 (2025) 1–16.
- NEA. 2024. *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2023.* NEA.
- Chin Hing Chung et al. 2017. „RECOVERY OF RESIDUAL OIL FROM PALM OIL MILL EFFLUENT USING POLYPROPYLENE NANOFIBER: A FIELD TRIAL.” *MATTER: International Journal of Science and Technology*.
- Akhbari et al. 2020. „A study of palm oil mill processing and environmental assessment of palm oil mill effluent treatment.” *Environmental Engineering Research* 25(2) 212-221.
- Sheng Lee et al. 2019. „Treatment technologies of palm oil mill effluent (POME) and olive mill wastewater (OMW): A brief review.” *Environmental Technology & Innovation* Volume 15, August 2019, 100377.
2024. *Vesper*. <https://vespertool.com/news/pome-market-update/>.
- Seekao et al. 2021. „Co-digestion of palm oil mill effluent with chicken manure and crude glycerol: biochemical methane potential by monod kinetics.” *Heliyon*.
- Chin et al. 2013. „Biogas from palm oil mill effluent (POME): Opportunities and challenges from Malaysia's perspective.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 26, October 2013, Pages 717-726.
- Ho et al. 1984. „<https://www.feedipedia.org/node/15395>.” *Agricultural Wastes* 61-71.
- Gemeente Rotterdam. 2018. <https://persberichtenrotterdam.nl/persberichten/verzadigde-bleekaarde-is-miljoenen-waard/>.
- TNO. 2018. „20 LCA's voor brandstof-machine combinaties.”
- Energypedia. 2020. https://energypedia.info/wiki/Cashew_Nut_Shells_as_Fuel.
- Energy, ISRN Renewable. 2013. *Cashew Nut Shell Waste: Availability in Small-Scale Cashew Processing Industries and Its Fuel Properties for Gasification*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2013/147365>.
- Mubofu, Egid B. 2015. „From cashew nut shell wastes to high value chemicals.” *Pure and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0603>.
- Expana. 2024. <https://www.expanamarkets.com/insights/article/cashew-prices-update/>.
- Indiamart. 2025. <https://www.indiamart.com/proddetail/cashew-nut-shell-liquid-11927351712.html?srsId=AfmBOorGqAOqG9sAbPh2msYixjPEv4DXouVX0QaeUvQUIVCgzHzGmWz>.
- TNO. 2016. „Milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de NMD.”

- . 2020. „Green Maritime Methanol Operation aspects and the fuel supply chain.”
<https://publications.tno.nl/publication/34637282/W1qAIG/TNO-2020-R11105.pdf>.
- CBS. 2024. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2024/hernieuwbare-energie-in-nederland-2023/4-windenergie>.
- TNO. 2014. *Van A to Z: Introductie van emissiereducerende methodes voor binnenvaartschepen en de binnenvaartketen*. TNO.
- TNO. 2023. *Green Deal Validation: Sustainability and applicability of biodiesel for sea vessels*. TNO.
- Vries, De. 2019. „Safe and effective application of ammonia as a marine fuel.”
- TNO. 2020. „Green Maritime Methanol: WP3 factsheet and comparison with diesel and LNG.”
- NMD. 2024. *LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase Brandstof-machinecombinaties Hoofdstuk 1000 t/m 8000 Processen*. NMD.
- TNO. 2025. „TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor: Klimaat- en Energieverkenning (KEV-24) en Emissieramingen Luchtverontreinigende stoffen (ERL-25).”
- Zero Carbon Shipping. 2023. *Aftertreatment nessecarry MMCZCS, Managing Emissions from Ammonia-Fueled Vessels*. Zero Carbon Shipping.
- IEAGHG. 2017. [https://ieaghg-publications.s3.eu-north-1.amazonaws.com/Technical+Reports/2017-02+Techno+-+Economic+Evaluation+of+SMR+Based+Standalone+\(Merchant\)+Hydrogen+Plant+with+CCS.pdf](https://ieaghg-publications.s3.eu-north-1.amazonaws.com/Technical+Reports/2017-02+Techno+-+Economic+Evaluation+of+SMR+Based+Standalone+(Merchant)+Hydrogen+Plant+with+CCS.pdf).
- PBL. 2024. *EINDADVIES BASISBEDRAGEN SDE++*. PBL.

LCA Normen en databases

- [1] *NEN-EN-ISO 14040 Environmental management -Life cycle assessment -Principles and framework (ISO 14040:2006,IDT)*, juli 2006
- [2] *NEN-EN-ISO 14044 Environmental management -Life cycle assessment -Requirements and guidelines (ISO 14044:2006,IDT)*, juli 2006
- [3] *NEN-EN 15804+A1:2013 Duurzaamheid van bouwwerken –Milieuverklaringen van producten – Basisregels voor de productgroep bouwproducten*, november 2013
- [4] *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken / versie 1.2, Januari 2025*
- [5] *Processendatabase (Nationale Milieu Database): NMD versie 3.9*
- [6] *EcoInvent Database versie 3.9 en 3.6*

8. Bijlagen resultaten tabellen transport kaarten

Resultaten transport Binnenvaart A1 + A2

Tabel 73: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart Diesel, CCR I Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	3,39E-02	4,90E-06	1,33E-04	0,00E+00	3,38E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	3,37E-02	4,89E-06	1,33E-04	0,00E+00	3,36E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	9,28E-05	7,52E-09	1,91E-07	0,00E+00	9,26E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	1,01E-04	1,15E-09	8,26E-08	0,00E+00	1,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,41E-10	2,55E-12	2,79E-12	0,00E+00	1,36E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	2,84E-04	2,63E-08	5,92E-07	0,00E+00	2,83E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	4,80E-07	3,41E-11	2,72E-09	0,00E+00	4,78E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,30E-04	4,61E-09	1,78E-07	0,00E+00	1,30E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,43E-03	4,11E-08	2,11E-06	0,00E+00	1,43E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,74E-04	3,36E-08	7,22E-07	0,00E+00	3,73E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	5,26E-08	3,26E-12	5,32E-10	0,00E+00	5,21E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	1,29E-01	3,72E-04	2,02E-03	0,00E+00	1,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	3,26E-03	3,88E-07	-8,07E-06	0,00E+00	3,27E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	6,91E-10	2,42E-13	1,08E-11	0,00E+00	6,80E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	5,35E-04	6,16E-08	4,05E-06	0,00E+00	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,45E-02	1,10E-04	1,16E-03	0,00E+00	5,32E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	2,35E-11	1,85E-15	6,44E-14	0,00E+00	2,35E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	1,48E-10	3,44E-14	1,14E-12	0,00E+00	1,47E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	3,91E-01	7,04E-06	3,55E-03	0,00E+00	3,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 74: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart Diesel, CCR I Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	3,76E-07	1,03E-11	9,11E-09	0,00E+00	3,67E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	6,29E-05	1,74E-07	9,14E-07	0,00E+00	6,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	3,37E-02	4,00E-06	1,26E-04	0,00E+00	3,36E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	8,21E-10	4,21E-12	2,06E-11	0,00E+00	7,97E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	1,55E-05	6,16E-09	7,82E-08	0,00E+00	1,54E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	2,03E-04	3,39E-08	5,23E-07	0,00E+00	2,03E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4-- eq	4,68E-05	4,53E-09	9,21E-08	0,00E+00	4,67E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	6,33E-03	2,27E-05	3,72E-05	0,00E+00	6,29E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	1,15E-04	9,57E-08	1,21E-06	0,00E+00	1,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	2,81E-01	4,32E-04	3,24E-03	0,00E+00	2,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	5,88E-05	5,73E-09	3,14E-07	0,00E+00	5,85E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 75: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart FAME, CCR I Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO ₂ eq	1,97E-02	-1,53E-02	1,55E-04	0,00E+00	3,48E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	1,94E-02	7,30E-03	1,54E-04	0,00E+00	1,20E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	8,63E-05	-2,27E-02	2,22E-07	0,00E+00	2,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO ₂ eq	1,70E-04	6,92E-05	9,58E-08	0,00E+00	1,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	4,20E-10	2,81E-10	3,24E-12	0,00E+00	1,36E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H ⁺ eq	3,20E-04	3,55E-05	6,87E-07	0,00E+00	2,84E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,72E-07	9,11E-08	3,16E-09	0,00E+00	4,78E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,40E-04	9,84E-06	2,06E-07	0,00E+00	1,30E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,53E-03	9,50E-05	2,44E-06	0,00E+00	1,43E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,10E-04	3,43E-05	8,37E-07	0,00E+00	3,74E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	6,17E-08	8,93E-09	6,17E-10	0,00E+00	5,21E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	2,43E-01	1,14E-01	2,35E-03	0,00E+00	1,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m ³ depriv.	2,68E-03	-5,76E-04	-9,35E-06	0,00E+00	3,27E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	8,71E-10	1,78E-10	1,25E-11	0,00E+00	6,81E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	5,82E-04	4,65E-05	4,70E-06	0,00E+00	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTU _e	9,77E-02	4,32E-02	1,34E-03	0,00E+00	5,32E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTU _h	2,55E-11	1,92E-12	7,47E-14	0,00E+00	2,35E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTU _h	1,81E-10	3,32E-11	1,32E-12	0,00E+00	1,47E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	4,16E-01	2,48E-02	4,12E-03	0,00E+00	3,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 76: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart FAME, CCR I Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	4,33E-07	5,49E-08	1,06E-08	0,00E+00	3,67E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	1,25E-04	6,25E-05	1,06E-06	0,00E+00	6,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO ₂ eq	1,93E-02	7,17E-03	1,46E-04	0,00E+00	1,19E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,77E-09	9,52E-10	2,39E-11	0,00E+00	7,97E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C ₂ H ₄	1,87E-05	3,16E-06	9,07E-08	0,00E+00	1,55E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO ₂ eq	2,36E-04	3,16E-05	6,06E-07	0,00E+00	2,04E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO ₄ - eq	5,29E-05	5,97E-06	1,07E-07	0,00E+00	4,68E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	8,17E-03	1,80E-03	4,32E-05	0,00E+00	6,33E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	2,38E-04	1,23E-04	1,40E-06	0,00E+00	1,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	5,29E-01	2,48E-01	3,76E-03	0,00E+00	2,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	8,12E-05	2,23E-05	3,65E-07	0,00E+00	5,85E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 77: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart HVO, CCR I Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO ₂ eq	1,49E-02	-1,80E-02	1,31E-04	0,00E+00	3,28E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	1,43E-02	2,60E-03	1,30E-04	0,00E+00	1,16E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	1,20E-04	-2,10E-02	1,87E-07	0,00E+00	2,11E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO ₂ eq	5,31E-04	4,30E-04	8,10E-08	0,00E+00	1,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,97E-10	1,59E-10	2,73E-12	0,00E+00	1,36E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H ⁺ eq	3,11E-04	3,31E-05	5,80E-07	0,00E+00	2,77E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,58E-07	7,75E-08	2,67E-09	0,00E+00	4,78E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,41E-04	1,11E-05	1,74E-07	0,00E+00	1,30E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,52E-03	9,31E-05	2,06E-06	0,00E+00	1,42E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4,14E-04	2,72E-05	7,07E-07	0,00E+00	3,86E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	6,29E-08	1,03E-08	5,21E-10	0,00E+00	5,21E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	1,78E-01	4,96E-02	1,98E-03	0,00E+00	1,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m ³ depriv.	4,32E-03	1,06E-03	-7,90E-06	0,00E+00	3,27E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	8,15E-10	1,36E-10	1,06E-11	0,00E+00	6,69E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	5,62E-04	2,69E-05	3,97E-06	0,00E+00	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	1,75E-01	1,20E-01	1,14E-03	0,00E+00	5,37E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	2,67E-11	1,47E-12	6,31E-14	0,00E+00	2,51E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	1,98E-10	3,90E-11	1,11E-12	0,00E+00	1,58E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	4,32E-01	4,11E-02	3,48E-03	0,00E+00	3,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 78: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart HVO, CCR I Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	4,13E-07	3,69E-08	8,93E-09	0,00E+00	3,67E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	8,54E-05	2,27E-05	8,95E-07	0,00E+00	6,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO ₂ eq	1,42E-02	2,49E-03	1,23E-04	0,00E+00	1,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,21E-09	3,92E-10	2,02E-11	0,00E+00	7,97E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C ₂ H ₄	1,88E-05	2,60E-06	7,66E-08	0,00E+00	1,61E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO ₂ eq	2,24E-04	2,58E-05	5,12E-07	0,00E+00	1,98E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO ₄ ---eq	5,13E-05	5,07E-06	9,02E-08	0,00E+00	4,61E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	7,74E-03	1,05E-03	3,65E-05	0,00E+00	6,65E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	5,01E-04	2,56E-04	1,18E-06	0,00E+00	2,44E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	3,57E-01	7,55E-02	3,18E-03	0,00E+00	2,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	1,69E-04	1,05E-04	3,08E-07	0,00E+00	6,32E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 79: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart CNG, CCR II Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	4,00E-02	2,24E-03	9,27E-04	0,00E+00	3,68E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	3,97E-02	2,24E-03	9,16E-04	0,00E+00	3,66E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	1,05E-04	2,28E-06	1,05E-05	0,00E+00	9,26E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	1,02E-04	8,72E-07	3,09E-07	0,00E+00	1,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,37E-09	1,21E-09	2,81E-11	0,00E+00	1,36E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	1,12E-04	1,16E-05	1,57E-06	0,00E+00	9,93E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,36E-07	2,26E-08	3,60E-08	0,00E+00	4,78E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	3,86E-05	2,12E-06	4,14E-07	0,00E+00	3,61E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	4,25E-04	2,33E-05	4,87E-06	0,00E+00	3,97E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,56E-04	1,38E-05	1,47E-06	0,00E+00	1,40E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	5,62E-08	2,88E-09	1,22E-09	0,00E+00	5,21E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	4,64E-01	3,24E-01	1,33E-02	0,00E+00	1,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	3,60E-03	2,21E-04	1,13E-04	0,00E+00	3,27E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	6,57E-10	3,77E-11	6,58E-12	0,00E+00	6,13E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	5,75E-04	1,33E-05	3,03E-05	0,00E+00	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	6,18E-02	7,08E-03	1,44E-03	0,00E+00	5,33E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	2,50E-11	1,25E-12	1,94E-13	0,00E+00	2,35E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	1,72E-10	1,06E-11	4,15E-12	0,00E+00	1,58E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	3,92E-01	2,30E-03	2,67E-03	0,00E+00	3,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 80: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart CNG, CCR II Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	3,73E-07	4,33E-09	1,98E-09	0,00E+00	3,67E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	2,56E-04	1,86E-04	8,66E-06	0,00E+00	6,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	4,04E-02	2,69E-03	1,15E-03	0,00E+00	3,66E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2,82E-09	1,97E-09	5,64E-11	0,00E+00	7,97E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	2,22E-05	3,35E-06	1,60E-07	0,00E+00	1,87E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	9,09E-05	1,13E-05	1,99E-06	0,00E+00	7,76E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	1,60E-05	8,35E-07	4,34E-07	0,00E+00	1,47E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	6,12E-03	2,56E-04	9,98E-05	0,00E+00	5,77E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	1,32E-04	1,05E-05	2,69E-06	0,00E+00	1,19E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	3,38E-01	4,79E-02	1,22E-02	0,00E+00	2,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	6,24E-05	1,91E-06	1,83E-06	0,00E+00	5,87E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 81: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart, Elektrisch, hernieuwbaar mix Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	1,69E-02	4,97E-03	0,00E+00	0,00E+00	1,20E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	1,43E-02	2,48E-03	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	2,59E-03	2,50E-03	0,00E+00	0,00E+00	9,29E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	1,08E-04	6,59E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,01E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	3,99E-10	2,46E-10	0,00E+00	0,00E+00	1,53E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	1,02E-04	4,67E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,52E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	6,70E-07	1,58E-07	0,00E+00	0,00E+00	5,12E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,82E-05	5,83E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,23E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	3,03E-04	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,34E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	8,01E-05	1,71E-05	0,00E+00	0,00E+00	6,30E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	3,29E-07	2,62E-07	0,00E+00	0,00E+00	6,74E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	1,58E-01	2,36E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,34E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	4,61E-03	1,20E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,41E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	1,07E-09	4,19E-10	0,00E+00	0,00E+00	6,51E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	6,25E-04	7,69E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,48E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	2,59E-01	2,03E-01	0,00E+00	0,00E+00	5,61E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	2,95E-11	5,62E-12	0,00E+00	0,00E+00	2,39E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,21E-10	1,87E-10	0,00E+00	0,00E+00	1,34E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	9,98E-01	6,09E-01	0,00E+00	0,00E+00	3,89E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 82: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart, Elektrisch, hernieuwbaar mix Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	7,27E-07	2,62E-07	0,00E+00	0,00E+00	4,66E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	1,57E-04	7,46E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,20E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	2,93E-02	1,41E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,51E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2,17E-09	1,04E-09	0,00E+00	0,00E+00	1,13E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	3,62E-05	1,75E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,87E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	1,68E-04	7,58E-05	0,00E+00	0,00E+00	9,21E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4-- eq	2,66E-05	1,27E-05	0,00E+00	0,00E+00	1,39E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,96E-02	8,39E-03	0,00E+00	0,00E+00	1,12E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	3,94E-04	1,66E-04	0,00E+00	0,00E+00	2,28E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	1,12E+00	4,33E-01	0,00E+00	0,00E+00	6,83E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	3,36E-04	1,64E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,72E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 83: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart, Waterstof (Elektrolyse Wind Vloeibaar) Verbrandingsmotor Stage V Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	1,48E-02	2,99E-03	7,79E-05	0,00E+00	1,17E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	1,46E-02	2,97E-03	7,78E-05	0,00E+00	1,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	1,04E-05	1,17E-07	1,25E-07	0,00E+00	9,26E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	1,03E-04	2,68E-06	3,99E-08	0,00E+00	1,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	3,36E-10	1,97E-10	2,92E-12	0,00E+00	1,36E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	1,67E-04	2,63E-05	4,50E-07	0,00E+00	1,40E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	1,68E-06	1,20E-06	7,25E-09	0,00E+00	4,78E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	6,18E-05	3,72E-06	1,09E-07	0,00E+00	5,80E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	6,75E-04	3,80E-05	1,16E-06	0,00E+00	6,36E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	1,92E-04	1,15E-05	4,16E-07	0,00E+00	1,80E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	3,95E-07	3,39E-07	3,56E-09	0,00E+00	5,21E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	1,65E-01	3,72E-02	1,03E-03	0,00E+00	1,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	6,62E-03	3,33E-03	1,85E-05	0,00E+00	3,27E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	8,33E-10	2,04E-10	6,52E-12	0,00E+00	6,22E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	6,39E-04	1,07E-04	1,22E-06	0,00E+00	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	2,55E-01	2,00E-01	2,28E-03	0,00E+00	5,31E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	3,83E-11	1,47E-11	1,67E-13	0,00E+00	2,34E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	4,95E-10	3,46E-10	3,88E-12	0,00E+00	1,45E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	4,28E-01	3,93E-02	1,20E-03	0,00E+00	3,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 84: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart, Waterstof (Elektrolyse Wind Vloeibaar) Verbrandingsmotor Stage V Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	7,28E-07	3,56E-07	4,09E-09	0,00E+00	3,67E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	8,53E-05	2,30E-05	4,78E-07	0,00E+00	6,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	1,50E-02	3,48E-03	7,01E-05	0,00E+00	1,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,15E-09	3,47E-10	1,06E-11	0,00E+00	7,97E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	1,66E-05	1,98E-06	4,54E-08	0,00E+00	1,46E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	1,31E-04	2,61E-05	3,74E-07	0,00E+00	1,05E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4-- eq	2,78E-05	5,80E-06	6,75E-08	0,00E+00	2,19E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,32E-02	7,32E-03	7,68E-05	0,00E+00	5,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	2,34E-04	1,19E-04	1,51E-06	0,00E+00	1,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	5,98E-01	3,16E-01	3,88E-03	0,00E+00	2,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestric (TETP)	kg 1,4-DB eq	4,23E-04	3,61E-04	3,57E-06	0,00E+00	5,85E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 85: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart, Waterstof (SMR Grijs Vloeibaar) Verbrandingsmotor Stage V Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	5,35E-02	4,09E-02	8,71E-04	0,00E+00	1,17E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	5,33E-02	4,09E-02	8,71E-04	0,00E+00	1,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	9,61E-05	3,43E-06	4,57E-08	0,00E+00	9,26E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	1,03E-04	2,02E-06	5,75E-08	0,00E+00	1,00E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,97E-09	2,75E-09	7,93E-11	0,00E+00	1,36E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	1,78E-04	3,70E-05	1,48E-06	0,00E+00	1,40E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	7,76E-07	2,78E-07	2,04E-08	0,00E+00	4,78E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	6,66E-05	8,22E-06	4,06E-07	0,00E+00	5,80E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	7,34E-04	9,39E-05	4,52E-06	0,00E+00	6,36E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVO C eq	2,17E-04	3,58E-05	1,36E-06	0,00E+00	1,80E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	7,83E-08	2,51E-08	1,14E-09	0,00E+00	5,21E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	7,68E-01	6,27E-01	1,43E-02	0,00E+00	1,26E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	6,58E-03	3,19E-03	1,23E-04	0,00E+00	3,27E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	diseases inc.	7,64E-10	1,34E-10	8,27E-12	0,00E+00	6,22E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	8,87E-04	3,36E-04	2,02E-05	0,00E+00	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	1,61E-01	1,02E-01	6,29E-03	0,00E+00	5,31E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	2,78E-11	4,28E-12	1,29E-13	0,00E+00	2,34E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,24E-10	7,47E-11	3,86E-12	0,00E+00	1,45E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	4,02E-01	1,34E-02	1,39E-03	0,00E+00	3,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 86: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, binnenvaart, Waterstof (SMR Grijs Vloeibaar) Verbrandingsmotor Stage V Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	4,12E-07	4,29E-08	1,82E-09	0,00E+00	3,67E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	4,23E-04	3,55E-04	7,09E-06	0,00E+00	6,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	5,42E-02	4,19E-02	8,03E-04	0,00E+00	1,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,64E-09	3,77E-09	7,70E-11	0,00E+00	7,97E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	2,13E-05	6,53E-06	1,39E-07	0,00E+00	1,46E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	1,42E-04	3,57E-05	1,12E-06	0,00E+00	1,05E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	2,67E-05	4,55E-06	2,11E-07	0,00E+00	2,19E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	7,88E-03	2,00E-03	7,27E-05	0,00E+00	5,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	1,64E-04	4,84E-05	2,00E-06	0,00E+00	1,13E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	4,87E-01	2,02E-01	7,34E-03	0,00E+00	2,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	1,22E-04	6,02E-05	3,37E-06	0,00E+00	5,85E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Resultaten transport zeegaand A1 + A2

Tabel 87: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee Bio-LNG Tier II Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	2,54E-03	- 3,58E-03	6,90E-05	0,00E+00	6,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	5,94E-04	5,76E-05	6,89E-05	0,00E+00	4,67E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	1,94E-03	- 3,64E-03	1,23E-07	0,00E+00	5,58E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	6,39E-06	7,70E-08	1,26E-08	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,95E-12	2,00E-12	2,50E-12	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	1,51E-05	4,32E-07	1,28E-07	0,00E+00	1,45E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,16E-08	3,01E-09	5,68E-10	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	6,96E-06	6,21E-08	4,61E-08	0,00E+00	6,85E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	7,62E-05	7,23E-07	5,01E-07	0,00E+00	7,50E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVO C eq	2,42E-05	4,52E-07	2,15E-07	0,00E+00	2,35E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	1,15E-08	3,86E-09	5,86E-11	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	6,43E-03	7,83E-04	1,01E-03	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	1,86E-04	1,45E-05	3,96E-06	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	diseases inc.	5,99E-11	9,55E-12	2,10E-12	0,00E+00	4,82E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,50E-05	3,31E-06	4,86E-07	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,54E-03	1,52E-03	1,78E-04	0,00E+00	3,84E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	2,91E-12	1,13E-13	1,40E-14	0,00E+00	2,78E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,13E-11	4,02E-12	2,25E-13	0,00E+00	1,71E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	4,52E-03	2,07E-03	3,63E-04	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 88: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee Bio-LNG Tier II Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	6,32E-08	6,10E-09	3,61E-10	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	3,39E-06	4,34E-07	5,44E-07	0,00E+00	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO ₂ eq	2,58E-03	5,35E-04	6,63E-05	0,00E+00	1,98E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	3,98E-11	9,59E-12	8,92E-12	0,00E+00	2,13E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C ₂ H ₄	2,62E-06	1,50E-07	1,93E-08	0,00E+00	2,45E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO ₂ eq	1,07E-05	3,98E-07	1,16E-07	0,00E+00	1,02E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO ₄ --- eq	2,47E-06	3,96E-08	2,15E-08	0,00E+00	2,41E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,01E-03	8,33E-05	7,07E-06	0,00E+00	9,16E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	1,45E-05	1,27E-06	2,22E-07	0,00E+00	1,30E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	4,52E-02	4,54E-03	6,75E-04	0,00E+00	3,99E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	1,09E-05	2,04E-06	4,75E-08	0,00E+00	8,77E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 89: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee CNG Tier II Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO ₂ eq	7,11E-03	5,27E-04	2,18E-04	0,00E+00	6,36E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq	7,10E-03	5,26E-04	2,16E-04	0,00E+00	6,36E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq	9,87E-07	5,37E-07	2,47E-06	0,00E+00	2,02E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO ₂ eq	6,58E-06	2,05E-07	7,27E-08	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,97E-10	2,85E-10	6,60E-12	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H ⁺ eq	1,76E-05	2,74E-06	3,70E-07	0,00E+00	1,45E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	4,18E-08	5,30E-09	8,46E-09	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	7,45E-06	4,98E-07	9,73E-08	0,00E+00	6,85E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	8,16E-05	5,49E-06	1,15E-06	0,00E+00	7,50E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVO C eq	2,83E-05	3,24E-06	3,46E-07	0,00E+00	2,47E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	8,59E-09	6,78E-10	2,86E-10	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	8,40E-02	7,62E-02	3,13E-03	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m ³ depriv.	2,46E-04	5,21E-05	2,65E-05	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	diseases inc.	5,86E-11	8,86E-12	1,55E-12	0,00E+00	4,82E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	2,14E-05	3,12E-06	7,13E-06	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,85E-03	1,67E-03	3,40E-04	0,00E+00	3,84E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	3,13E-12	2,95E-13	4,56E-14	0,00E+00	2,79E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,07E-11	2,50E-12	9,76E-13	0,00E+00	1,72E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	3,26E-03	5,41E-04	6,27E-04	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 90: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee CNG Tier II Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	5,82E-08	1,02E-09	4,65E-10	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	4,82E-05	4,37E-05	2,04E-06	0,00E+00	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	7,23E-03	6,32E-04	2,71E-04	0,00E+00	6,33E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,98E-10	4,63E-10	1,33E-11	0,00E+00	2,13E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	3,33E-06	7,88E-07	3,77E-08	0,00E+00	2,50E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	1,33E-05	2,65E-06	4,67E-07	0,00E+00	1,02E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	2,71E-06	1,96E-07	1,02E-07	0,00E+00	2,41E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,00E-03	6,03E-05	2,35E-05	0,00E+00	9,16E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	1,62E-05	2,47E-06	6,33E-07	0,00E+00	1,31E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	5,41E-02	1,13E-02	2,88E-03	0,00E+00	3,99E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	9,65E-06	4,50E-07	4,31E-07	0,00E+00	8,77E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 91: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee FAME Tier II Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	2,34E-03	3,60E-03	3,64E-05	0,00E+00	5,91E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	2,33E-03	1,72E-03	3,63E-05	0,00E+00	5,72E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	-3,50E-06	5,33E-03	5,21E-08	0,00E+00	5,33E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	2,26E-05	1,63E-05	2,25E-08	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	7,23E-11	6,60E-11	7,61E-13	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	8,47E-05	8,35E-06	1,62E-07	0,00E+00	7,62E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,02E-08	2,14E-08	7,43E-10	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	4,09E-05	2,32E-06	4,86E-08	0,00E+00	3,85E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	4,45E-04	2,24E-05	5,75E-07	0,00E+00	4,22E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVO C eq	1,13E-04	8,07E-06	1,97E-07	0,00E+00	1,04E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	9,88E-09	2,10E-09	1,45E-10	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	3,20E-02	2,68E-02	5,52E-04	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

063. Water use	m3 depriv.	2,99E-05	1,36E-04	2,20E-06	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	diseas e inc.	1,14E-10	4,19E-11	2,95E-12	0,00E+00	6,92E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	2,32E-05	1,09E-05	1,11E-06	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	1,43E-02	1,02E-02	3,16E-04	0,00E+00	3,83E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	3,24E-12	4,52E-13	1,76E-14	0,00E+00	2,77E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,28E-11	7,82E-12	3,10E-13	0,00E+00	1,47E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	8,88E-03	5,82E-03	9,70E-04	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 92: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee FAME Tier II Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	7,22E-08	1,29E-08	2,49E-09	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	1,74E-05	1,47E-05	2,49E-07	0,00E+00	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	2,25E-03	1,69E-03	3,43E-05	0,00E+00	5,27E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2,51E-10	2,24E-10	5,62E-12	0,00E+00	2,13E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	2,50E-06	7,44E-07	2,13E-08	0,00E+00	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	5,97E-05	7,44E-06	1,43E-07	0,00E+00	5,22E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	1,46E-05	1,40E-06	2,51E-08	0,00E+00	1,31E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,51E-03	4,24E-04	1,02E-05	0,00E+00	1,08E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	4,10E-05	2,89E-05	3,29E-07	0,00E+00	1,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	9,92E-02	5,83E-02	8,85E-04	0,00E+00	3,99E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestric (TETP)	kg 1,4-DB eq	1,41E-05	5,26E-06	8,58E-08	0,00E+00	8,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 93: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee HFO Tier II Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	7,18E-03	1,15E-03	5,24E-08	0,00E+00	6,03E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	7,17E-03	1,15E-03	5,19E-08	0,00E+00	6,02E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	4,55E-06	1,42E-06	4,07E-10	0,00E+00	3,12E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	6,60E-06	2,92E-07	7,17E-11	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,37E-10	1,32E-10	9,93E-16	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	7,55E-05	4,22E-06	4,49E-10	0,00E+00	7,13E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,60E-08	7,95E-09	1,80E-12	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	3,54E-05	1,01E-06	1,26E-10	0,00E+00	3,44E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	3,85E-04	8,57E-06	1,41E-09	0,00E+00	3,77E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVO C eq	1,09E-04	1,16E-05	4,32E-10	0,00E+00	9,77E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	8,21E-09	5,77E-10	2,13E-13	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	8,55E-02	8,09E-02	7,97E-07	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	2,66E-04	9,81E-05	3,87E-09	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	9,86E-11	2,78E-11	3,78E-15	0,00E+00	7,08E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	2,33E-05	1,21E-05	2,75E-09	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3,92E-02	3,50E-02	3,56E-07	0,00E+00	4,22E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	4,06E-12	3,88E-13	5,30E-17	0,00E+00	3,67E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	3,02E-11	7,94E-12	5,04E-16	0,00E+00	2,23E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	5,93E-03	3,84E-03	5,18E-07	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 94: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee HFO Tier II Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	5,85E-08	1,72E-09	1,51E-12	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	3,91E-05	3,66E-05	3,51E-10	0,00E+00	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	6,53E-03	5,54E-04	5,05E-08	0,00E+00	5,98E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,03E-09	1,00E-09	7,31E-15	0,00E+00	2,13E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	3,66E-06	1,08E-06	3,65E-11	0,00E+00	2,58E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	5,60E-05	6,45E-06	3,80E-10	0,00E+00	4,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	1,27E-05	1,10E-06	6,96E-11	0,00E+00	1,16E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,89E-03	5,98E-04	2,59E-08	0,00E+00	1,29E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	6,90E-05	2,51E-05	4,93E-10	0,00E+00	4,39E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	1,25E-01	8,51E-02	1,66E-06	0,00E+00	4,01E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	1,17E-05	1,15E-06	1,59E-10	0,00E+00	1,05E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 95: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee LNG Tier II-III Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
-----------------	---------	--------	-------	----	----	---	----	----	----	----	---

051. Climate change	kg CO2 eq	7,47E-03	1,29E-03	1,30E-04	0,00E+00	6,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	7,46E-03	1,29E-03	1,30E-04	0,00E+00	6,04E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	-1,38E-06	5,43E-07	1,01E-07	0,00E+00	-2,02E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	6,66E-06	2,95E-07	5,76E-08	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,65E-11	8,78E-11	3,28E-12	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	2,00E-05	2,96E-06	2,51E-06	0,00E+00	1,45E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,71E-08	8,37E-09	7,17E-10	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	8,15E-06	6,70E-07	6,24E-07	0,00E+00	6,85E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	8,93E-05	7,37E-06	6,91E-06	0,00E+00	7,50E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,49E-05	8,48E-06	1,90E-06	0,00E+00	2,45E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	8,67E-09	9,48E-10	9,00E-11	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	8,55E-02	7,92E-02	1,71E-03	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	2,59E-04	8,66E-05	5,10E-06	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	6,85E-11	1,78E-11	2,55E-12	0,00E+00	4,82E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,84E-05	6,69E-06	5,63E-07	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	6,67E-03	2,29E-03	5,36E-04	0,00E+00	3,84E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	3,28E-12	4,57E-13	3,84E-14	0,00E+00	2,78E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,28E-11	5,35E-12	3,65E-13	0,00E+00	1,71E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	3,23E-03	1,04E-03	1,06E-04	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 96: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee LNG Tier II-III Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	5,80E-08	7,69E-10	4,86E-10	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	4,55E-05	4,23E-05	8,64E-07	0,00E+00	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	7,22E-03	1,09E-03	1,23E-04	0,00E+00	6,01E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,32E-10	3,94E-10	1,75E-11	0,00E+00	2,13E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	3,71E-06	1,15E-06	1,06E-07	0,00E+00	2,45E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	1,72E-05	4,93E-06	2,04E-06	0,00E+00	1,02E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	2,89E-06	2,56E-07	2,24E-07	0,00E+00	2,41E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,49E-03	5,28E-04	4,40E-05	0,00E+00	9,16E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	6,73E-05	5,36E-05	7,26E-07	0,00E+00	1,30E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	2,33E-01	1,90E-01	3,45E-03	0,00E+00	3,99E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	9,44E-06	5,35E-07	1,41E-07	0,00E+00	8,77E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 97: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee MGO Tier II Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	6,90E-03	1,17E-03	3,31E-05	0,00E+00	5,70E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	6,89E-03	1,16E-03	3,31E-05	0,00E+00	5,69E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	5,21E-06	1,79E-06	2,95E-08	0,00E+00	3,45E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	6,59E-06	2,74E-07	1,19E-08	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	6,13E-10	6,06E-10	7,58E-13	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	7,87E-05	6,27E-06	1,31E-07	0,00E+00	7,23E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,67E-08	8,12E-09	4,82E-10	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	3,55E-05	1,10E-06	4,22E-08	0,00E+00	3,44E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	3,87E-04	9,79E-06	5,00E-07	0,00E+00	3,77E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVO C eq	1,05E-04	7,99E-06	1,71E-07	0,00E+00	9,72E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	8,53E-09	7,76E-10	1,28E-10	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	9,36E-02	8,85E-02	4,70E-04	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	2,58E-04	9,23E-05	2,17E-06	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	1,29E-10	5,76E-11	2,56E-12	0,00E+00	6,85E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	2,62E-05	1,47E-05	3,46E-07	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3,12E-02	2,61E-02	2,74E-04	0,00E+00	4,78E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	3,76E-12	4,41E-13	1,53E-14	0,00E+00	3,31E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	5,32E-11	8,19E-12	2,62E-13	0,00E+00	4,47E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	4,61E-03	1,68E-03	8,46E-04	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 98: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee MGO Tier II Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	6,14E-08	2,46E-09	2,17E-09	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	4,40E-05	4,13E-05	2,36E-07	0,00E+00	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	6,64E-03	9,53E-04	3,23E-05	0,00E+00	5,65E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1,03E-09	1,00E-09	4,73E-12	0,00E+00	2,13E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	3,58E-06	1,47E-06	1,84E-08	0,00E+00	2,10E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

007. acidification (AP)	kg SO2 eq	5,87E-05	8,07E-06	1,15E-07	0,00E+00	5,05E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4---eq	1,27E-05	1,08E-06	2,17E-08	0,00E+00	1,16E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,80E-03	5,41E-04	8,74E-06	0,00E+00	1,25E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	6,65E-05	2,28E-05	2,81E-07	0,00E+00	4,34E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	1,44E-01	1,03E-01	7,39E-04	0,00E+00	4,00E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DB eq	1,18E-05	1,36E-06	7,36E-08	0,00E+00	1,03E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 99: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee Waterstof (vloeibaar Elektrolyse wind), verbrandingsmotor TIER III Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	1,19E-03	7,03E-04	1,84E-05	0,00E+00	4,65E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	1,18E-03	7,00E-04	1,83E-05	0,00E+00	4,61E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	7,60E-07	2,75E-06	2,95E-08	0,00E+00	2,02E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	6,94E-06	6,29E-07	9,40E-09	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	5,25E-11	4,64E-11	6,87E-13	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	2,71E-05	6,19E-06	1,06E-07	0,00E+00	2,08E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	3,11E-07	2,81E-07	1,70E-09	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,12E-05	8,74E-07	2,56E-08	0,00E+00	1,03E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,21E-04	8,94E-06	2,72E-07	0,00E+00	1,12E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,24E-05	2,70E-06	9,80E-08	0,00E+00	2,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	8,82E-08	7,97E-08	8,37E-10	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	1,36E-02	8,77E-03	2,43E-04	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	9,57E-04	7,85E-04	4,35E-06	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	9,90E-11	4,80E-11	1,53E-12	0,00E+00	4,95E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	3,67E-05	2,53E-05	2,88E-07	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	5,14E-02	4,70E-02	5,36E-04	0,00E+00	3,80E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	6,27E-12	3,46E-12	3,93E-14	0,00E+00	2,77E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	9,65E-11	8,13E-11	9,12E-13	0,00E+00	1,43E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	1,16E-02	9,25E-03	2,84E-04	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 100: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee Waterstof (vloeibaar Elektrolyse wind), verbrandingsmotor TIER III Set A1

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
-----------------	---------	--------	-------	----	----	---	----	----	----	----	---

001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	1,42E-07	8,38E-08	9,61E-10	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	3,24E-06	3,13E-06	8,74E-08	0,00E+00	2,51E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	6,40E-04	5,64E-04	1,31E-05	0,00E+00	6,32E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,31E-11	4,06E-11	1,85E-12	0,00E+00	6,40E-13	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	3,96E-07	3,85E-07	8,59E-09	0,00E+00	2,11E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	1,77E-05	4,87E-06	7,54E-08	0,00E+00	1,27E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	4,50E-06	1,19E-06	1,35E-08	0,00E+00	3,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,66E-03	1,61E-03	1,73E-05	0,00E+00	3,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	2,65E-05	2,61E-05	3,25E-07	0,00E+00	3,07E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	6,69E-02	6,60E-02	8,30E-04	0,00E+00	8,23E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestric (TETP)	kg 1,4-DB eq	8,53E-05	8,45E-05	8,34E-07	0,00E+00	4,10E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 101: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee Waterstof vloeibaar SMR Grijs), verbrandingsmotor TIER III Set A2

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
051. Climate change	kg CO2 eq	7,76E-03	7,28E-03	1,84E-05	0,00E+00	4,65E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	7,42E-03	6,94E-03	1,83E-05	0,00E+00	4,61E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	3,36E-04	3,38E-04	2,95E-08	0,00E+00	2,02E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Luluc	kg CO2 eq	7,53E-06	1,22E-06	9,40E-09	0,00E+00	6,30E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	3,99E-10	3,93E-10	6,87E-13	0,00E+00	5,45E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
056. Acidification	mol H+ eq	3,12E-05	1,03E-05	1,06E-07	0,00E+00	2,08E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	6,12E-08	3,14E-08	1,70E-09	0,00E+00	2,81E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,18E-05	1,52E-06	2,56E-08	0,00E+00	1,03E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,44E-04	3,12E-05	2,72E-07	0,00E+00	1,12E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,66E-05	6,92E-06	9,80E-08	0,00E+00	2,96E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
061. Resource use, minerals, metals	kg Sb eq	4,59E-08	3,74E-08	8,37E-10	0,00E+00	7,63E-09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
062. Resource use, fossils	MJ	1,06E-01	1,01E-01	2,43E-04	0,00E+00	4,64E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
063. Water use	m3 depriv.	6,74E-04	5,02E-04	4,35E-06	0,00E+00	1,68E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
064. Particulate matter	disease inc.	1,26E-10	7,48E-11	1,53E-12	0,00E+00	4,95E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	2,80E-05	1,65E-05	2,88E-07	0,00E+00	1,12E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	3,42E-02	2,99E-02	5,36E-04	0,00E+00	3,80E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
067. Human toxicity, cancer	CTUh	4,16E-12	1,35E-12	3,93E-14	0,00E+00	2,77E-12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	4,52E-11	3,00E-11	9,12E-13	0,00E+00	1,43E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
069. Land use	Pt	8,56E-02	8,33E-02	2,84E-04	0,00E+00	2,09E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel 102: Resultaten transport, vrachtschip, bulk-droog, zee Waterstof vloeibaar SMR Grijs), verbrandingsmotor TIER III Set

Effectcategorie	Eenheid	Totaal	A1-A3	A4	A5	B	C1	C2	C3	C4	D
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	9,93E-08	4,16E-08	9,61E-10	0,00E+00	5,68E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	6,12E-05	5,87E-05	1,13E-07	0,00E+00	2,42E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	7,71E-03	7,27E-03	1,65E-05	0,00E+00	4,21E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	6,77E-10	6,53E-10	2,49E-12	0,00E+00	2,13E-11	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	3,04E-06	1,50E-06	1,07E-08	0,00E+00	1,53E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	2,33E-05	8,81E-06	8,79E-08	0,00E+00	1,44E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	4,82E-06	1,29E-06	1,59E-08	0,00E+00	3,52E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,53E-03	5,96E-04	1,81E-05	0,00E+00	9,20E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	2,45E-05	1,24E-05	3,55E-07	0,00E+00	1,18E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	8,52E-02	4,43E-02	9,12E-04	0,00E+00	3,99E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	2,49E-05	1,54E-05	8,38E-07	0,00E+00	8,72E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

9. Bijlagen veranderingen register Ecolnvent 3.6 versus 3.6

Tabel 103: Aangepaste markt mix Petroleum {Europe without Switzerland}| market for petroleum | Cut-off, U

Proces	Milieuprofiel E.I. 3.9	Milieuprofiel E.I. 3.6
Productie Brazilië	Petroleum {BR} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	Petroleum {RoW} production, onshore Cut-off, U
Productie Brazilië	Petroleum {BR} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	Petroleum {RoW} production, onshore Cut-off, U
Productie Groot-Brittannië	Petroleum {GB} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	Petroleum {GB} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U
Productie Groot-Brittannië	Petroleum {GB} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	Petroleum {GB} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U
Productie Irak	Petroleum {IQ} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	Petroleum {RoW} production, onshore Cut-off, U
Productie Nigeria	Petroleum {NG} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	Petroleum {NG} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U
Productie Noorwegen	Petroleum {NG} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	Petroleum {NO} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U
Productie Noorwegen	Petroleum {NO} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	Petroleum {NO} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U
Productie Rusland	Petroleum {RU} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	Petroleum {RU} production, onshore Cut-off, U
Productie Rusland	Petroleum {RU} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	Petroleum {RU} production, onshore Cut-off, U
Productie U.S.A.	Petroleum {US} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	Petroleum {US} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U
Productie U.S.A.	Petroleum {US} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U	Petroleum {US} petroleum and gas production, onshore Cut-off, U
Productie Overig	Petroleum {RoW} petroleum and gas production, on-shore Cut-off, U	Petroleum {RoW} production, onshore Cut-off, U

Tabel 104: A1-A4 GTL, per ton

Proces	Milieuprofiel E.I. 3.9	Milieuprofiel E.I. 3.6
Feedstock	Natural gas, high pressure {QA} petroleum and gas production, offshore Cut-off, U	Natural gas, high pressure {RoW} natural gas production Cut-off, U