

Deel B: biobrandstoffen / herziening 2025

Update milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoefte van opname in de Nationale Milieudatabase

TNO 2025 R10271 – 25 februari 2025

Update milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase

Deel B: biobrandstoffen / herziening 2025

Auteurs	T.A. van der Kruk M. Bolech I. Vera A. van Horssen R. Scholtes
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Projectnaam	Rapportages LCA machine brandstofcombinaties en scheepsbrandstoffen deel 2 (biobrandstoffen) met zaak nr. 31177243
Projectnummer	060.51390

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Samenvatting

Ten behoeve van duurzaam inkopen heeft RWS aan TNO gevraagd om de milieuprofielen van een aantal (scheeps)brandstoffen te actualiseren conform de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken'. Voor onder andere kustlijnzorg wordt in opdracht van RWS namelijk veel gebaggerd en grond verzet. Het betreft een update van de eerdere rapportage "Milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase" (Jochems-Verstraeten et al., 2016).

In deel A van de actualisatie zijn de fossiele brandstoffen opgenomen (TNO 2021 R11430a) en in deel B is het milieuprofiel van HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) opgesteld (TNO 2023 R11357). De belangrijkste aanleidingen voor de update zijn het actualiseren van de gebruikte rekenmethodes, databases en achtergronddata en omdat de profielen uit 2016 verlopen waren. De profielen uit 2016 vallen onder categorie 2: merkongebonden data van groepen fabrikanten en/of toeleveranciers en branches, welke verlopen na 5 jaar. De nieuwe profielen vallen onder categorie 3, welke in beheer zijn van en geactualiseerd worden door stichting NMD.

In verband met een recente wijziging van de Bepalingsmethode (naar versie 1.2) is er echter een nieuwe herziening nodig voor HVO uit deel B. In de versie 1.1 van de Bepalingsmethode moest er in het geval van netto verlies van secundair materiaal een milieulast berekend worden. Volgens de huidige versie dient een netto negatieve secundaire outputstroom gelijk te worden gesteld aan 0. Dit betekent dat er voor HVO geen milieulast voor verloren secundaire grondstoffen berekend moet worden.

Voor de inzet van biobrandstoffen is er Europees beleid (Renewable Energy Directive II, ook wel REDII). De uitgangspunten van dit beleid zijn naast de Bepalingsmethode gelegd om te zien of dit aanleiding geeft eerdere uitgangspunten te herzien. Er is geprobeerd om maximaal te uniformeren, om zoveel mogelijk recht te doen aan de REDII en de Bepalingsmethode. De uitgangspunten en de methodiek zijn afgestemd met een externe klankbordgroep, bestaande uit experts op het gebied van de Bepalingsmethode en de REDII.

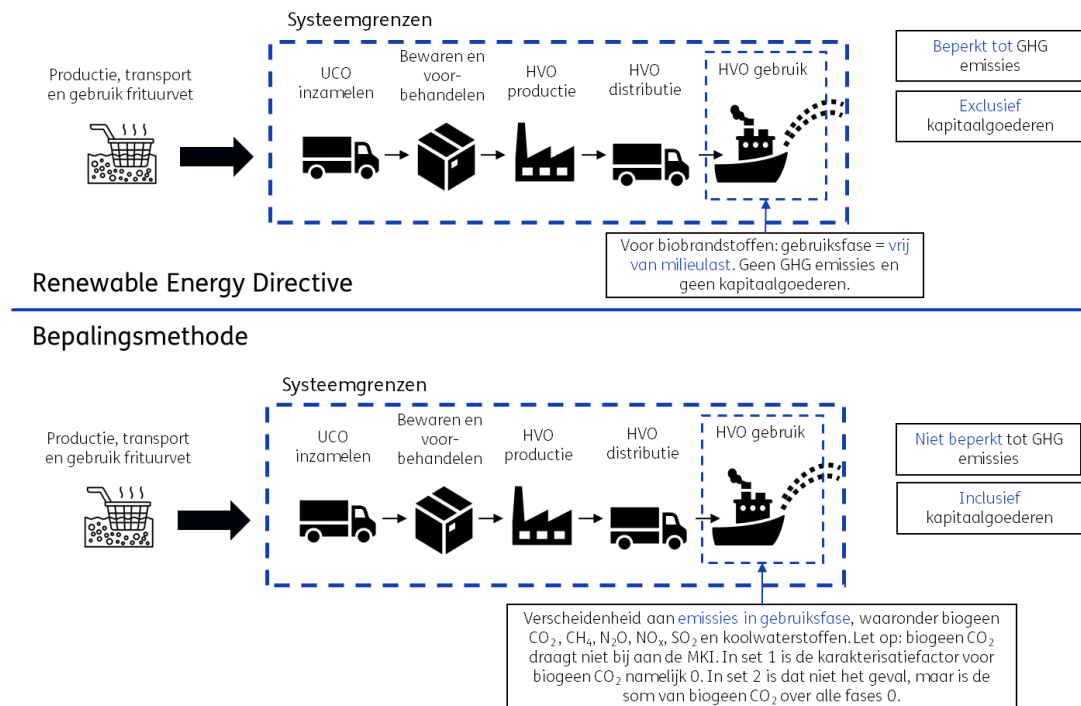
In deze herziene rapportage van februari 2025 is geen aanvullend onderzoek verricht naar ontwikkelingen in het Europees beleid (RED) sinds de voorgaande rapportage (augustus 2023).

De methodiek zoals vastgesteld door de klankbordgroep wordt samengevat in Figuur 0.1 waar de scope van zowel de Bepalingsmethode als de REDII weergegeven is voor HVO op basis van afgewerkt frituurvet (ook wel Used Cooking Oil, ofwel UCO genoemd).

Samenvattend zijn er verschillen op de onderwerpen kapitaalgoederen, emissies en systeemgrenzen. De REDII beschouwt uitsluitend GHG-emissies (broeikasgasemissies), terwijl de Bepalingsmethode een breed scala aan emissies beschouwt. Daarnaast beschouwt de Bepalingsmethode kapitaalgoederen, waar de REDII deze buiten beschouwing laat. De REDII en de Bepalingsmethode kennen verschillen en overeenkomsten op het onderwerp systeemgrenzen.

Bij beide methodieken valt de productie, het transport en gebruik van frituurvet buiten deze systeemgrenzen. Wel worden meegenomen:

- › inzamelen van afgewerkt frituurvet
- › bewaren en voorbehandelen van afgewerkt frituurvet
- › HVO productieprocessen
- › HVO distributie
- › HVO gebruik



Figuur 0.1: Overzicht van de scope volgens de Bepalingsmethode en de REDII, uitgewerkt voor HVO op basis van afgewerkt frituurvet (UCO = Used Cooking Oil).

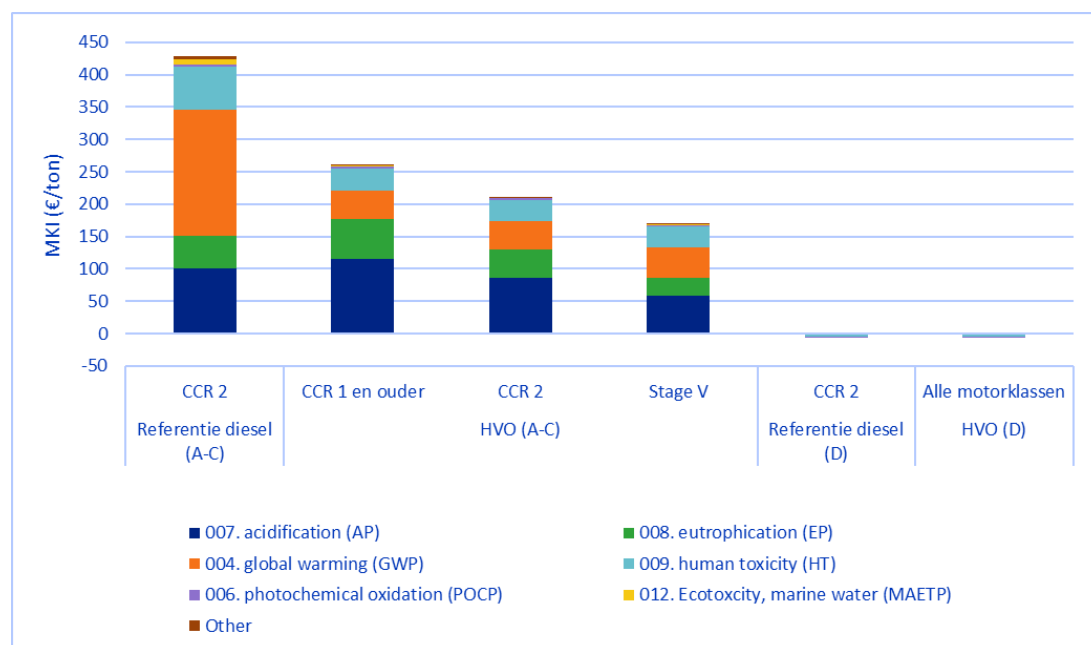
De verschillen in resultaten tussen de REDII en de Bepalingsmethode kunnen verklaard worden door het verschil in uitgangspunten voor de beschouwing van kapitaalgoederen en emissies. In de Bepalingsmethode vallen de kapitaalgoederen binnen de scope en bij de REDII niet. En voor de Bepalingsmethode wordt een breed scala aan emissies in alle levensfasen beschouwd, terwijl voor de REDII CO₂, CH₄ en N₂O worden beschouwd. Bovendien worden in de REDII geen emissies in de gebruiksfase beschouwd.

Een ander verschil tussen de twee methodes is dat voor de Bepalingsmethode baten en lasten buiten het systeem worden beschouwd (module D) en voor REDII niet. Door de wijziging de Bepalingsmethode is de bijdrage van module D beperkt en zorgt dit niet voor een groot verschil tussen de twee methodes. De wijziging in de Bepalingsmethode heeft wel hele grote gevolgen gehad voor de huidige resultaten. De resultaten berekend volgens de vorige Bepalingsmethode (versie 1.1) werden namelijk gedomineerd door module D.

Omdat de milieu-impact bij de inzet van een brandstof verschilt, afhankelijk van verbranding in een ouder of nieuwer motortype, zijn er drie typerende motoren gekozen om het verschil te illustreren. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen verschillende motortypen die typisch op binnenvaartschepen worden ingezet, namelijk één die voldoet aan CCR¹ 1 (vanaf 2003), één die voldoet aan CCR 2 (vanaf 2007, vergelijkbaar met emissieklasse stage² IIIA), en tot slot een moderner schip, dat voldoet aan stage V emissienormen (vanaf 2019).

De resultaten worden vervolgens voor de drie verschillende motortypen die zijn onderzocht weergegeven in Figuur 0.2 en vergeleken met de fossiele referentie diesel voor het motortype CCR 2. De milieu-impact wordt hierbij uitgedrukt in de milieukostenindicator (MKI) per ton brandstof. Een vergelijking op energie-inhoud (per MJ) levert geen andere inzichten op, omdat de energiedichtheden van de twee brandstoffen dicht bij elkaar liggen.

De MKI van HVO (motortype CCR2, MKI = 211) is 51% lager dan van de fossiele referentie (motortype CCR2, MKI = 428). Module D bestaat uit de milieubaten ten gevolge van het recycleren van het staal uit de schepen. Hierdoor is module D voor alle situaties -4 euro MKI.



Figuur 0.2: Uitsplitsing MKI per milieueffect ton brandstof.

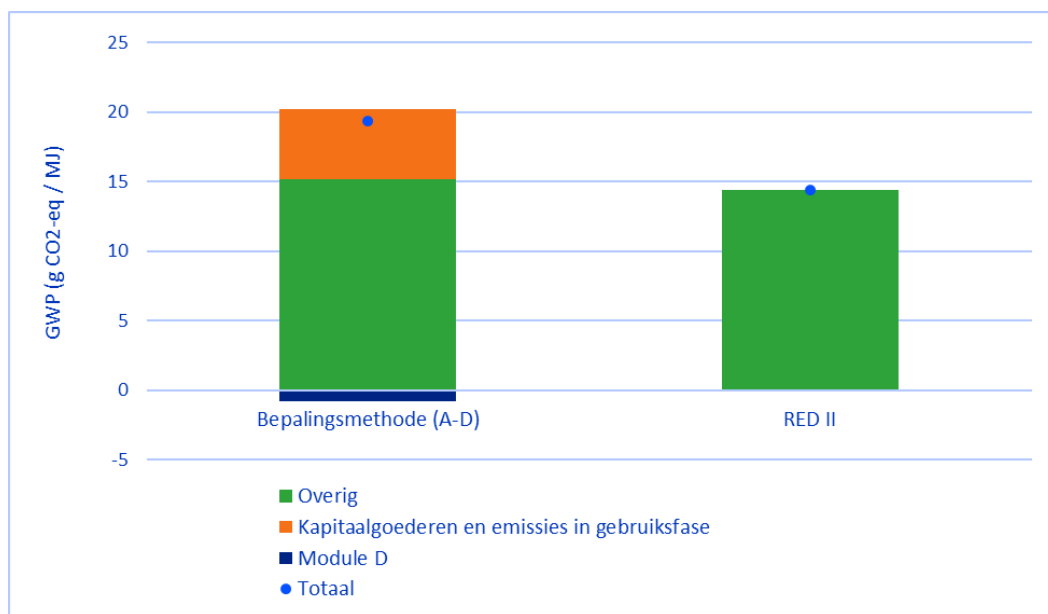
Het apart weergegeven van module D lijkt onzinnig, omdat de bijdrage aan het totaal klein is. In de vorige versie was de bijdrage van module D echter significant. Het verschil in resultaten tussen de uitgangspunten van Bepalingsmethode versie 1.1 en versie 1.2 zijn weergegeven in een gevoeligheidsanalyse.

Het milieuprofiel van HVO volgens de Bepalingsmethode is vergeleken met de uitkomsten volgens de REDII. Hierbij kan er vanwege de scope van de REDII alleen een vergelijking op de Global Warming Potential (GWP) plaatsvinden, en dus niet op de overige milieueffecten waar de MKI uit opgebouwd is. In Figuur 0.3 wordt de GWP (in g CO₂-eq per MJ HVO) bepaald volgens de Bepalingsmethode en de REDII met elkaar vergeleken.

¹ Emissienorm van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart

² Europese emissienorm voor motoren gebruikt in non-road mobile machinery

De invloed van module D en de emissies en kapitaalgoederen uit de gebruiksfase vallen buiten scope onder de REDII. Wanneer deze buiten beschouwing worden gelaten zijn de verschillen tussen de REDII en de Bepalingsmethode beperkt: de resultaten onder de Bepalingsmethode komen dan nog ongeveer 5% hoger uit dan onder de REDII. Deze verschillen ontstaan in module A2 en A4, vanwege een verschil in bepaling van de impact van transport.



Figuur 0.3: Vergelijking van de Global Warming Potential (GWP) van de profielen volgens de Bepalingsmethode en de REDII in g CO₂-eq per MJ HVO.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Onderwerp	9
1.3 Opzet	10
2 Methodologie voor de bepaling van het milieuprofiel van HVO	11
2.1 Achtergrond Renewable Energy Directive	11
2.2 Achtergrond Bepalingsmethode	19
2.3 Uitwerking methodologie voor de biobrandstoffen	23
3 Doel en Reikwijdte	31
3.1 Doel en doelgroep	31
3.2 Omschrijving brandstof	32
3.3 Rekeneenheid	32
3.4 Berekeningsprocedures en standaarden	32
3.5 Effectbeoordeling	33
3.6 Allocatie	35
3.7 Reikwijdte	35
4 Levenscyclusinventarisatie	39
4.1 A1 – Winning grondstoffen	39
4.2 A2 – Transport naar de producent	39
4.3 A3 – Productie	41
4.4 A4 – Transport naar de gebruiker	44
4.5 B1- Gebruiksfase	45
4.6 Module D	54
5 Effectbeoordeling	57
5.1 Levenscyclusfasen	57
5.2 Milieueffecten	58
6 Interpretatie	60
6.1 Zwaartepuntanalyse	60
6.2 Gevoeligheidsanalyse	61
7 REDII: Berekeningen & resultaten	65
7.1 Berekeningen	65
7.2 Resultaten	67
7.3 Vergelijking RED en Bepalingsmethode	68
8 Conclusies en aanbevelingen	69
Referenties	71
Ondertekening	73

Bijlagen:

Bijlage A : Gekarakteriseerde milieueffecten op basis van set 1 (Bepalingsmethode)	81
Bijlage B : MKI	85
Bijlage C : Gekarakteriseerde milieueffecten op basis van set 2 (EN 15804/A2:2019)	86
Bijlage D : Review statement	89
Bijlage E : Samenstelling klankbordgroep	90

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Ten behoeve van duurzaam inkopen heeft RWS aan TNO gevraagd om de milieuprofielen van een aantal (scheeps)brandstoffen te actualiseren conform de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken'. Voor onder andere kustlijnverzorging wordt in opdracht van RWS namelijk veel gebaggerd en grond verzet. Het betreft een update van de eerdere rapportage "Milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase" (Jochimsen-Verstraeten et al., 2016).

In deel A van de actualisatie zijn de fossiele brandstoffen opgenomen (TNO 2021 R11430a) en in deel B is het milieuprofiel van HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) opgesteld (TNO 2023 R11357). De belangrijkste aanleidingen voor de update zijn het actualiseren van de gebruikte rekenmethodes, databases en achtergronddata en omdat de profielen uit 2016 verlopen waren. De profielen uit 2016 vallen onder categorie 2: merkongebonden data van groepen fabrikanten en/of toeleveranciers en branches, welke verlopen na 5 jaar. De nieuwe profielen vallen onder categorie 3, welke in beheer zijn van en geactualiseerd worden door stichting NMD.

In verband met een recente wijziging van de Bepalingsmethode (naar versie 1.2) is er echter een nieuwe herziening nodig voor HVO uit deel B. In de versie 1.1 van de Bepalingsmethode moest er in het geval van netto verlies van secundair materiaal een milieulast berekend worden. Volgens de huidige versie dient een negatieve secundaire outputstroom gelijk te worden gesteld aan 0. Dit betekent dat er voor HVO geen milieulast voor verloren secundaire grondstoffen berekend moet worden.

Voor de inzet van biobrandstoffen is er Europees beleid (Renewable Energy Directive II, ook wel REDII). De uitgangspunten van dit beleid zijn naast de Bepalingsmethode gelegd om te zien of dit aanleiding geeft eerdere uitgangspunten te herzien. Er is geprobeerd om maximaal te uniformeren, om zoveel mogelijk recht te doen aan de REDII en de Bepalingsmethode. De uitgangspunten en de methodiek zijn afgestemd met een externe klankbordgroep, bestaande uit experts op het gebied van de Bepalingsmethode en de REDII. De samenstelling van deze klankbordgroep is opgenomen in Bijlage E.

In deze herziene rapportage van februari 2025 is geen aanvullend onderzoek verricht naar ontwikkelingen in het Europees beleid (RED) sinds de voorgaande rapportage (augustus 2023).

1.2 Onderwerp

Deze rapportage beschrijft de milieu-impact gerelateerd aan het gebruik van Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) op basis van afgewerkt frituurvet voor toepassing in baggerschepen in zoet water. In paragraaf 3.2 wordt HVO op basis van frituurvet in meer detail beschreven.

1.3 Opzet

Na deze inleiding komen de volgende hoofdstukken aan de orde:

2. Methodologie voor de bepaling van het milieuprofiel van HVO
3. Doel en *Reikwijdte, waarin het beoogde inzet van de bepaling wordt ingekaderd.*
4. Levenscyclusinventarisatie
5. Effectbeoordeling
6. Interpretatie, met een duiding van de eerdere uitkomsten
7. REDII berekeningen en resultaten
8. Conclusies en aanbevelingen

2 Methodologie voor de bepaling van het milieuprofiel van HVO

Dit hoofdstuk beschrijft de aanpak om een milieuprofiel van HVO op te stellen. Eerst worden de kaders geschetst waarbinnen deze wordt afgeleid. Voor het beoogde doel van deze rapportage moet de aanpak voldoen aan de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken (hierna: Bepalingsmethode) en wordt waar mogelijk geharmoniseerd (doel is maximaal te uniformeren) met de richtlijn hernieuwbare energie (Renewable Energy Directive, hierna: RED). De achtergrond van beiden wordt in paragraaf 2.1 en 2.2 toegelicht. Paragraaf 2.3 beschrijft de afgeleide methodologie en licht de gemaakte keuzes toe.

De methodologie voor het bepalen van de milieu impact van biobrandstoffen is tot stand gekomen in consultatie met een klankbordgroep. Deze bestaat uit experts op het gebied van de RED en de Bepalingsmethode. De samenstelling van deze klankbordgroep is opgenomen in Bijlage E.

2.1 Achtergrond Renewable Energy Directive

De Renewable Energy Directive II (REDII) is in 2018 geïntroduceerd en stelt het kader vast om de acceptatie van hernieuwbare energie in de EU te waarborgen voor de periode 2021-2030. REDII stelt de doelstellingen, gemeenschappelijke beginselen en regels vast voor de ontwikkeling van hernieuwbare energie en daarmee gepaarde CO₂-reductie in alle sectoren van de Europese economie en ondersteunt samenwerking tussen EU-landen (European Commission, 2018). Het belangrijkste doel van REDII is om tegen 2030 'ten minste 32%' van hernieuwbare energiebronnen (Renewable Energy Supply, ofwel RES) in de algehele energiemix te bewerkstelligen. Daarnaast kent de REDII een eigen methode voor het berekenen van de CO₂-reductie van biobrandstoffen.

2.1.1 Implementatie RED

In het kader van de implementatie van deze richtlijn en het Klimaatakkoord heeft de Nederlandse regering in december 2021 een Verordening uitgevaardigd om de verplichtingen voor hernieuwbare energie van Nederland vast te stellen tot 2030 (De Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, 2020). Onlangs is als onderdeel van het 'Fit for 55'-pakket om de Europese Green Deal te realiseren, een herziening van REDII gestart en zijn verschillende wijzigingen voorgesteld. Dit voorstel (RED III) is uitgebreid besproken tussen de Europese Commissie, het Parlement en de EU-lidstaten. Zodra de definitieve versie officieel is aangenomen, zal de Nederlandse regering de procedures starten om deze in nationale wet- en regelgeving om te zetten. Daarbij worden ook voorschriften voor de transportsector geïntroduceerd (relevant voor dit rapport). De belangrijkste verschillen tussen REDII, REDIII en de Nederlandse regelgeving voor de transportsector zijn te vinden in Tabel 2.1 en zijn daarna verder toegelicht in paragraaf 2.1.1.1 t/m 2.1.1.5.2.1.1.1

Tabel 2.1: Vergelijking tussen REDII, Nederlandse regelgeving en REDIII (Uslu, 2022)

	REDII	Nederlandse regelgeving	REDIII
Eindgebruikers die onder de verplichting vallen	Totale energie die wordt gebruikt in het weg- en spoorvervoer.	Diesel, benzine en zware stookolie geleverd aan: - Weg- en spoorvervoer - Mobiele machines die niet op de weg rijden - Landbouwtractoren en bosbouwmachines - Recreatievaartuigen (wanneer niet op zee).	Totale energie die wordt gebruikt in alle transportmodi: - Weg- en spoorvervoer - Binnenvaart - Luchtvaart- en maritieme sector.
Type en hoogte van doelstelling	Het aandeel van hernieuwbare energie in transport moet tegen 2030 ten minste 14% bedragen (energie-inhoud en inclusief meervoudige telling ³).	Algeheel doel voor hernieuwbare energie van ten minste 17,9% in 2022, stijgend naar 28% in 2030 (energie-inhoud inclusief meervoudige telling ³).	Algemeen doel voor vermindering van de intensiteit van broeikasgasemissies: 14.5% reductie tegen 2030, vergeleken met de berekende basislijn (geen meervoudige telling ³) Dit komt overeen met een op energie gebaseerd doel van 29%
Doelstelling voor geavanceerde biobrandstoffen uit Annex IX-A	Ten minste 0,2% in 2022, 1% in 2025 en 3,5% in 2030 inclusief dubbeltelling ³ .	Lineaire groei van 1,8% in 2022 naar 7% in 2030 inclusief dubbeltelling ³ .	5,5% voor bijlage IX-A en RFNBO samen met dubbeltelling. RFNBO moet minimaal 1% zijn. Daarom een fysieke bijdrage van 2,25% bijlage IX-A en 0,5% RFNBO.
Doelstelling voor “Renewable Fuels of Non-Biological Origin” (RFNBOs)”	-	-	5,5% voor bijlage IX-A en RFNBO samen met dubbeltelling. RFNBO moet minimaal 1% zijn. Daarom een fysieke bijdrage van 2,25% bijlage IX-A en 0,5% RFNBO.

³ Let op dat dubbel (of meervoudig) tellen betekent dat de bijdrage van de energiebron aan het doel van hernieuwbare energiebronnen in de transportsector dubbel (of meervoudig) kan worden geteld vanuit de fysieke bijdrage. Als bijvoorbeeld de fysieke bijdrage van biobrandstoffen in het energieverbruik van de transportsector overeenkomt met 1%, kan dit afhankelijk van de REDII-criteria als 2% worden geteld voor het doel.

	REDII	Nederlandse regelgeving	REDIII
Limiet op biobrandstoffen uit gewassen voor voedsel- en voederproductie	Niet meer dan 1 procentpunt hoger dan het aandeel van 2020 in het weg- en spoorvervoer, met een maximum van 7%. Lidstaten mogen een lagere limiet instellen en mogen onderscheid maken tussen verschillende biobrandstoffen uit voedsel- of voedergewassen.	Beperkt tot het niveau van 2020, wat neerkomt op 1,4% van de totale diesel- en benzineverbruik in transport. Het gebruik van palm- en sojaolie als grondstof is niet toegestaan vanwege het risico op verandering in indirect landgebruik (iLUC).	De limiet is hetzelfde als dat van REDII, met als verschil dat de transportsector is uitgebreid om ook de luchtvaart- en maritieme sector te omvatten. Als een lidstaat besluit om het aandeel verder te beperken, kan die lidstaat het doel voor vermindering van de intensiteit van broeikasgasemissies verlagen.
Limiet op biobrandstoffen uit grondstoffen uit Annex IX-B (vooral dierlijk vet en afgewerkt frituurvet)	Beperkt tot 1,7% van de energie-inhoud van transportbrandstoffen in 2030.	Beperkt tot het niveau van 2020	Net als REDII, met het verschil dat de transportsector wordt uitgebreid om ook luchtvaart en scheepvaart te omvatten.
Dubbeltelling³	Biobrandstoffen en biogas van bijlage IX-A en B kunnen dubbel worden geteld Hernieuwbare elektriciteit kan 4 keer worden geteld wanneer deze wordt geleverd aan wegvoertuigen en 1,5 keer wanneer deze wordt geleverd aan railvervoer. Geavanceerde biobrandstoffen en andere hernieuwbare brandstoffen in de luchtvaart en scheepvaart kunnen 1,2 keer hun energie-inhoud worden geteld.	Biobrandstoffen en biogas van bijlage IX-A en B kunnen dubbel worden geteld. Hernieuwbare elektriciteit in wegvervoer wordt geteld als 4 keer de energie-inhoud. Hernieuwbare elektriciteit in railvervoer wordt niet meegeteld. RFNBO telt 2,5 keer mee voor het algemene doel. Geavanceerde biobrandstoffen en andere hernieuwbare brandstoffen voor de luchtvaart en scheepvaart kunnen tot 1 januari 2025 worden meegeteld voor het doel. Daarna tellen ze niet meer mee.	5,5% voor bijlage IX-A en RFNBO samen met dubbeltelling. RFNBO moet minimaal 1% zijn.
Drempelwaarde voor CO₂-reductie	Vanaf 1 januari 2021 geldt een minimale reductie van 65% voor installaties die biobrandstoffen produceren en ten minste 70% voor installaties die RFNBO produceren.	Identiek aan REDII	Identiek aan REDII

	REDII	Nederlandse regelgeving	REDIII
Hernieuwbaarheid van RFNBO	Het gemiddelde aandeel van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen, gemeten twee jaar voor het betreffende jaar, wordt gebruikt om het aandeel van hernieuwbare energie te bepalen.	Identiek aan REDII	RFNBO's tellen alleen mee voor de EU-doelstelling voor hernieuwbare energie als ze meer dan 70% minder broeikasgassen uitstoten in vergelijking met fossiele brandstoffen
Overige biobrandstoffen	Niet genoemd	Vloeibare biobrandstoffen geproduceerd uit gewassen die geen risico inhouden op uitbreiding van landbouwgrond (bijvoorbeeld vanggewassen en dekkinggewassen) kunnen worden meegerekend voor het doel.	Niet genoemd

2.1.1.1 Doelstellingen

De Nederlandse Verordening stelt een verplicht aandeel van hernieuwbare energie vast dat geleidelijk toeneemt tot 28,0% in 2030. Dit is strenger in vergelijking met 14% van het aandeel hernieuwbare energie tegen 2030 (REDII). Beide doelstellingen omvatten echter dubbeltelling³. REDIII heeft een doelstelling van een vermindering van de GHG-intensiteit van 14.5% voor transport tegen 2030, wat gelijk is aan een energiegerichte doelstelling van 29% met behulp van de methodologie in de huidige richtlijn REDII. Door een doelstelling voor de vermindering van de GHG-intensiteit vast te stellen, vervallen bij de REDIII bijna alle multipliers die verband houden met hernieuwbare brandstoffen en hernieuwbare elektriciteit die in transport worden gebruikt. De dubbeltelling is echter alleen van toepassing op geavanceerde biobrandstoffen (bijlage IX-A) en RFNBO.

2.1.1.2 Dekking van sectoren

De Nederlandse Verordening geldt voor diesel, benzine en zware stookolie geleverd aan weg- en spoorvervoer, mobiele machines en recreatievaart (wanneer niet op zee). Het sluit brandstoffen uit die worden geleverd aan bunkering voor de scheepvaart en de luchtvaart. REDIII stelt voor om de omvang van de brandstofpool uit te breiden en alle soorten brandstoffen en energie uit de transportsectoren, inclusief lucht- en scheepvaart, te omvatten. Dit betekent dat zowel het GHG-intensiteitsreductiedoel als de subdoelen voor sommige hernieuwbare brandstoffen die in REDIII worden geïntroduceerd, waarschijnlijk groter zullen zijn dan de doelen die zijn vastgesteld in de Verordening. Volgens Eurostat omvat de transportsector vijf belangrijke transportmodi: luchtvaart, binnenvaart, spoor, weg en maritiem (zee).

2.1.1.3 Subdoelstelling voor geavanceerde biobrandstoffen (Annex IX A)

De Nederlandse verordening stelt het subdoel voor geavanceerde biobrandstoffen op 7% in 2030 (inclusief dubbeltelling³). Dit betekent dat de fysieke bijdrage 3,5% van de energie-inhoud van geleverde brandstoffen aan weg- en spoorvervoer, niet-weggebonden machines en recreatievaartuigen moet zijn. REDIII stelt een gecombineerd subdoel voor van 5,5% voor bijlage IX A en RFNBO samen met dubbeltelling. RFNBO moet minimaal 1% zijn. Daarom een fysieke bijdrage van 2,25% bijlage IX a en 0,5% RFNBO.

2.1.1.4 Limiet op biobrandstoffen Annex IX B

De Nederlandse Verordening stelt een limiet aan de biobrandstoffen geproduceerd uit grondstoffen die vermeld staan in Bijlage IX, Deel B. Het gebruik van biobrandstoffen is beperkt tot het niveau van 2020, wat 5% was van het nationale transport zonder dubbeltelling en 10% met dubbeltelling. Deze aandelen gelden voor de energie-inhoud van de brandstofleveringen die onder de scope van de jaarlijkse verplichting voor definitief verbruik in Nederland vallen. REDIII verandert de limiet niet, wat 1,7% is van de energie die in 2030 aan de transportsector wordt geleverd.

2.1.1.5 Subdoelstelling voor RFNBO

Noch REDII, noch de Nederlandse verordening omvat een subdoelstelling voor RFNBO. REDIII stelt een gecombineerd subdoel voor van 5,5% voor bijlage IX A en RFNBO samen met dubbeltelling. RFNBO moet minimaal 1% zijn. Daarom een fysieke bijdrage van 2,25% bijlage IX a en 0,5% RFNBO. Voor de berekening van het aandeel RFNBO kunnen lidstaten ook RFNBO opnemen wanneer ze worden gebruikt als tussenproducten om conventionele brandstoffen te produceren.

Voor Nederland werd het REDII (en RED) doel vertaald naar jaarlijkse verplichtingen voor brandstofleveranciers. Bedrijven die meer dan 500.000 liter benzine en diesel leveren aan bepaalde bestemmingen moeten een toenemend jaarlijks aandeel van hernieuwbare energie leveren. Hoewel de verplichting niet werd opgelegd aan bunkering, omvatte de Nederlandse implementatie van REDII de optie vanaf 2018 (met de inwerkingtreding van de update van titel 9.7 van de Milieuwet). Brandstofleveranciers aan wegtransport met een jaarlijkse verplichting kregen de optie om hernieuwbare energie te gebruiken in de maritieme scheepvaart, om zogenaamde hernieuwbare brandstofeenheden (hierna HBE's⁴) te verkrijgen, of om deze HBE's via het handelssysteem te kopen. Dit werd gecreëerd om de acceptatie van biobrandstoffen in de maritieme transportsector te vergroten. Bovendien was het ook bedoeld om internationale ervaring op te doen met toekomstige duurzaamheidsafspraken voor maritiem transport. Als gevolg hiervan namen de biobrandstofleveringen aan de scheepvaartsector aanzienlijk toe in 2020. Ondanks deze positieve ontwikkeling voor de maritieme sector konden deze biobrandstoffen niet meetellen voor de Europese transportdoelstellingen vanwege het verschil in sectordekking. Hierdoor ging de grote bijdrage van biobrandstoffen aan de scheepvaart ten koste van hun gebruik in het wegtransport.

Er zijn nog steeds lopende discussies over de wijzigingen in REDIII ten opzichte van REDII tussen de Europese Commissie, het Parlement en de EU-lidstaten. Zodra de definitieve versie van REDIII officieel wordt aangenomen, zullen alle lidstaten de procedures starten om dit in hun nationale wet- en regelgeving op te nemen. Het is nog steeds onzeker wat de gevolgen

⁴ One gigajoule of energy content of renewable energy represents one HBE

van REDIII zal zijn voor de verschillende transportsectoren. REDIII stelt echter voor de omvang van het brandstofaanbod uit te breiden en alle soorten brandstoffen en energie uit de transportsectoren, inclusief de luchtvaart en de scheepvaart, te omvatten. Bovendien worden alle meervoudige tellingen afgeschaft, behalve voor Annex IX-A-biobrandstoffen en RFNBO's. Voor sommige landen, zoals Nederland, is de Annex IX-B-biocapaciteit voor brandstoffen in de wegvervoersector al gehaald, maar de uitbreiding van het brandstofaanbod kan leiden tot extra gebruik van deze brandstoftypen als buffer. Sommige voorspellingen verwachten echter dat er een verschuiving zal plaatsvinden van Annex IX-B-biobrandstoffen naar de luchtvaartsector, wat resulteert in een aanzienlijk deel van de limiet dat wordt besteed aan de luchtvaartsector (Uslu, 2022) en (reeds in) wegtransport. Gezien deze overwegingen voor de algehele vervoerssector, wordt verwacht dat de vraag naar Annex IX-A-biobrandstoffen zal toenemen met nieuwe doelstellingen.

Lidstaten kunnen ambitieuzer zijn bij het instellen van een limiet op specifieke hernieuwbare energiebronnen, maar ze mogen niet minder streng zijn dan REDII. Ter illustratie, voor Annex IX-B biobrandstoffen is het voor geen enkele lidstaat toegestaan om de 1,7% limiet van het finale energieverbruik te overschrijden. Dit is duidelijk geworden met de inwerkingtreding van REDII in 2021 en de gevolgen hiervan voor de Nederlandse transportsector. De Annex IX-B limiet leidde tot een afname van de hernieuwbare energiebronnen in de Nederlandse transportsector van 12% naar 9%. In 2021 kwam het gebruik van biobrandstoffen in Nederlandse transportsector overeen met 26,3 PJ, waarvan 15 PJ Annex IX-B biobrandstoffen waren (enkelvoudig geteld) (Eurostat, 2022). De 1,7% limiet op Annex IX-B biobrandstoffen in Nederland voor 2021 komt overeen met 6,7 PJ. Daarom konden van de 15 PJ Annex IX-B biobrandstoffen die werden gebruikt in de transportsector slechts 6,7 bijdragen aan de hernieuwbare energiedoelen; dus 8,3 mochten niet bijdragen. Omdat het grootste deel van de biobrandstoffen die in de Nederlandse transportsector worden gebruikt afkomstig is van annex IX deel-b, daalde hierdoor de hernieuwbare energiebronnen. Merk op dat de hernieuwbare energiebronnen in de transportsector van REDII momenteel de maritieme en luchtvaartbrandstoffen uitsluiten van de totale brandstofpools.

2.1.2 Certificering

Om in de REDII mee te mogen tellen als hernieuwbare brandstof is certificatie van o.a. de soort grondstof, de herkomst van de grondstof en de emissie per ketenstap een vereiste. Op het 'bewijs van duurzaamheid' dat de NEa ontvangt staat o.a. uit welke grondstof de brandstof gemaakt is en waar deze vandaan komt. Samen met de vereiste 'non-modificatie verklaring' uitgegeven door het certificeringsschema aan het begin van de keten dient dit als bewijs dat het daadwerkelijk om de aangegeven grondstof gaat. Als de bijgevoegde informatie niet voldoet aan de gestelde eisen, dan wordt de partij brandstof niet gezien als "duurzaam" en niet geregistreerd als hernieuwbaar. Alleen wanneer er voldaan is aan de certificering kan een grondstof uit Annex IX (en dus afgewerkt frituurvet) volgens de REDII gezien worden als afval en kan de productie (upstream) van de grondstof buitenbeschouwing gelaten worden.

Op de website van NEA is de certificering nader toegelicht. Deze wordt voor de volledigheid hieronder geciteerd (Nederlandse Emissieautoriteit, n.d.):

“Duurzaamheid biobrandstoffen

De wet- en regelgeving voor Energie voor Vervoer staat alleen de inzet van biobrandstoffen toe als die duurzaam zijn. Bedrijven mogen alleen biobrandstoffen inboeken in het Register Energie voor Vervoer (REV) als zij voldoen aan de Europese emissiereductie- en duurzaamheidseisen. Deze eisen gelden voor vloeibare en gasvormige biobrandstoffen.

Certificering van de productieketen

Certificering is een belangrijke voorwaarde voor het aantonen dat geleverde biobrandstoffen voldoen aan de eisen. De gehele productieketen van biobrandstoffen moet gecertificeerd zijn volgens een duurzaamheidssysteem. Dat begint bij de teelt van gewassen en eindigt bij de bedrijven die de biobrandstoffen inboeken leveren aan de Nederlandse markt voor vervoer en inboeken in het REV. De certificering van de inboeker moet betrekking hebben op de specifieke locatie waarvan geleverd wordt. Per gecertificeerde locatie moeten bedrijven een afzonderlijke massabalans van biobrandstoffen bijhouden.

Bedrijven mogen alleen duurzaamheidssystemen (voluntary schemes) gebruiken die zijn erkend door de Europese Commissie.

Duurzaamheidsclaim bij inboeken

Eenmaal ingeboekte biobrandstof mag niet als duurzame biobrandstof worden doorgeleverd aan een afnemer; de duurzaamheidsclaim vervalt namelijk bij het inboeken. Hierdoor kan de duurzaamheid slechts door één partij verzilverd worden met Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE's). Dit wordt geborgd doordat de inboeker in de massabalans de ingeboekte biobrandstoffen afboekt en de bestemming 'NEa' geeft.

Als een bedrijf de duurzaamheid van biobrandstoffen niet kan aantonen, dan kan het deze brandstoffen niet inboeken in het REV. Hiervoor ontvangt het bedrijf dus geen HBE's.

Duurzaamheidseisen

Biobrandstoffen tellen alleen mee voor het voldoen aan de verplichtingen Energie voor Vervoer als ze duurzaam zijn. De duurzaamheidseisen zijn op Europees niveau uitgewerkt in de Richtlijn hernieuwbare energie.

In Nederland is het aantonen van duurzaamheid van biobrandstoffen alleen mogelijk met door de Europese Commissie erkende duurzaamheidssystemen. Deze duurzaamheidssystemen moeten aantonen dat aan de hieronder genoemde vereisten voldaan is.”

2.1.3 REDII kaders voor biobrandstoffen

Volgens REDII-berekeningen moeten biobrandstoffen, biogas dat in de transportsector worden verbruikt en biovloeistoffen geproduceerd in installaties die vanaf 1 januari 2021 in bedrijf zijn genomen, voldoen aan ten minste 65% broeikasgasemissiereductie (van teelt van gewassen tot en gebruik) in vergelijking met de referentie voor fossiele brandstoffen. Voor biobrandstoffen is de referentie voor fossiele brandstoffen 94 g CO₂eq/MJ. Dit betekent dat de broeikasgasemissies van biobrandstoffen vanaf de teelt van gewassen (of verzameling, afhankelijk van het type grondstof) tot en met gebruik gelijk of lager moeten zijn dan 33 g CO₂eq/MJ om aan de huidige richtlijn te voldoen. REDII bepaalt dat broeikasgasemissies van de fabricage van machines en apparatuur niet worden meegerekend. Bovendien houdt REDII slechts rekening met broeikasgasemissies (CO₂, CH₄ en N₂O) en beperkt de REDII zich tot het milieueffect klimaatverandering.

De CO₂-prestaties van biobrandstoffen volgens REDII-methoden kunnen aanzienlijk variëren afhankelijk van of de gebruikte grondstof wordt gecategoriseerd als residu/afval. De REDII classificeert "residu" als een stof die niet het eindproduct is van dat een productieproces dat als primair doel heeft een bepaald eindproduct te produceren en dit proces mag niet opzettelijk zijn aangepast om het residu te produceren (European Commission, 2018). Deze criteria zijn van cruciaal belang voor biobrandstoffen die afkomstig zijn van reststoffen, omdat voor deze grondstofftypen geen broeikasgasemissies over de levenscyclus worden toegewezen tot aan het proces van verzameling van die materialen, ongeacht of ze worden verwerkt tot tussenproducten voordat ze worden omgezet in het eindproduct (European Commission, 2018). Daarom zijn broeikasgasemissies gerelateerd aan processen zoals gewasteelt en Land Use Changes (LUC) gelijk aan 0.

De broeikasgasemissies van biobrandstoffen worden berekend volgens de volgende formule (European Commission, 2018):

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$$

Waarvoor geldt:

E: Totale emissies van het gebruik van de brandstof, g CO₂-eq / MJ

e_{ec}: emissies van extractie of teelt van grondstoffen, g CO₂-eq / MJ

e_l: jaarlijkse emissies van koolstofvoorraadwijzigingen door land-use change, g CO₂-eq / MJ

e_p: emissies van verwerking, g CO₂-eq / MJ

e_{td}: emissies van transport en distributie, g CO₂-eq / MJ

e_u: emissies van brandstofgebruik, g CO₂-eq / MJ

e_{sca}: emissiesreductie van koolstofopslag uit de bodem ten gevolge van verbeterde landbouwpraktijken, g CO₂-eq / MJ

e_{ccs}: emissiereductie van opvang van CO₂ en geologische opslag, g CO₂-eq / MJ

e_{ccr}: emissiereductie van opvang van CO₂ en vervanging, g CO₂-eq / MJ

De factoren e_{ec}, e_l en e_p zijn gelijk aan nul voor brandstoffen uit residuen. Verder zijn de broeikasgasemissies in gebruik (e_u) gelijk aan nul voor biobrandstoffen, in overeenstemming met de REDII-rekenregels in Bijlage V. Broeikasgasemissiebesparingen als gevolg van bodemkoolstofaccumulatie via verbeterd landbouwbeheer (e_{sca}), CO₂-opvang en geologische opslag (e_{ccs}), en CO₂-opvang en vervanging (e_{ccr}) vallen buiten de reikwijdte van de beoordeelde toeleveringsketen. Daarom zijn de broeikasgasemissies voor HVO op basis van afgewerkt frituurvet beperkt tot emissies van verwerking (e_p) en transporten distributie (e_{td}).

2.2 Achtergrond Bepalingsmethode

De vigerende versie (versie 1.2⁵) van de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken bevat de rekenregels die gelden voor het opstellen van LCA's in de bouwsector en wordt beheerd door stichting Nationale Milieudatabase. Deze norm is van toepassing op bouwwerken, bouwproducten en bouwprocessen, waardoor de Bepalingsmethode ook van toepassing is op brandstoffen met een toepassing in de bouwsector. De Bepalingsmethode is gebaseerd op de Europese norm EN15804:2012+A2:2019, met de titel “*Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*”. De Bepalingsmethode geeft nadere in- en aanvulling aan deze norm voor de toepassing in de Nederlandse context. Het doel van de Bepalingsmethode is om de milieuprestatie (uitgedrukt in milieukostenindicator - MKI) van bouwwerken, bouwprocessen en bouwproducten eenduidig, controleerbaar en reproduceerbaar te berekenen. Het creëert hiermee een gelijk speelveld voor alle betrokken partijen (Milieudatabase, n.d.). De MKI wordt verder gebruikt in MPG (milieuprestatie gebouwen) berekeningen (verankerd in het bouwbesluit) en is verankerd in het inkoopbeleid van o.a. Rijkswaterstaat.

De voor deze studie belangrijkste rekenregels van de Bepalingsmethode worden in deze paragraaf toegelicht. De volledige inhoud is na te lezen in de Bepalingsmethode zelf (Stichting Nationale Milieudatabase, 2025).

De Bepalingsmethode verdeelt de volledige levenscyclus van een bouwwerk in vier modules: A t/m D. Hierbij omvat A de productiefase- en bouwphase, B de gebruiksfase, C de Sloop- en verwerkingsfase en D de Milieulasten en -baten buiten de systeemgrenzen. Deze worden modules verder onderverdeeld in sub-modules, zoals te zien in Figuur 2.1.



Figuur 2.1: Levenscyclusfasen volgens de Bepalingsmethode

Fase A1 en module D bevatten rekenregels die van toepassing zijn op de milieu-impact van secundaire materialen. Deze zijn in het bijzonder van belang voor de bepaling van de milieu-impact bepaling van afgewerkt frituurvet. Deze twee modules worden apart besproken in paragraaf 2.2.1 en 2.2.2. De overige methodologische punten die in het kader van deze studie van belang zijn worden hieronder toegelicht:

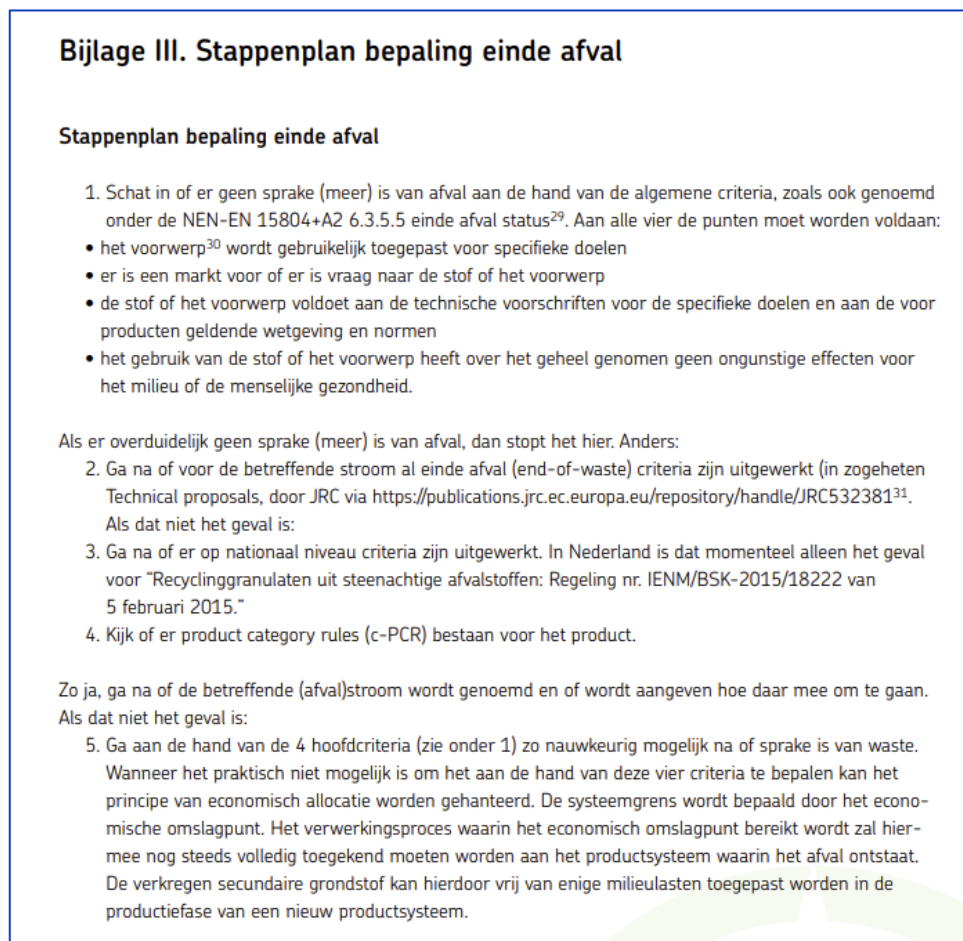
⁵ De vigerende versie van de Bepalingsmethode van het originele rapport was versie 1.1. De reden voor herziening van deze rapportage is amendement 5 horende bij versie 1. In december 2024 is de Bepalingsmethode geüpdatet en is amendement 5 opgenomen in de Bepalingsmethode en is dit versie 1.2 geworden.

- › Onder de Bepalingsmethode worden de verschillende milieueffecten in kaart gebracht die onder twee voorgeschreven sets impactcategorieën vallen. Voor set 1 is de EN 15804+A1:2013 van kracht, waaraan vier impactcategorieën voor toxiciteit zijn toegevoegd. Voor set 2 is de EN 15804:2012+A2:2019 van kracht. Een volledig overzicht van alle impactcategorieën is opgenomen in paragraaf 3.5. Dit betekent onder andere dat een grote groep emissies wordt meegenomen in de LCA studie, waaronder broeikasgasemissies, maar ook emissies die aan andere milieueffecten bijdragen. Voorbeelden hiervan zijn stikstofoxiden, fijnstof of zwaveldioxide.
- › Onder de Bepalingsmethode worden alle kapitaalgoederen en infrastructuur meegenomen in de berekeningen in achtergronddata, via de proceskaarten van ecoinvent. Voor voorgronddata geldt dat alle kapitaalgoederen worden meegenomen die meer dan 5% bijdragen aan de milieu-impact per module of meer dan 1% van de massa en energie input zijn. Dit wordt nader toegelicht in de Bepalingsmethode in 2.6.3.6. Emissies ten gevolge van antifouling zijn niet meegenomen omdat de bijdrage aan de milieu-impact naar verwachting zeer gering is.
- › Additionele middelen; bij het verbranden van brandstof in motoren wordt smeerolie gebruikt, deze is inbegrepen in deze studie. Smeerolie is een hulpmiddel dat nodig is om de motor te laten draaien, en is daarmee nodig in de gebruiksfase van HVO (net als bij diesel). De gebruikte hoeveelheid is gekoppeld aan de geleverde hoeveelheid arbeid van de motor, en omdat de energiedichtheid van de brandstof verschilt zorgt dit voor minimale verschillen tussen diesel en HVO. Ook het gebruik van koelmiddelen voor de airconditioning om de binnenruimte van baggerschepen te koelen is toegerekend aan de (scheeps-)brandstoffen, omdat dit benodigd is in de gebruiksfase (ook bij diesel).
- › Allocatie voor de verschillende hoofd- en bijproducten bij brandstofproductie vindt plaats op basis van energiedichtheid. De Bepalingsmethode verwijst namelijk voor allocatieprocedures naar de EN15804, welke in paragraaf 6.4.3.2 stelt dat in principe fysieke eigenschappen de voorkeur hebben (mits de economische waarde van de hoofd- en bijproducten niet te sterk uiteen loopt), en dat het hoofddoel van de processen in de studie meegenomen moet worden in de keuze (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a) (Nederlands Normalisatie-instituut (NEN), 2019). Aangezien het hoofddoel energiedragers produceren is, volgt hieruit dat voor verschillende outputstromen van HVO-productie allocatie plaats moet vinden op basis van energiedichtheid. Hierbij geldt dit zowel voor hoofd- en bijproducten als voor eventuele afvalstromen die hun afvalstatus verliezen. De Bepalingsmethode zegt over deze laatste categorie: *“Stromen die hun afvalstatus verliezen en de productiefase (A1-A3) verlaten moeten worden gealloceerd als bijproducten”*.
- › Voor alle achtergrondprocessen wordt de database ecoinvent v3.6 of de NMD v3.6 gebruikt.

2.2.1 Fase A1

In de Bepalingsmethode wordt er gewerkt met het begrip “secundair materiaal”. Hierover zegt de Bepalingsmethode: *“Secundair materiaal is afkomstig uit eerder gebruik of uit afval en het is bedoeld om primaire grondstoffen te vervangen. Secundair materiaal wordt gemeten op het punt waar het secundaire materiaal het systeem binnenkomt vanuit een ander systeem. Materialen afkomstig uit eerder gebruik of uit afval van het ene productsysteem en gebruikt als input in een ander productsysteem zijn secundaire materialen. Voorbeelden van secundaire materialen (te meten op de systeemgrens) zijn gerecycled schroot, gebroken beton, glasscherven, gerecyclede houtspaanders, gerecycled plastic. Doordat de systeemgrens van afvalstromen ligt op het moment dat ‘einde afval’ is bereikt, komt secundair materiaal vrij van milieubelasting een productsysteem als input binnen.”*

Om te bepalen wanneer de einde afval status bereikt wordt, en daarmee op welk punt een materiaal of afval uit een vorig productsysteem als vrij van milieulast (d.w.z.: heeft geen milieu-impact) wordt beschouwd, schrijft de Bepalingsmethode voor dat het Stappenplan bepaling einde afval gevolgd wordt uit bijlage III van de Bepalingsmethode (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022b). Dit stappenplan wordt weergegeven in Figuur 2.2.



Figuur 2.2: Stappenplan bepaling einde afvalstatus volgens de Bepalingsmethode

Het schema wordt van boven naar onder doorlopen. Wanneer een stap een duidelijk antwoord geeft, hoeven de stappen erna niet meer te worden doorlopen. Wanneer blijkt dat de einde afvalstatus bereikt is, wordt de afvalstroom gezien als secundair materiaal en is deze vrij van milieulast in module A1. Alle vervolgstappen (bijvoorbeeld verdere verwerking en transport) in de modules A t/m D dienen wél te worden meegenomen in de LCA van het nieuwe productsysteem.

Tot slot worden er nog twee verduidelijkende opmerkingen gemaakt bij stap 1 uit het schema:

- › Bij stap 1 geldt dat er aan alle vier de voorwaarden moet zijn voldaan om een materiaal de einde afvalstatus te geven, zoals expliciet benoemd in de EN15804+A2 norm paragraaf 6.3.5.5 (Nederlands Normalisatie-instituut (NEN), 2019).
- › Aan het vierde punt onder stap 1 moet nog een verduidelijking worden toegevoegd afkomstig uit de EN 15804+A2, paragraaf 6.3.5.5. Hier wordt vermeld dat er voor het bepalen van “over het geheel genomen geen ongunstige milieueffecten” moet worden gekeken naar de vastgestelde emissie-limieten in wetgeving. Worden deze niet overschreden, dan wordt er aan dit criterium voldaan.

2.2.2 Module D

In module D worden alle baten en lasten buiten de systeemgrenzen gedeclareerd. Er wordt via deze module rekening gehouden met de voor- en nadelen van het doorgegeven van een netto hoeveelheid secundair materiaal aan een volgend productsysteem. In de vorige versie (versie 1.1) van de Bepalingsmethode vond er in het geval van netto verlies van secundair materiaal een milieulast plaats, in het geval van netto winst juist baten. In versie 1.2 is dit gewijzigd. In versie 1.1 van de Bepalingsmethode was dit als volgt verwoord:

“a. Indien de netto output negatief is dan zal dit in module D (buiten de systeemgrenzen) resulteren in een toename van milieulast.

N.B. een verlies van secundaire grondstoffen kan enkel vanuit een primair systeem worden aangevuld;

b. Indien de netto output positief is dan zal dit in module D (buiten de systeemgrenzen) resulteren in een vermindering van milieulast.”

In de nieuwe versie 1.2 van de Bepalingsmethode is dat gewijzigd in:

“a. Indien de netto output van secundaire stromen positief is dan zal dit in module D resulteren in een vermindering van milieulast.

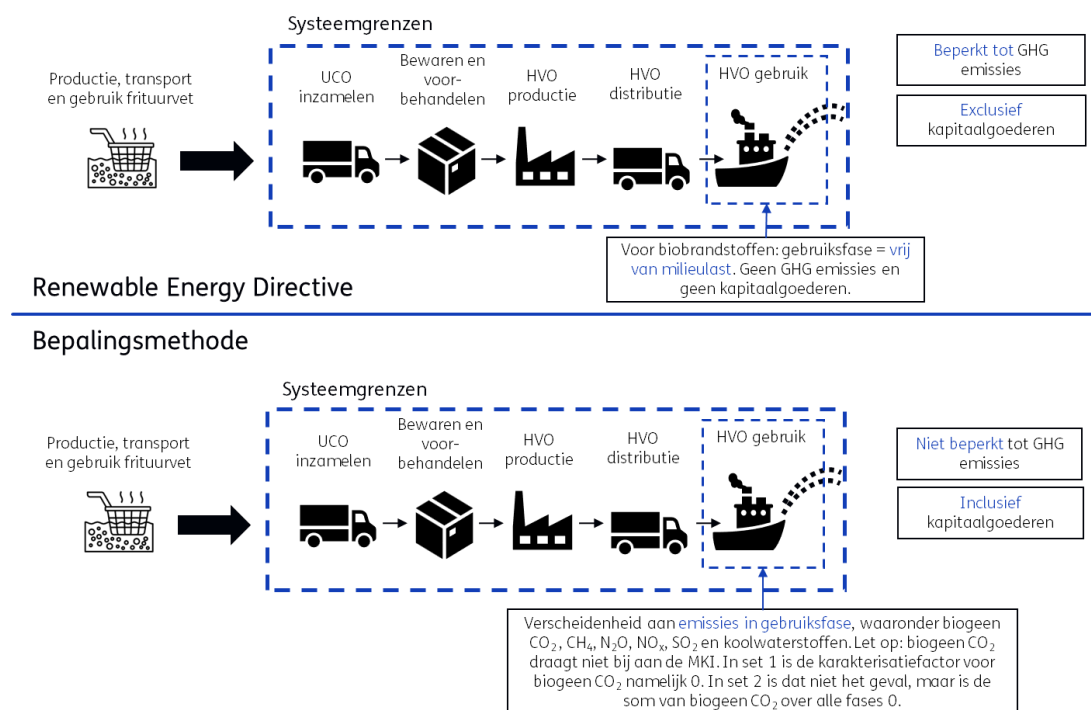
b. Indien de netto output van secundaire stromen negatief is dan zal dit in module D gelijk worden gesteld aan 0.”

In het geval van de scheepsbrandstoffen in dit rapport is de netto output van secundaire stromen negatief en wordt dit in module D gelijkgesteld aan 0.

2.3 Uitwerking methodologie voor de biobrandstoffen

In deze paragraaf wordt de methodologie uitgewerkt voor het opstellen van milieuprofielen voor biobrandstoffen op basis van afgewerkt frituurvet volgens de Bepalingsmethode, waarbij zoveel mogelijk geüniformeerd is met de REDII, de huidige geldende versie van de Renewable Energy Directive. Hierbij maakt het in principe niet uit naar welke versie van de RED er gekeken wordt, omdat de rekenregels voor de LCA's gelijk zijn. Er is inzichtelijk gemaakt waar de Bepalingsmethode en de REDII overeenkomen en verschillen. Onder afgewerkt frituurvet wordt verstaan: gebruikt frituurvet, zoals het beschikbaar komt direct na het frituren. Dit is nog niet ingezameld of verder voorbewerkt. Een extra voorwaarde aan het begrip afgewerkt frituurvet zoals in deze studie gehanteerd is dat het dat aan alle controles van de REDII voldaan heeft en als afgewerkt frituurvet wordt gecertificeerd, zoals uitgewerkt in paragraaf 2.1.2.

In Figuur 2.3 is de scope van zowel de Bepalingsmethode als de REDII weergegeven voor HVO op basis van afgewerkt frituurvet (ook wel Used Cooking Oil, ofwel UCO genoemd). Samenvattend zijn er verschillen op de onderwerpen kapitaalgoederen, emissies en systeemgrenzen die afzonderlijk worden toegelicht in paragraaf 2.3.1, 2.3.2 en 2.3.4.



Figuur 2.3: Overzicht van de scope volgens de Bepalingsmethode en de REDII, uitgewerkt voor HVO op basis van afgewerkt frituurvet (UCO = Used Cooking Oil). De belangrijkste verschillen op de onderwerpen kapitaalgoederen, emissies en systeemgrenzen worden nader toegelicht in paragraaf 2.3.1, 2.3.2 en 2.3.4.

Overeenkomsten in de systeemgrenzen zijn ook duidelijk zichtbaar: In beide gevallen valt de productie, het transport en gebruik van frituurvet buiten de systeemgrenzen. Wel worden meegenomen:

- › inzamelen van afgewerkt frituurvet
- › bewaren en voorbehandelen van afgewerkt frituurvet
- › HVO productieprocessen
- › HVO distributie
- › HVO gebruik

In Tabel 2.2 zijn de overeenkomsten en verschillen samengevat, waarbij in de laatste kolom is weergegeven of de REDII en de Bepalingsmethode dezelfde aanpak vormen en daarmee uniform zijn of niet.

Tabel 2.2: Overzicht overeenkomsten en verschillen tussen de REDII en de Bepalingsmethode.

Onderwerp	Onderdeel	REDII	Bepalingsmethode	Uniform?
Kapitaalgoederen	Kapitaalgoederen	Buiten scope	In scope	Nee
Emissies	Welke emissies	Alleen GHG emissies, en daarvan alleen CO ₂ , CH ₄ en N ₂ O	Breed scala aan emissies die aan verschillende milieueffecten bijdragen	Nee
	Gebruiksfasen	Geen emissies in gebruiksfase voor biobrandstoffen	Verscheidenheid aan emissies in gebruiksfase, waaronder biogeen CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x , SO ₂ en koolwaterstoffen. Let op: biogeen CO ₂ draagt niet bij aan de MKI.	Nee
Allocatie	HVO-productie	o.b.v. energiedichtheid	o.b.v. energiedichtheid	Ja
Systeemgrenzen	Milieulast van afgewerkt frituurvet in module A1	Vrij van milieulast	Vrij van milieulast	Ja
	Inzamelen van afgewerkt frituurvet	Binnen systeemgrenzen	Binnen systeemgrenzen	Ja
	Bewaren en voorbehandelen van afgewerkt frituurvet	Binnen systeemgrenzen	Binnen systeemgrenzen	Ja
	HVO productieprocessen	Binnen systeemgrenzen	Binnen systeemgrenzen	Ja
	HVO distributie	Binnen systeemgrenzen	Binnen systeemgrenzen	Ja
	HVO gebruik	Binnen systeemgrenzen	Binnen systeemgrenzen	Ja
	Module D	Buiten systeemgrenzen	Buiten systeemgrenzen maar moet wel worden meegenomen	Nee

2.3.1 Kapitaalgoederen en infrastructuur

Onder kapitaalgoederen wordt de volgende definitie verstaan, afkomstig uit de Bepalingsmethode: “middelen, zoals hulpgoederen, materieel en gebouwen, die nodig zijn om een activiteit uit te voeren, die meermaals worden gebruikt en waarvan de afschrijving over verschillende producten plaatsvindt”. Hieronder vallen in het geval van brandstoffen o.a. fabrieken en machines voor productie en schepen, machines, havens en vaargeulen voor het gebruik van de brandstof.

Onder de REDII wordt de impact van kapitaalgoederen niet meegenomen. De Bepalingsmethode stelt deze verplicht, onder de voorwaarden beschreven in paragraaf 2.1. Kapitaalgoederen dragen in sommige gevallen in hoge mate bij aan de milieu-impact over de hele levenscyclus. Voor bijvoorbeeld elektrisch transport dragen de benodigde accu's meer dan 5% bij aan de totale MKI, en de afschrijving van het wegdek zelfs meer dan 30%⁶. Voor de profielen uit deze studie is de bijdrage aan de totale milieu-impact relatief beperkt (ongeveer 6%), zoals later wordt toegelicht in paragraaf 6.1.2. Omdat de kapitaalgoederen in het geval van biobrandstoffen meer dan 5% bijdragen aan de milieu-impact binnen module B1, mogen deze volgens de Bepalingsmethode niet buiten beschouwing gelaten worden. Uniformeren tussen de twee methodieken is dus niet mogelijk. De verschillen tussen de twee methodieken zijn niet van invloed op de uitkomsten van vergelijking tussen fossiele brandstoffen en biobrandstoffen, omdat de bijdrage van kapitaalgoederen voor beiden op dezelfde manier bepaald wordt en daarom vergelijkbaar zijn.

Volgens de Bepalingsmethode worden de kapitaalgoederen als volgt uitgewerkt. De milieu-impact van de productie en afvalverwerking na afschrijving van schepen en het gebruik van havens en kanalen over de levenscyclus vallen binnen de systeemgrenzen van brandstofgebruik. De milieu-impact van kapitaalgoederen voor het HVO-productieproces wordt niet meegenomen, omdat de bijdrage aan de totale milieu-impact kleiner dan 0,1% is in het geval van diesel-raffinage⁷ en wordt aangenomen dat dit vergelijkbaar is voor HVO. Kapitaalgaalgoederen die in de upstream processen van ecoinvent verwerkt zijn worden wél meegenomen. Voor kapitaalgoederen die significant bijdragen aan de totale MKI (alleen de schepen) wordt een end of life scenario toegevoegd, waarbij er door recycling van metalen in module D een deel van de productie van kapitaalgoederen weer uitgespaard wordt.

2.3.2 Emissies

De REDII neemt uitsluitend drie broeikasgasemissies mee: koolstofdioxide (CO₂), distikstofoxide (N₂O) en methaan (CH₄). De Bepalingsmethode neemt in aanvulling daarop een groot aantal andere broeikasgasemissies mee. Daarnaast worden ook emissies meegenomen die bijdragen aan andere milieueffecten. Deze milieueffecten uit de Bepalingsmethode en de overige broeikasgasemissies vullen de REDII aan. In paragraaf 6.1.2 zal inzicht worden gegeven in de impact van het meenemen van de additionele broeikasgasemissies binnen de Bepalingsmethode.

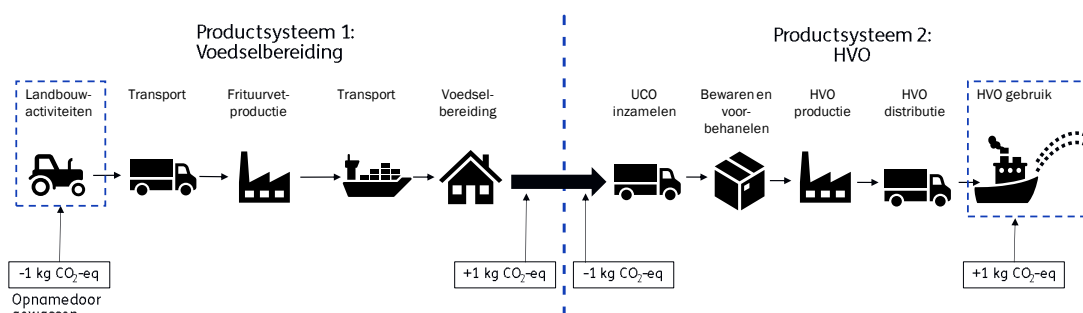
Daarnaast geldt voor biobrandstoffen onder de REDII dat de emissies in de gebruiksfase niet worden meegenomen, waar de Bepalingsmethode wél emissies meeneemt. Hierbij worden de emissies van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en koolstofmonoxide (CO) aangemerkt als biogeen. De emissie (én opname) van biogeen CO₂ wordt niet meegenomen in de

⁶Gebaseerd op de NMD proceskaart “0513-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), elektrisch, Grijs mix, per tkm”

⁷Gebaseerd op de ecoinvent proceskaart “Diesel {Europe without Switzerland} diesel production, petroleum refinery operation | Cut-off, U”, waarbinnen de kapitaalgoederen gerepresenteerd worden door de proceskaart “Petroleum refinery {RER} construction | Cut-off, U”.

indicatoren van set 1 (en daarmee de MKI), maar wel in set 2. Hoewel biogeen CO₂ meegenomen wordt in set 2, komt de CO₂ balans wel uit op 0. Biogeen methaan en koolstofmonoxide worden in zowel set 1 als set 2 meegenomen. Deze verschillen tussen de REDII en de Bepalingsmethode kunnen niet worden overbrugd en daarmee is uniformeren niet mogelijk.

Wanneer biogeen CO₂ niet in hetzelfde productsysteem wordt opgenomen uit de lucht door gewassen als wordt uitgestoten door verbranding moet volgens de EN15804 per productsysteem de balans sluitend worden gemaakt. Biogeen CO₂ volgt de fysieke stromen, ook wanneer materialen systeemgrenzen passeren. In het geval van HVO uit afgewerkt frituurvet wil dit zeggen dat er in het eerste productsysteem van voedselbereiding een uitstoot van biogene CO₂ emissies gerekend wordt, ook al wordt deze pas uitgestoten in het tweede productsysteem bij de verbranding van HVO. In het tweede productsysteem van HVO moet er in het begin van de levenscyclus (module A1-A3) een opname van biogeen CO₂ worden gerekend, ook al is deze eigenlijk opgenomen uit de lucht in het eerste productsysteem, bij de productie van de plantaardige olie waarmee er gefrituurd is. In onderstaande figuur wordt schematisch weergegeven hoe de opname en uitstoot over de twee productsystemen dient te worden opgenomen in de LCA's van beiden productsystemen. Hierbij staat -1 voor een opname van CO₂ en +1 voor een uitstoot.



Figuur 2.4: Schematische weergave van de opname (-1) en uitstoot (+1) van biogeen CO₂ over twee productsystemen.

Voor de volledigheid wordt hieronder de toelichting zoals deze in de EN15804 Annex C.2.4 staat genoemd:

“Removals of biogenic CO₂ into biomass (with the exclusion of biomass of native forests) and transfers from previous product systems shall be characterised in the LCIA as –1 kg CO₂ eq./kg CO₂ when entering the product system. Emissions of biogenic CO₂ from biomass and transfers of biomass into subsequent product systems (with the exclusion of biomass of native forests) shall be characterized as +1 kg CO₂ eq./kg CO₂ of biogenic carbon, see EN ISO 14067:2018, 6.5.2.”

Tot slot moet de koolstofbalans nog sluitend worden gemaakt binnen de baten en lasten buiten de systeemgrenzen (module D). Wanneer er opname van biogeen CO₂ in het grondstofequivalent plaatsvindt, moet deze worden gecompenseerd met een extra uitstoot. De EN15804 benoemt dit niet expliciet, maar stichting Nationale Milieudatabase heeft hiervoor een notitie⁸ en een stappenplan⁹ gepubliceerd, waar de aanpak zoals weergegeven in Figuur 2.4 gevolgd wordt, waarbij de totale koolstofbalans sluitend is gemaakt.

⁸ Notitie stappenplan biogene koolstof (stichting Nationale Milieudatabase (stichting Nationale Milieudatabase, 2024a).

⁹ Stappenplan voor het rekenen met GWP_biogeen koolstof in LCA (stichting Nationale Milieudatabase, 2024b)

2.3.3 Allocatie

Wanneer een productieproces meerdere hoofd- en/of bijproducten heeft en het productieproces niet kan worden gesplitst in deelprocessen, dan is er een verdeelsleutel nodig om de milieu-impact te verdelen over de verschillende hoofd- en bijproducten. Dit principe heet allocatie. Zowel volgens de REDII als de Bepalingsmethode vindt allocatie voor de verschillende hoofd- en bijproducten bij brandstofproductie plaats op basis van energiedichtheid. Hier zijn de twee methodieken dus met elkaar in overeenstemming. Dit is relevant voor deze studie, omdat het productieproces van HVO de bijproducten nafta en propaan oplevert (zie paragraaf 4.3).

2.3.4 Systeemgrenzen

Zowel de REDII als de Bepalingsmethode nemen in de beoordeling mee:

- › Inzamelen van afgewerkt frituurvet
- › Bewaren en voorbehandelen van afgewerkt frituurvet
- › HVO productieprocessen
- › HVO distributie
- › HVO gebruik

Productie, transport en gebruik van frituurvet worden zowel in de REDII als in de voorgestelde methode volgens de Bepalingsmethode niet meegenomen en vallen onder het voorgaande productsysteem van voedselbereiding. Bij de REDII worden hier geen emissies aan toegewezen indien de herkomst bekend is middels certificering en voldoet aan de eisen. In de Bepalingsmethode gebeurt dit op basis van de einde afval stappenplan, zoals in de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

Module D komt enkel in de Bepalingsmethode voor, de REDII kent deze niet. De uitwerking hiervan wordt beschreven in 2.3.4.2.

2.3.4.1 Fase A1

2.3.4.1.1 *Stappenplan bepaling einde afval*

Om te bepalen waar de systeemgrenzen liggen voor afgewerkt frituurvet, en dus of afgewerkt frituurvet vrij van milieulast het productsysteem van HVO binnenkomt in module A1 of niet, wordt het Stappenplan bepaling einde afval gevolgd, zoals beschreven in paragraaf 2.2.1.

Als stap 1 uit het stappenplan doorlopen wordt voor afgewerkt frituurvet, volgt daaruit

- › Afgewerkt frituurvet wordt veelvuldig toegepast als grondstof voor biodieselproductie. Daarnaast zijn er nog verscheidene andere toepassingen mogelijk, waaronder zeeproductie, hoewel niet duidelijk is in welke mate deze toepassingen in de praktijk plaatsvinden (Panadare & Rathod, 2015). Afgewerkt frituurvet wordt dus gebruikelijk toegepast voor specifieke doelen.
- › Er is duidelijk een markt voor en een vraag naar afgewerkt frituurvet. De marktprijzen voor afgewerkt frituurvet schommelen om en na bij de prijzen voor één van de belangrijkste basis-ingrediënten voor frituurvet (ruwe palmolie) en er wordt grootschalig geïmporteerd uit China, blijkt uit figuur 6 uit een rapport van de NNFCC (NNFCC, 2019a). Afgewerkt frituurvet is al geld waard meteen na het frituren.

- › De technische voorschriften, wetgeving en normen zijn vastgelegd in EU-wetgeving over dierlijke producten en bijproducten, waarbij afgewerkt frituurvet onder categorie III dierlijk materiaal valt, omdat het vaak in contact is geweest met dierlijke producten (The European commission, n.d.) (European Parliament and Council, 2009). Specifieke technische details over de verwerking van afgewerkt frituurvet tot biodiesel zijn niet onderzocht, maar omdat HVO-productie uit afgewerkt frituurvet vrij standaard is, mag worden aangenomen dat dit technisch ook goed is ontwikkeld. Hiermee voldoet afgewerkt frituurvet aan de derde eis.
- › HVO heeft vergelijkbare (of zelfs iets schonere) verbrandingsemissies als de fossiele brandstof diesel en dieseltoepassing in binnenvaartschepen voldoet aan vastgestelde emissie-limieten. Hiermee wordt er voldaan aan het laatste criterium.

Omdat uit alle vier de bovenstaande punten wordt voldaan, kunnen we concluderen dat afgewerkt frituurvet geen afvalstroom (meer) is en vrij van milieulast het productsysteem binnenkomt in module A1. Alle vervolgstappen, waaronder transport, voorbehandelen, verwerking tot HVO, de gebruiksfase en module D dienen wel te worden meegenomen in de LCA van de brandstof, zoals ook weergegeven in Figuur 2.3.

Omdat deze conclusie al getrokken kan worden in stap 1, hoeft de rest van het stappenplan niet meer te worden nagelopen. Om de conclusie dat afgewerkt frituurvet vrij van milieulast het productsysteem binnenkomt in A1 toch verder te ondersteunen worden hieronder de overige stappen doorlopen.

- › In stap 2 wordt er verwezen naar de end-of-waste criteria van JRC. Hierin wordt er geen end-of-waste criterium uitgewerkt voor afgewerkt frituurvet (Delgado et al., 2008).
- › Stap 3 geeft geen eenduidig antwoord, omdat er op nationaal niveau geen criteria zijn uitgewerkt. De Bepalingsmethode zegt “In Nederland is dat momenteel alleen het geval voor “Recyclinggranulaten uit steenachtige afvalstoffen: Regeling nr. IENM/BSK-2015/18222 van 5 februari 2015.”
- › Stap 4 geeft geen eenduidig antwoord, omdat er geen product category rules (c-PCR) bestaat voor afgewerkt frituurvet.
- › In stap 5 wordt in eerste instantie opnieuw verwezen naar stap 1, waardoor er wederom niets verandert de uitkomsten van het stappenplan. Wanneer het praktisch niet mogelijk is om stap 1 te volgen dan kan als laatste optie nog het economisch omslagpunt worden gehanteerd. Dit omslagpunt bestaat echter niet: frituurvet is op elk moment in de keten geld waard, meteen voor en meteen na het frituren. Hieruit kan dus geen conclusie getrokken worden.

Samenvattend geeft geen enkele stap van het Stappenplan bepaling einde afval aanleiding tot een andere uitkomst dan dat afgewerkt frituurvet vrij van milieulast het productsysteem binnenkomt in module A1.

2.3.4.1.2 *Alternatieve benadering: Afgewerkt frituurvet als co-product*

Het is mogelijk om een andere aanpak dan hierboven beschreven te hanteren voor het bepalen van de milieu-impact van afgewerkt frituurvet. Afgewerkt frituurvet kan namelijk ook gezien worden als co-product van voedselbereiding. In dat geval kan de milieu-impact bepaald worden door allocatie van de milieu-impact van voedselbereiding over de twee co-producten: afgewerkt frituurvet en bereid voedsel. De EN15804 zegt hierover in paragraaf 6.3.5.2, die module A1-A3 beschrijft:

“The output of waste during this life cycle stage may reach the end-of-waste state when it complies with the conditions described in 6.3.5.5, end-of-life stage. They are then allocated as co-products as 6.4.3.2”.

Wanneer je het bereiden van voedsel als een productieproces (A1-A3) beschouwt onder de Bepalingsmethode zou je daarmee kunnen stellen dat afgewerkt frituurvet als co-product beschouwd moet worden, omdat het meteen de einde afvalstatus bereikt heeft, zoals uitgewerkt in paragraaf 2.3.4.1.1.

Deze alternatieve benadering heeft niet de voorkeur, omdat deze afwijkt van de REDII, terwijl de aanpak beschreven in de vorige paragraaf wél in overeenstemming is met de REDII en een duidelijke en eenduidige uitwerking van de Bepalingsmethode is.

Een bijkomend nadeel aan deze aanpak is dat de allocatiefactoren niet eenduidig te bepalen zijn. Allocatie kan op verschillende manieren plaatsvinden, waarbij economische waarde de meest voor de hand liggende is, vanwege de verschillende functies die de twee co-producten vervullen: voedsel en grondstof voor biobrandstoffen. Omdat de economische waarde van verschillende typen voedsel, de hoeveelheid frituurvet per hoeveelheid bereid voedsel en de milieu-impact van verschillende soorten te bereiden voedsel sterk kan variëren, is er daarmee een grote spreiding in allocatiefactoren mogelijk.

Daarnaast wordt de economische waarde van afgewerkt frituurvet sterk beïnvloed door het REDII beleid waardoor het de vraag is of economische waarde een zinvolle indicator is. Wanneer de vraag naar afgewerkt frituurvet voor brandstofproductie wegvalt, zullen de prijzen ook sterk dalen. Wellicht ligt het voor de hand om te kijken naar een fictieve prijs waarbij prijsvorming als gevolg van REDII buitenbeschouwing wordt gelaten. Deze optie wordt echter niet expliciet genoemd in de Bepalingsmethode, en een dergelijke ruimte interpretatie van de Bepalingsmethode mogelijk voor precedentwerking zorgt bij sectoren van andere bouwmaterialen.

Tot slot ligt het niet zo voor de hand om het bereiden van voedsel te zien als een productieproces in module A1-A3 onder de Bepalingsmethode, die bedoeld is voor bouwmaterialen- en processen.

Vanwege bovengenoemde nadelen wordt er niet de voorkeur aan bovengenoemde benadering gegeven.

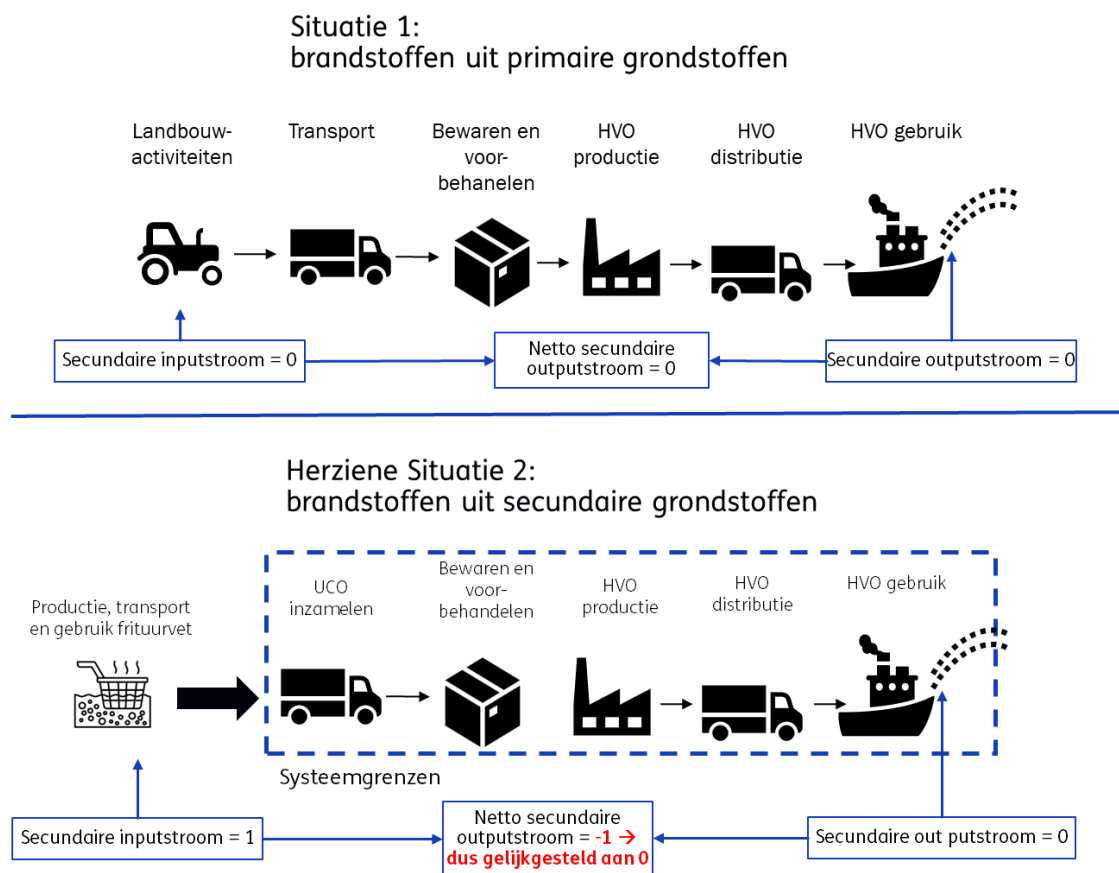
2.3.4.2 Module D

De baten en lasten buiten de systeemgrenzen worden bepaald conform paragraaf 2.2.2 en hieronder verder uitgewerkt.

De netto secundaire outputstroom wordt berekend aan de hand van de secundaire input- en outputstroom. De secundaire inputstroom is gelijk aan de hoeveelheid afgewerkt frituurvet die in fase A1 het systeem binnenkomt. De secundaire outputstroom is 0 ton, omdat HVO volledig verbrandt in module B1. De netto outputstroom is dus negatief. Dit wil zeggen dat er netto een negatieve hoeveelheid secundair materiaal aan het volgende productsysteem doorgegeven wordt, en anders dan in de vorige versie van dit rapport, dat de milieulast gelijkgesteld wordt aan 0 (zie Figuur 2.5 - situatie 2).

Voor biobrandstoffen uit primaire grondstoffen (oliegewassen) of voor fossiele brandstoffen is de netto secundaire outputstroom gelijk aan 0, omdat er geen secundaire materialen gebruikt worden. De secundaire inputstroom is dan eveneens gelijk aan nul, en de secundaire outputstroom blijft ook gelijk aan 0 vanwege de verbranding. Daardoor is er dus ook geen invulling voor module D voor biobrandstoffen uit primaire grondstoffen of fossiele brandstoffen (situatie 1).

In onderstaande figuur zijn beide situaties schematisch weergegeven.



Figuur 2.5: Secundaire input- en outputstromen en resulterende netto secundaire outputstroom weergegeven voor twee situaties volgens de nieuwe Bepalingsmethode (2025): brandstoffen uit primaire grondstoffen en brandstoffen uit secundaire grondstoffen.

3 Doel en Reikwijdte

3.1 Doel en doelgroep

Deze studie behelst het actualiseren van de MKI (het milieuprofiel) van drie brandstoffen voor die reeds zijn opgenomen in de Nationale Milieudatabase (NMD), te weten:

- › Marine Gas Oil (MGO)
- › Liquefied Natural Gas (LNG)
- › Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

De resultaten van de studie komen in twee delen beschikbaar. Deze rapportage betreft het tweede deel, waarin de biobrandstof HVO wordt uitgewerkt. De toepassing hiervan is baggerschepen die in de binnenwateren opereren, hierna te noemen zoete bagger. De zoete bagger onderscheidt zich van de zoute bagger op twee relevante punten in deze studie: Emissieklassen van zoute bagger voldoen aan de Tier-normering, waar emissieklassen van zoete bagger voldoen aan de CCR (voor oudere motoren) en Stage (voor nieuwere motoren) normering. Daarnaast verschillen de kapitaalgoederen in enige maten: binnenvaartschepen zijn doorgaans kleiner dan zeegaande schepen.

De fossiele brandstoffen MGO en LNG zijn eerder uitgewerkt in het eerste deel en apart verschenen als publicatie (van der Kruk & Bolech, 2022). De toepassing hiervan is baggerschepen op de Noordzee en in Nederlandse havens.

De resultaten kunnen worden gebruikt door zowel RWS als andere partijen voor het bepalen van de milieueffecten van GWW-werken (zoals kustsuppletie), en zullen aangeboden worden als input voor de NMD.

De milieuprofielen in deze rapportage zijn zogenaamde categorie 3 data; merkongebonden data (merkloos), in eigendom en beheer van Stichting NMD als proceskaarten in de processendatabase en niet getoetst volgens het NMD Toetsingsprotocol. Deze rapportage is wel getoetst volgens het NMD toetsingsprotocol, om een hogere kwaliteit te garanderen. Dit sluit aan bij de wens van RWS om goede kwaliteit categorie 3 data beschikbaar te hebben. Bij wijzigingen in de externe (bijv. ecoinvent) databases kunnen de profielen eenvoudig in de NMD worden aangepast. Daarmee zijn deze milieuprofielen geschikt om gebruikt te worden in milieuberekeningen voor Nederlandse Bouw- en GWW-projecten, bijvoorbeeld aan de hand van DuboCalc. In lijn met de “Handleiding Categorie 3 data-invoer in de nieuwe stijl, versie 1.0” geldt er geen 30% opslag voor deze milieuprofielen omdat het om energiedragers gaat uit categorie 3a (Milieudatabase, 2021).

3.2 Omschrijving brandstof

Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) wordt geproduceerd door plantaardige of dierlijke oliën en vetten te behandelen met waterstof. Er is een grote verscheidenheid aan grondstoffen die ingezet kunnen worden om HVO te produceren, met als resultaat dat er ook een grote variatie is in het milieuprofiel van HVO. Voor HVO op de Nederlandse markt geldt echter dat op dit moment het grootste deel wordt vervaardigd uit afgewerkt frituurvet (Nederlandse Emissieautoriteit, 2022b). Daarom wordt er één milieuprofiel opgesteld, op basis van afgewerkt frituurvet. Omdat dit een secundaire grondstof is, betreft dit type HVO daarmee een tweede generatie biobrandstof. Dit onderscheidt zich van een eerste generatie biobrandstof, die alleen uit primaire materialen vervaardigd wordt.

Verder gaan we ervan uit dat de voorbewerking van afgewerkt frituurvet en de uiteindelijk productie van HVO in Nederland plaatsvinden. Op dit moment is er een HVO-productie-installatie in Nederland. De huidige stand van zaken is dat het merendeel van de tweede generatie HVO die in Nederland wordt ingezet, gefabriceerd wordt in Rotterdam.

Aangezien HVO een biobrandstof is, gelden de CO₂-, CO- en methaanemissies uit verbranding als biogeen. Er worden drie profielen gepresenteerd in deze studie: één voor oudere motoren die voldoen aan CCR¹⁰-1 norm (of nog ouder zijn), één voor een nieuwere CCR-2 motor en één voor een moderne motor die aan de stage¹¹ V emissie normen voldoet. Voor de motoren die onder CCR-1 en ouder vallen wordt één profiel opgesteld. Het is daarmee in principe mogelijk dat er in de praktijk schepen ingezet worden die vervuilender zijn dan dit profiel, maar toch met dit profiel rekenen. In de praktijk zal dit amper voorkomen en ook steeds minder worden in de loop van de tijd, omdat motoren van binnenvaartschepen relatief aan zeegaande schepen sneller vervangen worden.

Het milieuprofiel per ton is gebaseerd op HVO met een energie-inhoud (LHV) van 44 MJ/kg en een dichtheid van 0,780 kg / liter. Hiermee wordt het oude profiel voor HVO uit de studie uit 2016 vervangen.

3.3 Rekeneenheid

Deze rapportage beschrijft de milieu-impact van (scheeps)brandstoffen per ton brandstof, toegepast in een binnenvaartschip. De milieuprofielen voor scheepsbrandstoffen zijn berekend voor toepassing in binnenvaartschepen, waarbij infrastructuur (kapitaalgoederen) en additionele hulpstoffen toegerekend zijn aan de brandstof. De gebruikers van de milieuprofielen kunnen op basis van de hoeveelheid brandstof voor een GWW-werk de projectspecifieke milieulast berekenen. Omdat de hoeveelheid brandstof in tonnen (mede) afhangt van de calorische waarde van de brandstof, wordt bij alle brandstoffen vermeld wat de calorische waarde is.

¹⁰ Emissienorm van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart

¹¹ Europese emissienorm voor motoren gebruikt in non-road mobile machinery

3.4 Berekeningsprocedures en standaarden

In deze studie worden de milieu-profielen volgens de methodologie beschreven in paragraaf 2.3 opgesteld. Deze is gebaseerd op twee verschillende standaarden:

- › de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken v1.1 (hierna te noemen “de Bepalingsmethode”), en daarmee indirect op de NEN-EN 15804:2019 +A2 (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a) (Nederlands Normalisatie-instituut (NEN), 2019).
- › De Renewable Energy Directive II, Hierna te noemen REDII (European Commission, 2018)

3.5 Effectbeoordeling

De resultaten bepaald aan de hand van twee sets impactcategorieën, die hier nader worden toegelicht. Tabel 3.1 omschrijft de indicatoren die onder set 1 vallen. Deze milieueffecten kunnen op basis van weegfactoren omgerekend worden naar de milieukostenindicator (MKI). Deze weging is uitgevoerd conform de door de Bepalingsmethode voorgeschreven weegfactoren. De geanalyseerde milieueffecten en gehanteerde weegfactoren zijn getoond in Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Indicatoren die milieu-impact beschrijven behorende bij de EN 15804/A1:2013 (set 1) met bijbehorende weegfactor om de MKI te bepalen.

Milieu-impactcategorie	Indicator	Eenheid	Weegfactor MKI (€ /eenheid)
Uitputting van abiotische grondstoffen, excl. fossiele energiedragers	ADP-elementen	kg antimoon	0,16
Uitputting van fossiele energiedragers	ADP-brandstof	kg antimoon	0,16
Klimaatverandering	GWP-100j	kg CO ₂	0,05
Ozonlaagaantasting	ODP	kg CFC 11	30
Fotochemische oxidantvorming	POCP	kg etheen	2
Verzuring	EP	kg SO ₂	4
Vermesting	AP	kg (PO ₄) ₃ -	9
Humaan-toxicologische effecten	HTP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,09
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zoetwater)	FAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,03
Ecotoxicologische effecten, aquatisch (zeewater)	MAETP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,0001
Ecotoxicologische effecten, terrestrisch	TETP	kg 1,4 dichloorbenzeen	0,06

Naast de weegset behorende bij de MKI, zoals beschreven in de Bepalingsmethode, wordt er in Bijlage B van dit rapport ook een aangepaste weegset gehanteerd, met een hogere weegfactor voor Klimaatverandering: 103 euro per ton CO₂-eq, in plaats van 50 euro per ton CO₂-eq. De reden hiervoor is dat Rijkswaterstaat deze aangepaste MKI, de zogeheten MKI CO₂-103, in het verleden toe heeft toegepast in tender procedures voor baggerwerkzaamheden en kustlijnverzorging om CO₂-reductie hoger te belonen. Alle MKI-resultaten die in dit rapport getoond worden betreffen de reguliere weegset met 50 euro per ton CO₂-eq, met uitzondering van Tabel B.2 in Bijlage B.

Tabel 3.2 beschrijft de indicatoren die horen bij de EN 15804/A2:2019 (set 2). Omdat ten tijde van het begin van dit onderzoek nog geen weegset was vastgelegd in de normering behorende bij set 2, werden alleen de individuele impactcategorieën gerapporteerd in dit document en niet als een gewogen geheel. Op dit moment is er een weegset voor set 2, maar dit is een conceptversie van de weegset die nog afhankelijk is van politieke besluitvorming, maar waar voorlopig mee gerekend kan worden. In deze rapportage is geen gebruik gemaakt van deze weegset om een een-punts-score te berekenen op basis van set 2 en zijn dus alleen de individuele impactcategorieën gerapporteerd in dit document.

Tabel 3.2: Indicatoren die milieu-impact beschrijven behorende bij de EN 15804/A2:2019 (set 2).

Milieu-impactcategorie	Indicator	Eenheid
Klimaatverandering - totaal	GWP-totaal	kg CO2-eq.
Klimaatverandering - fossiel	GWP-fossiel	kg CO2-eq.
Klimaatverandering - biogeen	GWP-biogeen	kg CO2-eq.
Klimaatverandering - totaal - landgebruik en verandering in landgebruik	GWP-luluc	kg CO2-eq.
Ozonlaagaantasting	ODP	kg CFC11-eq.
Verzuring	AP	mol H ⁺ -eq.
Vermesting zoetwater	EP-zoetwater	kg PO4-eq.
Vermesting zeewater	EP-zeewater	kg N-eq.
Vermesting land	EP-land	mol N-eq.
Smogvorming	POCP	kg NMVOC-eq.
Uitputting van abiotische grondstoffen mineralen en metalen	ADP-mineralen & metalen	kg Sb-eq.
Uitputting van abiotische grondstoffen fossiele brandstoffen	ADP-fossiel	MJ, net cal. val.
Watergebruik	WDP	m3 world eq. deprived
Fijnstof emissie	Ziekte door PM	Ziekte-incidentie
Ioniserende straling	Humane blootstelling	kBq U235-eq.
Ecotoxiciteit (zoetwater)	CTU ecosysteem	CTUe
Humane toxiciteit, carcinogeen	CTU humaan	CTUh
Humane toxiciteit, non-carcinogeen	CTU humaan	CTUh
Landgebruik gerelateerde impact / bodemkwaliteit	bodemkwaliteitsindex	Dimensieloos

Naast de milieu-impactcategorieën van set 1 en 2 worden conform de Bepalingsmethode ook parameters voor gebruik van grondstoffen, vrijkomen van afval en vrijkomen van materialen en energie gerapporteerd. Deze worden hieronder weergegeven.

Tabel 3.3: Indicatoren die gebruik van grondstoffen beschrijven.

Parameter	Eenheid
Gebruik van hernieuwbare primaire energie exclusief hernieuwbare primaire energie gebruikt als materialen	MJ, netto calorische waarde
Gebruik van hernieuwbare primaire energie gebruikt als materialen	MJ, netto calorische waarde
Totaal gebruik van hernieuwbare primaire energie (hernieuwbare primaire energie en hernieuwbare primaire energie gebruikt als materialen)	MJ, netto calorische waarde

Parameter	Eenheid
Gebruik van niet-hernieuwbare primaire energie exclusief niet hernieuwbare energie gebruikt als materialen	MJ, netto calorische waarde
Gebruik van niet-hernieuwbare primaire energie gebruikt als materialen	MJ, netto calorische waarde
Totaal gebruik van niet-hernieuwbare primaire energie (niet-hernieuwbare primaire energie en niet-hernieuwbare primaire energie gebruikt als materialen)	MJ, netto calorische waarde
Gebruik van secundaire materialen	kg
Gebruik van hernieuwbare secundaire brandstoffen	MJ, netto calorische waarde
Gebruik van niet-hernieuwbare secundaire brandstoffen	MJ, netto calorische waarde
Netto gebruik van zoet water	m3
Gevaarlijk afval	kg
Niet-gevaarlijk afval	kg
Radioactief afval	kg
Materialen voor hergebruik	kg
Materialen voor recycling	kg
Materialen voor energie	kg
Geëxporteerde energie	MJ per energiedrager

3.6 Allocatie

De voorschriften van de Bepalingsmethode en de NEN-EN 15804:2019+A2 voor allocatie bij multi-input of multi-output processen zijn gevolgd in deze studie. Voor de productie van HVO is er expliciet gebruik gemaakt van allocatie op basis van energiedichtheid, in lijn met zowel de Bepalingsmethode als de REDII, zoals ook beschreven in paragraaf Allocatie2.3.3.

3.7 Reikwijdte

Vooraf is vastgesteld welke reikwijdte deze studie beslaat. Hierin spelen geografische, temporele, technische en andere aspecten een rol.

3.7.1 Geografie

De resultaten in deze studie geven een beeld van de milieu-impacts van scheepsbrandstoffen zoals gebruikt voor de zoete bagger in Nederland. De productieroute voor HVO en toepassing in binnenvaartschepen is daarom ook vastgesteld zoals deze het meest waarschijnlijk is voor de Nederlandse context. Gebruik van deze gegevens voor scheepsbrandstoffen (baggerschepen) in andere landen en andere toepassingen wordt afgeraden, omdat de representativiteit niet geborgd kan worden. Bij toepassing in andere motoren met andere belastingen ontstaan andere emissies en dus andere milieuscores. De input- en outputdata is zoveel mogelijk gebaseerd op de gemiddelde praktijksituatie van de brandstoffen op de Nederlandse markt.

3.7.2 Datakwaliteit, compleetheid en consistentie

De focus in dit project ligt bij de productie en verbrandingsemissies van HVO. Ondersteunende processen en materialen, zoals de kapitaalgoederen (schepen en machines), smeerolie en havengebruik, zijn niet in detail geanalyseerd maar enkel op hoofdlijnen geanalyseerd en gekwantificeerd. In hoofdstuk 4 is in detail beschreven welke processen wel en niet zijn meegenomen. Er is gestreefd om zoveel mogelijk voorgronddata (zoals emissiekentallen) uit een klein aantal literatuurbronnen van hoge kwaliteit te halen, dat wil zeggen bronnen die internationaal bekend en geaccepteerd zijn. Voor de achtergronddata, zoals het modelleren van schepen en havens, zijn meer algemene en openbare bronnen zoals productsheets van producenten en proceskaarten van ecoinvent gebruikt. Verder is deze studie door een extern, erkend toetser gereviewd volgens het NMD toetsingsprotocol.

3.7.3 Tijd en technologie

Doordat de huidige achtergrondprocessendatabase (versie 3.6) niet de meest actuele versie van ecoinvent gebruikt (versie 3.6, uit 2019) en ecoinvent zelf altijd al iets achterloopt op de huidige praktijk, is het mogelijk dat de gehanteerde achtergronddata niet helemaal actueel is. Voor de meeste voorgronddata van processen in de brandstofketen (zoals bijvoorbeeld elektriciteitsverbruik en waterstofgebruik voor HVO) de huidige stand van zaken als richtlijn genomen.

Omdat de milieu-impact bij de inzet van een brandstof verschilt, afhankelijk van verbranding in een ouder of nieuwer motortype, zijn er drie typerende motoren gekozen om het verschil te illustreren. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen verschillende motortypen die typisch op binnenvaartschepen worden ingezet, namelijk één die voldoet aan CCR 1 (vanaf 2003), één die voldoet aan CCR 2 (vanaf 2007, vergelijkbaar met emissieklasse stage IIIA), en tot slot een moderner schip, dat voldoet aan stage V emissienormen (vanaf 2019).

Het stage V profiel is ook bruikbaar voor een oudere motor die later (zogenoemde retrofit) werd uitgerust met een uitlaatgasnabehandeling. Bij de upgrade van een verbrandingsmotor kan een katalysator worden ingezet om de NO_x uitstoot te verlagen op basis van het principe van Selective Catalytic Reduction (SCR). Hierbij kan de NO_x uitstoot zo worden gereguleerd dat bijvoorbeeld de stage V limiet voor stikstof kan worden gehaald.

Het ligt voor de hand dat komende jaren door instroom van nieuw materieel met moderne motoren en door de subsidieregeling op retro-fit installatie van SCR-uitlaatgasnabehandeling, de vloot gaandeweg steeds schoner zal worden (en dus de milieu-impact af zal nemen). Het is echter belangrijk om te begrijpen dat dit schoner worden met een beperkt tempo (bijvoorbeeld door beperkte capaciteit bij de retrofit bedrijven) wordt bereikt en dat er nog jarenlang ook de wat oudere -meer vervuilende- scheepstypes ingezet zullen worden.

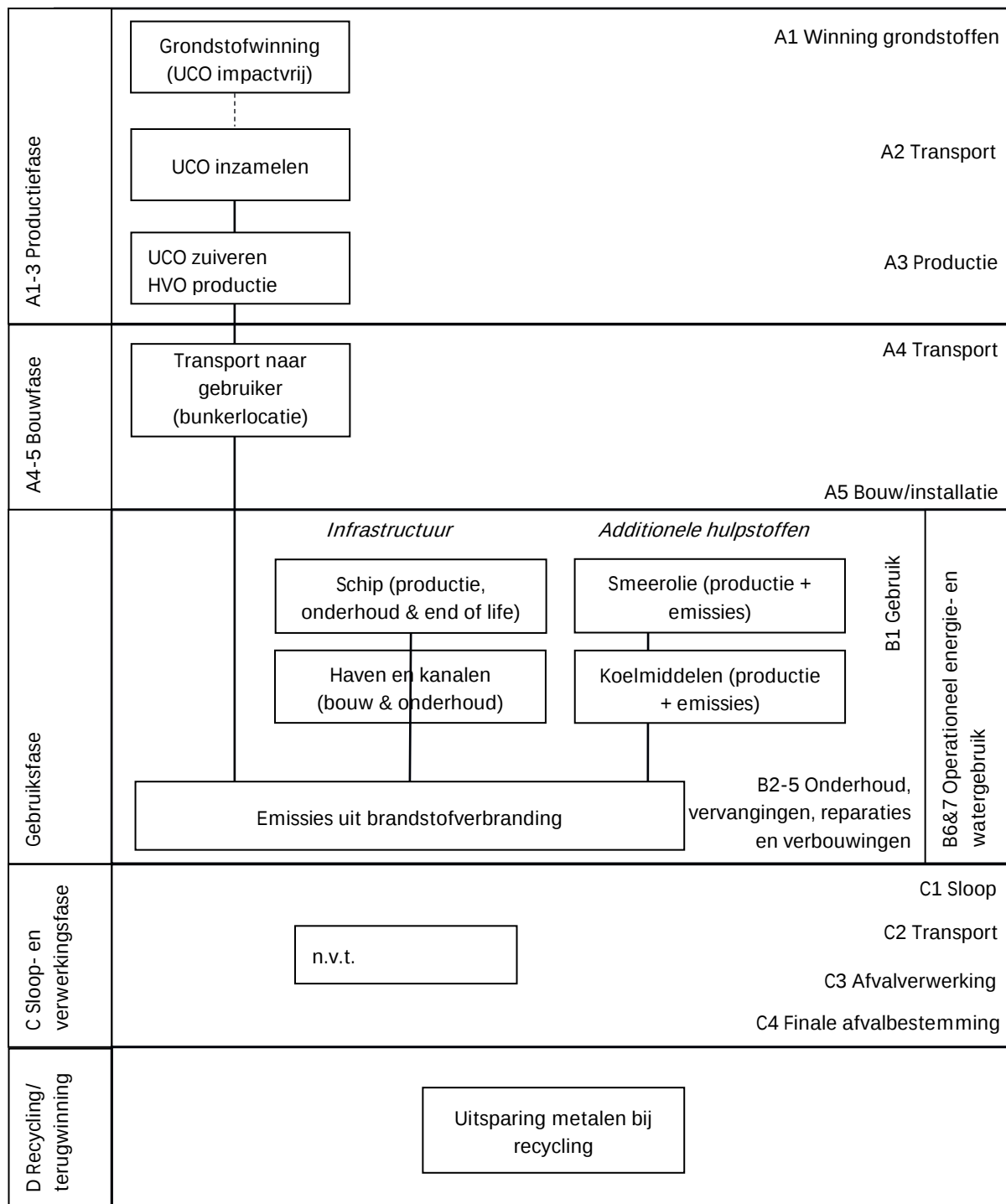
Deze temporele en technologische afbakening betekent dat deze data geschikt is om berekeningen te doen voor de huidige situatie en de komende 10 jaar; na circa 2030 (maar als de ontwikkelingen snel gaan ook al eerder) kan de markt, de technologie en de rekenmethode sterk veranderd zijn en zijn de milieuberekeningen in dat geval achterhaald. Een voorbeeld hiervan is de introductie van stage V motoren, die een veel lagere milieu-impact hebben dan de daarvoor toegepaste technologie. Deze data zijn dus niet geschikt om bijvoorbeeld toekomstvoorspellingen te doen over milieueffecten van brandstofgebruik in de gehele 21e eeuw. Er wordt geadviseerd om de data over 5 jaar te vernieuwen.

3.7.4 Levenscyclus en systeemgrenzen

De Bepalingsmethode (paragraaf 2.5.2) schrijft voor om de levenscyclusfasen te benaderen volgens de door de NEN-EN 15804:2019 +A2 beschreven indeling. Deze indeling is ter illustratie schematisch weergegeven voor het verbranden van een brandstof in baggerschepen in Figuur 3.1. Vooral de modules A1-A3, A4, B1 en D zijn relevant voor de bepaling van de milieueffecten van brandstoffen. De modules B2 tot en met C zijn niet van toepassing voor brandstoffen, omdat de stoffen in module B1 reeds opbranden. In module B1 zijn tevens de productie van alle infrastructuur zoals schepen en havens en alle additionele materialen zoals smeerolie meegenomen. Emissies ten gevolge van antifouling zijn niet meegenomen omdat de bijdrage aan de milieu-impact naar verwachting zeer gering is. Ook de afvalverwerking (en recycling) van de kapitaalgoederen in de end-of-life fase worden meegenomen in B1, en niet in C. Immers zegt de Bepalingsmethode het volgende: “Afvalverwerking wordt in overeenstemming met de EN 15804 meegenomen in de levenscyclusfase, waar het ontstaat.” (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a). De benodigde afvalverwerkings- en recyclingsprocessen horen daarmee in B1 thuis. De voordelen van recycling horen niet thuis in B1, maar in D, omdat voordelen uit andere fases dan de productiefase alleen in Module D mogen worden verwerkt volgens de Bepalingsmethode.

Dit is een wijziging ten opzichte van het TNO-rapport R10662 uit 2016. Module D (loads and benefits beyond the system boundary) bevat de baten en lasten van het doorgeven van de netto hoeveelheid secundair materiaal aan een volgend productsysteem. In het geval van netto verlies van secundair materiaal vindt er milieulast plaats, in het geval van netto winst juist baten.

In deze studie omvat het dus de voordelen (en eventuele overgebleven lasten na afvalverwerking) van het recyclen van de kapitaalgoederen aan het eind van hun levensduur en de lasten gerelateerd aan het verliezen van secundair materiaal (afgewerkt frituurvet) op het moment van verbranding van de brandstof.



Figuur 3.1: Levenscyclusfasen, zoals onderscheiden door de Bepalingsmethode voor een brandstof gebruikt in binnenvaartschepen.

4 Levenscyclusinventarisatie

4.1 A1 – Winning grondstoffen

Zoals in paragraaf 2.3 beschreven, wordt afgewerkt frituurvet direct na het frituren beschouwd als vrij van milieulast, omdat het daar de einde afvalstatus bereikt heeft. Alle vervolgstappen, waaronder transport, verwerking tot HVO, de gebruiksfase en module D dienen wel te worden meegenomen in de LCA van de brandstof.

4.2 A2 –Transport naar de producent

Om te bepalen wat de milieu-impact is voor het transport van afgewerkt frituurvet naar de producent in Rotterdam is het van belang om te weten wat de herkomstlocaties zijn van de gebruikte grondstofstromen. Daartoe is de “Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2021” van de NEA geraadpleegd, tabel III uit bijlage III (Nederlandse Emissieautoriteit, 2022b). Hierin is precies af te lezen welk deel van de afgewerkte frituurvetten die gebruikt worden voor transport in Nederland uit welk land afkomstig is in 2021.

Vervolgens is er gekeken vanuit welke landen het waarschijnlijk is dat er zeetransport plaatsvindt, en vanuit welke landen het logischer is als het transport over land met een vrachtwagen plaatsvindt. Voor landen met transport overzee is geprobeerd een havenstad uit te kiezen die op een gemiddelde afstand ligt van Rotterdam. Dit omdat het doel van deze rapportage is om marktgemiddelde profielen op te stellen. Een uitzondering hierop is de Verenigde Staten, waarbij werd aangenomen dat de Westkust niet waarschijnlijk is, omdat het economisch veel rendabeler is om vanaf de Oostkust goederen te exporteren naar Europa. De uiteindelijke afstand vanaf de gekozen havenstad naar Rotterdam is bepaald via <https://app.searoutes.com/>

Verder is er nog aangenomen dat ook in het land van herkomst er nog transport plaatsvindt van de cateringzaak naar de haven. Hiervoor is 150 kilometer aangenomen. Het is mogelijk dat in grote landen zoals China en de Verenigde Staten deze afstand veel groter is in de praktijk, maar hier nemen we aan dat een afstand groter dan 150 kilometer economisch minder rendabel is en daardoor niet vaak plaatsvindt. Daarnaast zijn dichtbevolkte gebieden in veel gevallen in de buurt van havens, wat deze aanname verder ondersteunt. Tot slot ligt deze waarde in de buurt van de waarde van 100 km die gebruikt wordt in de rapportage die in deze studie gehanteerd wordt als brondata voor de productie van HVO (module A3) (European Commission et al., 2019).

Voor alle landen waarbij het waarschijnlijk werd geacht dat het transport over land plaatsvond, is steeds het midden van het land gekozen om de transportafstand naar Rotterdam te bepalen via Google Maps. Uitzonderingen hierop zijn Nederland, waarbij forfaitair 150 kilometer is aangehouden en België, waarbij Brussel is gekozen, omdat dit alsnog centraal in het land ligt en daarnaast de hoofdstad is. Voor veel andere landen ligt de hoofdstad niet zo centraal en ging deze benadering niet op. Het resultaat van bovenstaande aanpak is weergegeven in Tabel 4.1.

Het percentage per land en het land van oorsprong zijn afkomstig uit de “Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2021” van de NEA, tabel III uit bijlage III (Nederlandse Emissieautoriteit, 2022b).

Tabel 4.1: Transportafstanden afgewerkt frituurvet.

Land	% van afgewerkt frituurvet	Gekozen havenstad	Afstand overzee naar Rotterdam (km)	Afstand per vrachtwagen in land van oorsprong	Gekozen stad voor rechtstreeks transport per vrachtwagen	Afstand over land rechtstreeks
België	1,2%	-	-	-	Brussel	182
China	32,6%	Shanghai	19535	150	-	-
Duitsland	8,4%	-	-	-	Midden van het land	574
Frankrijk	0,7%	-	-	-	Midden van het land	856
Indonesië	4,5%	Jakarta	15962	150	-	-
Maleisië	9,0%	Kuala Lumpur	15116	150	-	-
Nederland	2,3%	-	-	-	Forfaitair	150
Polen	0,8%	-	-	-	Midden van het land	1140
Verenigd Koninkrijk	4,1%	Southampton	465	150	-	-
Verenigde Staten	9,6%	Charleston	7001	150	-	-
Overige	26,9%	-	-	-	-	-

Vervolgens is er een gewogen gemiddelde berekend van alle afstanden per transportmethode, waarbij de categorie “overige” van 26,9% niet is meegewogen omdat hiervoor geen transportafstand bekend is. Het gevolg hiervan is dat in feite “overige” als een gewogen gemiddelde van alle wél gespecificeerde landen wordt aangemerkt. De uitkomst is weergegeven Tabel 4.2. Bij “vrachtwagen rechtstreeks” en “vrachtwagen in land van oorsprong bij zeetransport” staat een lager getal dan de 150 km waarvan wordt uitgegaan per land. Dat komt doordat bij het middelen ook de landen waarbij geen landtransport plaatsvindt worden meegewogen.

Tabel 4.2: Gewogen gemiddelde transportafstanden van afgewerkt frituurvet en gekozen databasereferenties per transportmethode.

Transportmethode	Gemiddeld gewogen afstand (km)	Gekozen referentie
Vrachtwagen rechtstreeks	94	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)
Zeeschip	12501	0290-tra&Transport, vrachtschip, container, zee (o.b.v. Transport, freight, sea, container ship {GLO}) market for transport, freight, sea, container ship Cut-off, U)
Vrachtwagen in land van oorsprong bij zeetransport	123	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)

4.3 A3 – Productie

In het TNO-rapport R10662 uit 2016 werd de productie van HVO gemodelleerd aan de hand van een Master thesis uit 2008 die een LCA-studie rondom biobrandstoffen beschreef. Deze bron geeft een gedetailleerde dataverzameling weer wat betreft de productie van HVO, maar toch is er in deze update gekozen om een andere bron te hanteren. De reden hiervoor is dat er een wetenschappelijk gezien betrouwbaardere bron is gevonden, namelijk een rapport van het Joint Research Centre (JRC) van de Europese commissie, die eveneens de inputdata voor HVO-productie beschrijft (European Commission et al., 2019). Deze bron ligt daarnaast ten grondslag aan de default-berekeningen voor Biograce.

Voor deze studie is gewerkt met de data uit tabel 241 uit het rapport van JRC (European Commission et al., 2019). De inventarisatie is weergegeven per MJ brandstof-output. Naast HVO zijn er bijproducten van nafta en propaan, waarover allocatie op basis van energiedichtheid heeft plaatsgevonden, in lijn met paragraaf 2.3.3. De data zoals gerapporteerd in de JRC rapportage is reeds omgerekend om rekening te houden met allocatie. Omdat de tabel is uitgedrukt per MJ HVO moet er nog worden omgerekend via de lower heating value van HVO naar een inventarisatie per ton HVO, de rekeneenheid van deze studie. De LHV van HVO is overgenomen uit het Renewable Diesel Handbook van Neste (Neste Corporation, 2021).

Daarnaast is de input van afgewerkt frituurvet weergegeven in MJ, welke ook zal moeten worden omgerekend naar gewichtseenheden via de lower heating value. Deze bedraagt 37 MJ / kg en wordt vermeld in de rapportage van JRC. Verder wordt de hoeveelheid aardgas ook omgerekend van MJ naar m³, via de lower heating value van 31,65 MJ / m³, zoals wordt aangehouden in de Bepalingsmethode. De oorspronkelijke data, gebruikte LHV's en omgerekende data zijn vermeld in Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Oorspronkelijke data (tweede kolom), Lower heating values (LHV) en omgerekende data (vierde kolom) voor de productie van HVO volgens het rapport van JRC (European Commission et al., 2019).

	Hoeveelheid per MJ HVO	Eenheid	LHV	Hoeveelheid per kg	Eenheid
Input					
Aardgas	0,13372	MJ	31,65 MJ / m ³	0,186	M3
Afgewerkt frituurvet	0,96255	MJ	37 MJ / kg	1,14	kg
H ₃ PO ₄	0,00003	kg	-	0,001	kg
NaOH	0,00003	kg	-	0,001	kg
N ₂	0,00001	kg	-	0,0004	Kg
Electricity	0,00896	MJ	-	0,394	MJ
Output					
HVO	1,0000	MJ	44 MJ / kg	1	kg

Er valt op dat er 1,14 kg afgewerkt frituurvet nodig is voor de productie van 1 kg HVO. In eerste instantie lijkt er dan 0,14 kg te missen in de massabalans, omdat er verder geen significant grote outputstromen zijn. Echter is de hoeveelheid MJ input aan afgewerkt frituurvet wel nagenoeg gelijk aan die van HVO output.

Het verschil in energiedichtheid tussen afgewerkt frituurvet en HVO verklaart waarom er meer massa als input nodig is. Het verschil in massa ontstaat doordat er bij de chemische reactie ook water en biogeen CO₂ vrijkomt; dit verlaat dus in feite de massabalans. Beiden dragen niet bij aan de MKI en worden daarom niet meegenomen in deze studie. De balans van opname en vrijkomen van biogeen CO₂ binnen de levenscyclus van HVO komt op 0 uit, zoals beschreven in paragraaf 2.3.2.

Tabel 4.4 geeft vervolgens de gekozen proceskaarten uit ecoinvent weer en de reden waarom ervoor deze gekozen is.

Tabel 4.4: Gehanteerde proceskaarten per onderdeel van de data-inventarisatie uit Tabel 4.3.

Onderdeel	Proceskaart / emissie	Toelichting
Aardgas	Natural gas, high pressure {NL} market for Cut-off, U Carbon dioxide, fossil	Representatief voor aardgas (excl. Gebruik) in Nederland. Directe emissie van CO ₂ voor de omzetting van aardgas in waterstof. Gebaseerd op de ecoinvent proceskaart "Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, U", waarin "0,0589 kg CO ₂ per MJ voorkomt. Dit komt neer op 0,347 kg CO ₂ per kg HVO.
Afgewerkt frituurvet	Used vegetable cooking oil {GLO} market for Cut-off, U	Deze proceskaart is impactvrij, in lijn met paragraaf 2.3
H ₃ PO ₄	Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for	Dit is de molecuulformule van fosforzuur en deze referentie is het meest representatief voor industriële toepassing in Europa, omdat er geen Europees marktgemiddelde referentie bestaat in ecoinvent v3.6.

Onderdeel	Proceskaart / emissie	Toelichting
NaOH	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for	Dit is de molecuulformule van Natriumhydroxide (Sodium hydroxide in het Engels) en deze referentie is het meest representatief voor industriële toepassing in Europa, omdat er geen Europees marktgemiddelde referentie bestaat in ecoinvent v3.6.
N ₂	Nitrogen, liquid {RER} market for Cut-off, U	Representatief voor industriële toepassing van stikstof (N ₂) in Europa.
Electricity	Electricity, medium voltage {NL} market for Cut-off, U	Representatief voor Nederlandse stroom van het net voor industriële toepassing.

De kapitaalgoederen voor het productieproces van HVO zijn niet meegenomen, omdat de MKI daarvan dezelfde ordegrrootte zal hebben als voor diesel en de raffinaderij minder dan 1% bijdraagt aan de MKI van diesel binnen module A1-A3.

Voor productie van diesel, welke als fossiele referentie wordt gebruikt in deze studie, wordt de proceskaart “Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland} diesel production, low-sulphur, petroleum refinery operation | Cut-off, U” uit ecoinvent aangehouden.

Ondanks dat er een aantal zaken niet geheel transparant zijn bevat de JRC rapportage de best beschikbare gegevens en wordt er daarom mee gewerkt in deze studie. Er wordt hieronder beschreven welke onderwerpen dat zijn en welke aannames er gemaakt zijn om de data te kunnen gebruiken in deze studie:

- › Het co-product propaan wordt gedeeltelijk weer ingezet in het proces. De rapportage is niet transparant of dit onderdeel is van gerapporteerde inzet aardgas of niet. Aangenomen wordt dat dit wel zo is. Het gaat om een relatief kleine hoeveelheid (0,01 MJ op 0,13 MJ aardgas).
- › Het waterstofgebruik wordt gerapporteerd per hoeveelheid aardgas waarmee het wordt opgewekt. Daardoor is niet inzichtelijk welk deel van aardgasverbruik er gebruikt wordt voor proceswarmte en welk deel als grondstof voor waterstof. Aangenomen wordt dat alle koolstof uit het aardgas vrijkomt als CO₂. Eventuele overige emissies die vrijkomen bij aardgasverbranding voor proceswarmte (zoals NO_x) worden buiten beschouwing gelaten.
- › Er wordt geen voorbehandeling van afgewerkt frituurvet gerapporteerd. Aangenomen wordt dat eventuele voorbehandeling onderdeel is van het gerapporteerde proces. Voor de productie van FAME in dezelfde bron wordt namelijk wél apart voorbehandeling benoemd. Daarom wordt er gewerkt met de proceskaart “Used vegetable cooking oil {GLO} market for | Cut-off, U” van ecoinvent, welke in lijn met paragraaf 2.3 impactvrij is in de productiefase. Dit vormt een belangrijk verschil met de studie uit 2016. De daar gehanteerde bron hanteren wél een voorbehandelingsstap alvorens het afgewerkte frituurvet kon worden toegepast in het productieproces voor HVO. Daarom werd er destijds gewerkt met de proceskaart “Vegetable oil, from waste cooking oil, at plant/CH”, die in de recentere versies van ecoinvent “Used vegetable cooking oil, purified {CH} treatment of used vegetable cooking oil, purification | Cut-off, U” heet.

4.4 A4 – Transport naar de gebruiker

Voor het transport en het bunkeren van HVO wordt er vanuit gegaan dat er geen significante verschillen zijn tussen HVO en fossiele brandstoffen. Daarom is de ecoinventkaart “Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland}| market for | Cut-off, U” gebruikt als uitgangspunt, waarin naast markgemiddeld transport voor Europa en de productie van diesel, ook de inputdata van bunkeren in voorkomt. Hierbij is de input van de productie diesel verwijderd en is de transportafstand forfaitair op 150 km gezet in lijn met de Bepalingsmethode, om representatief te zijn voor bunkeren op verschillende plaatsen in Nederland. Eventuele verliezen die zouden kunnen ontstaan zijn minimaal en worden niet meegenomen in deze studie. Het resulterende proces voor module A4 wordt weergegeven in Tabel 4.5.

De kapitaalgoederen (Infrastructure, for regional distribution of oil product {GLO}| market for | Cut-off, U) dragen voor 10% bij aan de MKI binnen deze module.

Tabel 4.5: Bunkeren en transport van de productielocatie naar de gebruiker voor 1 ton HVO (gebaseerd op ecoinvent “Diesel, low-sulfur {Europe without Switzerland}| market for | Cut-off, U”).

Processtap	Referentie	Hoeveelheid	Eenheid	Bron/ Toelichting
Bunkeren	Electricity, low voltage {NL} market for Cut-off, U	0,0067	kWh	Overgenomen uit het originele proces. Stroomverbruik veranderd naar Nederlandse context.
Bunkeren	Heat, central or small-scale, other than natural gas {Europe without Switzerland} market for heat, central or small-scale, other than natural gas Cut-off, U	0,00058374	MJ	ongewijzigd
Bunkeren	Infrastructure, for regional distribution of oil product {GLO} market for Cut-off, U	2,48E-10	p	ongewijzigd
Bunkeren	Tap water {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U	0,000689	kg	ongewijzigd
Bunkeren	Water/m3	1,0335E-7	m3	Ongewijzigd, emissie naar lucht
Bunkeren	Water, Europe without Switzerland	5,8565E-7	m3	Ongewijzigd, emissie naar water
Bunkeren	Fly ash and scrubber sludge {Europe without Switzerland} market for fly ash and scrubber sludge Cut-off, U	0,000168	kg	ongewijzigd
Bunkeren	Municipal solid waste {Europe without Switzerland} market group for municipal solid waste Cut-off, U	6,27E-6	kg	ongewijzigd
Bunkeren	Rainwater mineral oil storage {Europe without Switzerland} market for rainwater mineral oil storage Cut-off, U	7,5E-5	m3	ongewijzigd
Bunkeren	Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average Cut-off, U	6,89E-7	m3	ongewijzigd

Processtap	Referentie	Hoeveelheid	Eenheid	Bron/ Toelichting
Forfaitair transport	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	150	tkm	Als worst case benadering is er gekozen voor transport over land, omdat naast transport over water tankwagens ook tot de mogelijkheden behoren.

Voor het transport naar de gebruiker van diesel, welke als fossiele referentie wordt gebruikt in deze studie, wordt dezelfde data gehanteerd als voor HVO.

4.5 B1- Gebruiksfase

4.5.1 Kapitaalgoederen & additionele hulpmiddelen

In deze paragraaf wordt besproken hoe de kapitaalgoederen en additionele hulpmiddelen zijn meegenomen in deze studie. Het gaat daarbij om afschrijving van Schepen, havens, kanalen, smeerolie en koelmiddelen, waarbij zowel de productie als de afvalverwerking hiervan in module B1 valt (zie paragraaf 3.7.4). Systeem-infrastructuur voor de brandstof voor distributie en productie van brandstoffen zijn meegenomen in achterliggende de proceskaarten van ecoinvent. De uitgangspunten beschreven in deze paragraaf komen overeen met de uitgangspunten uit de eerder verschenen publicatie van deel a van deze studie (van der Kruk & Bolech, 2022), met uitzondering van het gebruik van kanalen, deze zijn toegevoegd.

Eventuele bunkerschepen die nodig zijn om die brandstof van de haven naar het baggerschip brengen worden buiten beschouwing gelaten, omdat de bijdrage ervan op aan de milieu-impact naar verwachting gering is. In de Bepalingsmethode is beschreven dat alles dat minder dan 1% op basis van massa en energie-input bijdraagt en niet meer dan 5% aan de milieu-impact per module niet meegenomen hoeft te worden in de LCA.

4.5.1.1 Schepen

De impact van de materialen waar het schip uit bestaat (productie, onderhoud en verwerking einde levensduur) wordt toegerekend aan de brandstof, op basis van de totale hoeveelheid brandstof die gedurende de levensduur van het schip gebruikt wordt. Hierbij vindt er een wijziging plaats in de gehanteerde data ten opzichte van het TNO-rapport R10662, zodat de data representatief gemaakt wordt voor zoete baggerschepen. De aanpak wordt hieronder verder toegelicht.

In Tabel 4.6 zijn drie verschillende situaties uitgewerkt voor het toerekenen van het staal uit schepen aan een hoeveelheid brandstof. Hierbij wordt er onderscheid gemaakt tussen het schip uit het eerder verschenen TNO-rapport R10662 (zeegaand), een klein werkschip dat uitsluitend op de binnenwateren kan worden ingezet en een groot werkschip dat op zee (typisch voor kustlijnverzorg) als op de binnenwateren kan worden ingezet.

Tabel 4.6: Overzicht van drie situaties voor het toereken van het staal uit schepen aan een hoeveelheid brandstof.

Typering	Scheepsgewicht (ton)	Inzet (uren/jaar)	Diesel (ton / jaar)	Afschrijving (jaar)	Ton staal / ton brandstof
Schip uit rapportage R10662	3880	4000	2812	20	0,069
Klein werkschip binnenwateren	404,6	2345	2025	25	0,0080
Groot werkschip zeegaand & binnenwateren	11040	7200	12420	25	0,036

Voor de milieuprofielen van HVO die worden opgesteld in deze studie is de hoeveelheid staal per ton brandstof relevant. Het schip uit het eerdere TNO-rapport kent de hoogste hoeveelheid staal per ton brandstof. Dit ligt onder andere aan een afschrijving van 20 jaar, waar de andere twee schepen uitgaan van 25 jaar. Verder is de inzet per jaar aanzienlijk lager dan van het grote werkschip. De benadering uit het eerdere TNO-rapport lijkt daarmee erg conservatief. Wanneer de aannames minder voorzichtig gemaakt worden komt de hoeveelheid staal per ton brandstof van dit schip in de buurt van die van het grote werkschip. Daarom wordt het schip uit de eerdere TNO rapportage niet meer gebruikt in deze studie.

De twee nieuwe schepen kennen een aanzienlijk lagere hoeveelheid staal per ton brandstof, waarbij het grote werkschip dat zowel voor zoete als zoute bagger kan worden ingezet kan worden gezien als worst-case benadering van de twee. Het kleine werkschip kent de laagste hoeveelheid staal per ton brandstof. Dit komt doordat dergelijke schepen niet zo robuust hoeven te zijn als zeegaande schepen, maar wel grote hoeveelheden arbeid kunnen verzetten. Omdat het gaat om categorie 3 data is het belangrijk dat er niet te optimistisch gerekend wordt, en er daarmee milieu-impact in de praktijk plaatsvindt die niet gerekend wordt op papier. Er wordt daarom met het grote werkschip gewerkt in deze studie.

Daarbij wordt de kanttekening geplaatst dat er veel variabelen van invloed zijn op de benodigde hoeveelheid staal per ton brandstof. De bijdrage van het schip aan de totale MKI van de drie HVO-brandstofprofielen is echter beperkt (5-7% voor module A-C). Binnen het doel van deze studie is er daarom geen reden om de milieu-impact van schepen en bijbehorende variabelen nader in kaart te brengen.

Wanneer er in een vervolgstudie energiedragers aan bod komen die een lagere milieu-impact kennen dan HVO, wordt de bijdrage van schepen mogelijk relevanter. In dat geval verdient het aandacht om de variabelen rondom het toerekenen van schepen aan de brandstofprofielen zorgvuldig op een rij te zetten.

Ecoinvent heeft gegevens om de materialen van schepen toe te rekenen aan transportschepen, maar heeft geen relevante gegevens voor het type schepen dat relevant is voor deze opdracht (m.n. baggerschepen die onder binnenvaart vallen). Het milieuprofiel voor baggerschepen is gebaseerd op de materiaalsamenstelling van een zeegaand schip uit ecoinvent met correctiefactoren voor grootte van het schip en toevoeging van de specifieke machines zoals pompen. Daarnaast wordt er een end of life scenario toegevoegd, waarbij de recycling (en uitsparing) van metalen meegenomen wordt.

Voor de modellering van het schip is gebruik gemaakt van de productkaart “Freight ship, transoceanic {GLO}| production”. Dit schip is opgebouwd uit verschillende materialen, maar “Reinforcing steel” beslaat met afstand het grootste percentage van het totale gewicht. De totale massa van het schip is daardoor bij benadering gelijk aan de massa van dit materiaal, namelijk 7.500 ton. De massa van het grote werkschip waarvan uit wordt gegaan is ongeveer 11040 ton. Daarom zijn alle inputs van de gebruikte referentie uit ecoinvent geschaald met de factor $11040/7500$ om de productkaart representatief te maken voor een groot werkschip.

Voor de modellering van de specifieke machines aan boord van baggerschepen werd in het TNO-rapport R10662 gebruik gemaakt van de referentie “slurry tanker, production/kg/CH/I”. Deze referentie is echter van naam veranderd tijdens een ecoinvent-update en heet nu “Liquid manure tank trailer {CH}| production”. Er is ervoor gekozen om van de eerder gemaakte keuze voor Zwitserland als representatief gebied voor Nederland af te wijken, en in plaats daarvan Rest-of-World te kiezen (een Europees gemiddelde proceskaart bestaat niet in ecoinvent). De reden hiervoor is dat Zwitserland niet vergelijkbaar is met Nederland wat betreft stroomvoorziening. Daarmee heeft een geografisch gebied waar Nederland in ligt de voorkeur boven Zwitserland. De referentie die nu gekozen is, is “Liquid manure tank trailer {RoW}| production”.

Voor het jaarlijks brandstofverbruik wordt uitgegaan van 12420 ton brandstof. Dit komt neer op een hoeveelheid van $3,22E-6$ schip per ton brandstof. De hoeveelheid extra machines is gebaseerd op een veronderstelde levensduur van 5 jaar.

Dit komt neer op een hoeveelheid van $7,11E-5$ machine per ton brandstof. Omdat er gerekend wordt met een gewicht van 100 ton voor de machines aan boord van een baggerschip en de gebruikte referentie per kg is, is er $100.000 * 7,11E-5 = 7,11$ kg machines nodig per ton brandstof.

Voor het gebruik van schepen en extra machines bij diesel, welke als fossiele referentie wordt gebruikt in deze studie, worden dezelfde waarden gehanteerd als voor HVO.

4.5.1.2 Havens en kanalen

Havens zijn gemodelleerd op basis van de een algemene productkaart voor havengebruik “Port facilities {RER}| construction”. In het TNO-rapport R10662 werd er daarnaast nog een extra productkaart gebruikt voor havenonderhoud, maar in de nieuwe versie van ecoinvent zijn de haven zelf en het onderhoud samengevoegd tot het bovengenoemde profiel. Hierbij is er één aanpassing gedaan, namelijk in het elektriciteitsverbruik. De proceskaart vermeldt namelijk dat een gedeelte van de gebruikte stroom afkomstig is van maintenance en gebruik van de haven, gebaseerd op informatie over de haven van Hamburg. Zoals in het TNO-rapport R10662 beschreven wordt dit elektriciteitsverbruik voornamelijk voor overslag ingezet, hetgeen voor baggerschepen niet relevant is. Daarom is het elektriciteitsverbruik uit de referentie verwijderd. Er blijft een stroomgebruik voor onderhoud aan de haven over van $4,53E7$ kWh voor deze productkaart die per stuk (dus één haven) gemodelleerd is.

Vervolgens is de hoeveelheid havengebruik gerelateerd aan een ton brandstof. Hiervoor is gebruik gemaakt van de referentie uit ecoinvent “Transport, freight, inland waterways, barge {RER}| processing | Cut-off, U”. Deze referentie beschrijft een bepaalde hoeveelheid transport, uitgedrukt in tkm, en bevat een bijbehorende hoeveelheid brandstof en havengebruik. Wij hebben deze hoeveelheden omgerekend per ton brandstof, om zo het havengebruik te kunnen relateren aan de rekeneenheid van de brandstoffen in deze studie. Dit komt neer op $2,71E-9$ hoeveelheid havengebruik per ton brandstof.

Op dezelfde manier is de hoeveelheid kanaalgebruik en de gekozen referentie uit ecoinvent afgeleid uit de referentie uit ecoinvent “Transport, freight, inland waterways, barge {RER}| processing | Cut-off, U”. Vervolgens is er met slechts 10% van deze waarde gerekend, omdat baggerschepen beperkt gebruik maken van kanalen in vergelijking met transportschepen. Hierbij gaat het nadrukkelijk om een benadering, die naar waarschijnlijkheid worst-case is. Dit komt neer op 1,24 my (=mijl) kanaalgebruik per ton brandstof. De referentie die wordt gehanteerd is “Canal {RER}| construction | Cut-off, U”.

Voor het gebruik van havens en kanalen bij diesel, welke als fossiele referentie wordt gebruikt in deze studie, worden dezelfde waarden gehanteerd als voor HVO.

4.5.1.3 Smeerolie

Alle motoren die beschouwd worden in deze studie, worden gesmeerd met smeerolie. Viertaktmotoren zoals in baggerschepen kennen een verbruik tussen 0,3 en 0,5 g/kWh (vastgesteld op basis van (Aabo, 2002)). Dit wordt ook representatief geacht voor zoete baggerschepen.

Dit is echter het verbruik van de motor; de omrekening van g smeerolie per kWh naar g smeerolie per kg brandstof is weergegeven in Tabel 4.7. Dit smeerolieverlies is in alle proceskaarten gemodelleerd als smeerolieverbruik, oftewel “Lubricating oil {RER}| market for lubricating oil” in ecoinvent. Deze proceskaart bevat transport naar een gemiddelde locatie in Europa, wat representatief is aangezien de leverancier onbekend is.

Tabel 4.7: Omrekening van smeerolieverliezen per kWh in een standaardmotor (brandstofverbruik 0,19 kg per kWh) met MDO (42 MJ/kg) naar de smeerolieverliezen met andere brandstoffen. De omrekenfactor is berekend als $\text{omrekenfactor} = [\text{energieinhoud} / \text{energieinhoud}_{\text{MDO}}] * [1 / \text{brandstofverbruik}_{\text{MDO}}]$.

Smeerolie-verlies (g/kWh)	Energie-inhoud (MJ/kg)	Omreken-factor (kWh/kg)	Smeerolie-verlies (kg/ton brandstof)
0,4	44	5,51	2,21

De verliezen van de smeerolie komen deels terecht in de lucht en worden deels opgevangen en bewaard. Ongeveer 10% van de olie verdwijnt als PM in de uitlaatgassen (Aabo, 2002). Dit is reeds meegenomen in de emissieprofielen van HVO. De overige 90% wordt later aan land opgewerkt en wordt vervolgens elders als brandstof ingezet. Deze opwerking en verbranding valt buiten de scope van deze studie, daarom is de analyse afgekapt op dit punt. De overgebleven smeerolie wordt niet beschouwd als een afvalproduct (omdat het later nog nuttig hergebruikt wordt) en de verdere verwerking is dus ook niet meegenomen.

Voor het gebruik van smeerolie, welke als fossiele referentie wordt gebruikt in deze studie, wordt een waarde van 2,06 kg / ton brandstof gehanteerd, wat afwijkt van de waarde voor HVO, vanwege de verschillende energiedichtheid.

4.5.1.4 Koelmiddelen

De schepen zijn voorzien van airconditioning om de binnenruimten te koelen. Deze installaties hebben een reservoir met ongeveer 150 kilogram koelmiddel R-134a (1,1,1,2-tetrafluorethaan), waaruit jaarlijks circa 30% ontsnapt (IMO, 2021). Deze emissie is meegenomen in de emissiefactoren voor HVO (zie paragraaf 4.5.2). Daarnaast is de jaarlijkse productie van dit koelmiddel meegenomen in de berekeningen (dus 45 kg per jaar). Dit komt neer op 0,016 kg per ton brandstof. Voor productie is de proceskaart “Refrigerant R134a {GLO} market for” gebruikt.

Voor het gebruik van koelmiddel bij diesel, welke als fossiele referentie wordt gebruikt in deze studie, worden dezelfde waarden gehanteerd als voor HVO.

4.5.2 Verbrandingsemissies

Voor de verbrandingsemissies zijn er een aantal belangrijke wijzigingen ten opzichte van het TNO-rapport R10662 uit 2016 (Jochemsen-Verstraeten et al., 2016):

- › Er werd gewerkt met emissiecijfers voor zeegaande schepen, waar er nu met emissiecijfers voor binnenvaart gewerkt wordt. De motoren verschillen aanzienlijk (vooral in grootte en toerental), maar de gebruikte techniek om schonere motoren te krijgen lijkt veel op elkaar.
- › In het in 2016 uitgebrachte rapport werd er gewerkt met één gemiddeld profiel, waar er nu drie verschillende profielen gehanteerd worden: CCR1 en ouder, CCR 2 en Stage V. Vooral de uitstoot van stikstofoxiden verschilt sterk tussen oude en nieuwere motoren, wat van grote invloed is op de totale MKI. De toepassing van uitlaatgasnabehandeling in stage V motoren maakt daarbij een groot verschil.
- › Voor de emissie van stikstofoxiden (NO_x), fijnstof (PM), koolstofmonoxide (CO) en koolwaterstoffen (HC) is er voorgronddata gebruikt. Deze is gebaseerd op het gebruik van diesel als brandstof voor de verschillende motoren en weergegeven in Tabel 4.8.
- › De emissie van distikstofoxide (N₂O) wordt overgenomen uit de richtlijnen van IPCC (Jun et al., 2006) en is onafhankelijk van het motortype.
- › De CO₂ emissie wordt overgenomen uit TNO-rapport R10662 uit 2016 (Jochemsen-Verstraeten et al., 2016), omdat die per hoeveelheid brandstof gelijk is ongeacht het type verbrandingsmotor.
- › De overige emissies zijn gebaseerd op de proceskaart “Transport, freight, inland waterways, barge {RER} processing | Cut-off, U.” uit ecoinvent. Hierop wordt een correctie gemaakt voor de emissie van ammoniak bij stage V motoren, vanwege het optreden van ammoniakslip bij het SCR systeem. Deze correctie betreft een expert inschatting van Bolech en Dellaert in 2023, analoog aan bevindingen in onderzoeken naar manipulatie bij vrachtwagens en zoals beschreven in de “Factsheet stikstofmaatregelen mobiliteit (TNO 2020 R10644) (Vonk et al., 2020).

Tabel 4.8: De gehanteerde emissiecijfers voor diesel voor NO_x, PM, CO en HC in g per kWh output van de verschillende motoren, gebaseerd op (Verbeek, 2014) en een aanvulling daarop voor stage V door Verbeek in 2023 (expert judgement).

Type	Emissiefactor (g per kWh _{out} diesel)			
	NO _x	PM	CO	HC
≤ CCR 1	10,1	0,45	2,2	0,50
CCR 2	7,5	0,23	1,4	0,24
Stage V	3,5	0,005	1,0	0,15

De waarden voor diesel in g per kWh output van de motor uit Tabel 4.8 worden omgerekend naar waarden voor HVO. Hierbij wordt uitgegaan van de volgende reductiefactoren voor ouder dan CCR 1 en CCR2, gebaseerd op (Verbeek, 2014). Deze reductiefactoren komen naar voren omdat HVO een gelijkmatigere en schonere verbranding kent dan diesel, wat vooral bij de wat oudere motoren tot verminderde uitstoot leidt.

- › NO_x -10%
- › PM -35%
- › CO -10%
- › HC -25%

Voor Stage V zijn er praktisch geen reducties, omdat de SCR installatie al veel reductie teweegbrengt. Vanwege de effecten van eventuele storingen en of manipulatie (*tampering*) bij gebruik van de SCR installatie wordt het effect van HVO ten opzichte van diesel nog verder gedempt. De resulterende waarden worden weergegeven in Tabel 4.9.

De data betreft een gemiddelde uit praktijkmetingen. Gebaseerd op (Verbeek, 2014) en een aanvulling daarop voor stage V door Verbeek in 2023 (expert judgement) waarin de nieuwste inzichten zijn meegenomen. In de praktijk zijn er weinig meetgegevens beschikbaar, zeker specifiek voor HVO niet. De getallen voor stage V houden er rekening mee dat het overgrote merendeel van de stage V hulpmotoren in de binnenvaart zijn getest op norm IWA (voor Inland Waterway Auxiliary). In beginsel zou een hulpmotor die voldoet aan stage V NRE (bedoeld voor Non Road Mobile Machinery) ook toegepast kunnen worden (**mits** de fabrikant dat accepteert (vaak zijn er garantievoorwaarden). In dat geval zou de emissiefactor nog lager uit kunnen komen. De gepresenteerde stage V cijfers vallen duidelijk hoger uit dan de testwaarden in de motortests. Door hogere emissies bij bijvoorbeeld vermogens-transiënten en lage motorlast, komt de praktijkgemiddelde emissie uit op 3,5 g NO_x /kWh.

Tabel 4.9: De resulterende emissiecijfers voor HVO voor NO_x, PM, CO en HC in g per kWh output van de verschillende motoren.

Type	Emissiefactor (g kWh _{out} HVO)			
	NO _x	PM	CO	HC
≤ CCR 1	9,09	0,29	2,0	0,38
CCR 2	6,75	0,15	1,3	0,18
Stage V	3,5	0,005	1,0	0,15

Tot slot worden de waarden omgerekend in kg per ton HVO via de energiedichtheid (lower heating value) en het brandstofverbruik per kWh, zoals weergegeven in onderstaande formule. Voor het brandstofverbruik wordt uitgegaan van 0,195, 0,210 en 0,195 g / kWh voor CCR 1, CCR 2 en Stage V respectievelijk. De resulterende waarden zijn weergegeven in Tabel 4.10.

$$Emissie (kg / ton) = \frac{Emissie (g / kWh)}{kg \text{ diesel} / kWh} * \frac{LHV_{HVO}}{LHV_{diesel}}$$

Tabel 4.10: De resulterende emissiecijfers voor HVO in kg per ton brandstof voor NOx, PM, CO en HC voor de verschillende motoren.

Type	Emissiefactor (kg per ton HVO)			
	NOx	PM	CO	HC
≤ CCR 1	47,8	1,5	10	2,0
CCR 2	32,9	0,73	6,2	0,88
Stage V	18,4	0,026	5,3	0,79

Voor de emissie van HC wordt aangenomen dat 4,1% van het totaal bestaat uit methaan, gebaseerd op het “Methods report for calculating the emissions of transport in the Netherlands”, tabel 3.10B. De overige 95,1% wordt niet verder uitgesplitst en gegroepeerd onder Non-methane Volatile Organic Compounds (NMVOC). Verder wordt PM gemodelleerd als fijnstof kleiner dan 10 µm, in lijn met TNO-rapport R10662 uit 2016 (Jochemsen-Verstraeten et al., 2016).

De emissie van distikstofoxide (N₂O) wordt overgenomen uit de richtlijnen van IPCC en is onafhankelijk van het motortype. Er wordt gewerkt met 0,6 kg N₂O per TJ primaire energie, ofwel 0,0006 gram per MJ brandstof. Via de lower heating value van HVO volgt hieruit een emissie van 0,027 kg N₂O per ton HVO. De CO₂ emissie wordt overgenomen uit TNO-rapport R10662 uit 2016 (Jochemsen-Verstraeten et al., 2016), omdat die gelijk is ongeacht het type verbrandingsmotor.

Emissies ten gevolge van het ontsnappen van koelmiddelen zijn uitgewerkt in paragraaf 4.5.1.4, worden gerapporteerd onder de verbrandingsemissies en zijn opgenomen in Tabel 4.11 als “Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a”.

Overige emissies zijn gebaseerd op de proceskaart “Transport, freight, inland waterways, barge {RER} | processing | Cut-off, U” uit ecoinvent. Hierbij worden metalen en emissies van zwavel en waterstofchloride weggelaten omdat die uit de brandstof zelf komen en die verwaarloosbaar weinig voorkomen in HVO. Volgens het Renewable fuel handbook, tabel 9, zijn de emissies van metalen praktisch gelijk aan 0 (Neste Corporation, 2021). Daarnaast worden alle emissies weggelaten die al onder de groepen HC en PM vallen. De enige emissie die dan overblijft en dus wordt overgenomen uit ecoinvent is ammoniak. Hierop wordt een correctie gemaakt voor de emissie van ammoniak bij stage V motoren, vanwege het optreden van ammoniakslib bij het SCR systeem. Er wordt gewerkt met een emissie van 0,05 g / kWh_{out}, oftewel 0,263 g per ton HVO.

Tot slot moet worden opgemerkt dat emissies van CO₂, CO en methaan als biogeen moeten worden gemodelleerd, omdat HVO een biobrandstof is. De resulterende emissies in kg per ton HVO voor de drie typen motoren worden weergegeven in Tabel 4.11, waarbij de naamgeving van emissies overeen komt met de naamgeving in SimaPro.

Tabel 4.11: Totaal overzicht van de emissies, zoals meegenomen in deze studie en ingevoerd in SimaPro, in kg per ton HVO.

Emissiefactor (kg per ton HVO)	≤ CCR 1	CCR 2	Stage V
Ammonia	0,0519	0,0519	0,263
Carbon dioxide, biogenic	3109,3	3109,3	3109,3
Carbon monoxide, biogenic	10	6,2	5,3
Dinitrogen monoxide	0,027	0,027	0,027
Methane, biogenic	0,081	0,036	0,032
Nitrogen oxides	47,8	32,9	18,4
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	1,9	0,84	0,76
Particulates, < 10 um	1,5	0,73	0,026
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	0,016	0,016	0,016

De emissiefactoren voor diesel toegepast in een CCR 2 motor, welke als fossiele referentie wordt gebruikt in deze studie, worden op een vergelijkbare manier bepaald, maar dan zonder de reductiefactoren en omrekening van diesel naar HVO via de lower heating value toe te passen. Daarnaast worden biogene emissies als fossiel gekarakteriseerd, worden de emissies van metalen, zwavel en hydrogen chloride overgenomen uit ecoinvent en worden de emissies van ammonia, dinitrogen monoxide en Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a gelijk gesteld aan de emissies voor HVO. De gehanteerde emissies per ton diesel zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4.12: Emissiefactoren voor diesel toegepast in ene CCR 2 motor, zoals gehanteerd in de fossiele referentieberekening in deze studie.

Emissie	kg / ton diesel (CCR 2)
Ammonia	0,0519
Cadmium	1,00E-05
Carbon dioxide, fossil	3,11E+03
Carbon monoxide, fossil	6,7
Chromium	5,01E-05
Copper	1,70E-03
Dinitrogen monoxide	0,027
Hydrogen chloride	1,06E-03
Lead	2,00E-05
Mercury	7,01E-08
Methane, fossil	0,047
Nickel	7,01E-05
Nitrogen oxides	35,7

Emissie	kg / ton diesel (CCR 2)
NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	1,1
Particulates, < 10 µm	1,1
Selenium	1,00E-05
Sulfur dioxide	6,01E-01
Zinc	1,00E-03
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	0,016

4.5.3 Adblue (Stage V)

Voor Stage V motoren wordt er Adblue ingezet, om via het principe van Selective Catalytic Reduction (SCR) de emissie van NO_x terug te dringen. Dit valt onder de gebruiksfase, omdat het apart wordt toegevoegd in deze levenscyclusfase, en niet bijgemengd is met de brandstof. Adblue is een 32,5% (massa) oplossing van ureum in gedemineraliseerd water en heeft een soortelijk gewicht van 1,09 kg / dm³.

Het verbruik van AdBlue wordt ingeschat op ongeveer 5% van het volume Diesel. Dit wil zeggen ongeveer 17,7 gram ureum per liter diesel. Uitgaande van een constant verbruik per hoeveelheid arbeid kan dit worden omgerekend via de dichtheden en lower heating values van diesel en HVO. Dit komt neer op 21,7 kg ureum per ton HVO (zie onderstaande vergelijking).

$$\text{Ureumgebruik HVO} = \frac{\frac{\text{gram ureum}}{\text{liter diesel}}}{\text{dichtheid diesel}} * \frac{\text{LHV HVO}}{\text{LHV diesel}} = 21,7 \text{ kg / ton}$$

Bij de reactie van ureum met NO_x ontstaat er CO₂. De hoeveelheid kan worden uitgerekend via de reactievergelijking 4NO + 2(NH₂)₂CO + O₂ → 4N₂ + 4H₂O + 2CO₂. Hieruit volgt dat er per ureummolecuul één molecuul CO₂ ontstaat. Vanuit de moleculaire massa's kan dan worden berekend dat één kg ureum gepaard gaat met de uitstoot van 0,73 kg CO₂. Per ton HVO komt er dus 0,73*21,7=15,9 kg CO₂ vrij.

De CO₂ uitstoot wordt gekarakteriseerd als fossiel, omdat het onbekend is of de gebruikte ureum van fossiel of biogene afkomst is. Als referentieproduct voor ureum is "Urea, as N {GLO} market for | Cut-off, U" gehanteerd. De gebruikte referentie voor ureum duidt alleen op de N-content in ureum. Het drukt als het ware de impact van ureum uit per ton N die erin zit. Ecoinvent beschrijft dat 2.17 kg ureum 1 kg stikstof (N) bevat. Er is dus per kg ureum 0,461 kg van deze referentie nodig. Samenvattend is er voor Stage V het volgende extra benodigd naast de emissies in Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Benodigde inputdata voor Stage V bovenop de in kaart gebrachte emissies in Tabel 4.11.

Onderdeel	Proceskaart / emissie	Hoeveelheid	Eenheid
Ureum	Urea, as N {GLO} market for Cut-off, U	21,7/2,17=10,0	kg per ton HVO
CO ₂	carbon dioxide, fossiel	15,9	kg per ton HVO

4.6 Module D

In module D worden alle baten en lasten buiten de systeemgrenzen gedeclareerd, zoals toegelicht in paragraaf 2.2.2. Er ontstaan baten doordat de metalen uit het schip gerecycled worden na de einde levensduur. Dit wordt uitgewerkt in paragraaf 4.6.1. In tegenstelling tot de vorige versies van deze rapportage worden er nu geen lasten meer gerekend voor verloren secundair materiaal, in de vorm van afgewerkt frituurvet. Dit wordt toegelicht in paragraaf 4.6.2.

4.6.1 Recyclen van metalen

In het TNO-rapport R10662 is de recycling van metalen bij afdanking van de schepen meegenomen. In deze studie is de aanpak hiervan vernieuwd naar de nieuwste versie van de Bepalingsmethode en de Nationale Milieudatabase. Daarnaast wordt module D enigszins vereenvoudigd ten opzichte van het TNO-rapport R10662, doordat in deze studie slechts de recycling van staal en roestvast staal wordt meegenomen. De uitsparing andere metalen is achterwege gelaten, omdat deze per materiaal slechts 0,1% of minder van het totale metaalgewicht bedragen en dus een verwaarloosbare impact hebben. Deze aanpak is in lijn met de Bepalingsmethode, die stelt dat alle inputdata wordt meegenomen die meer dan 5% bijdraagt aan de milieu-impact per module of meer dan 1% van de massa en energie input zijn. Dit wordt nader toegelicht in de Bepalingsmethode in 2.6.3.6.

De uitgangspunten beschreven in deze paragraaf komen overeen met de uitgangspunten uit de eerder verschenen publicatie van deel a van deze studie (van der Kruk & Bolech, 2022).

Om de uitsparing van primaire grondstoffen in Module D te bepalen is allereerst gekeken naar het document “Forfaitaire waarden voor verwerking-scenario’s einde leven behorende bij: Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken”, versie mei 2022, waar de Bepalingsmethode naar verwijst (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a) (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022c). Dit document beschrijft per materiaalcategorie welke fractie ervan bij einde leven wordt gestort, verbrand, gerecycled of hergebruikt. Voor staal zijn er enkele categorieën beschikbaar, waarvan “Staal, zink / verzinkt staal (o.a. profielen, platen, zinklagen)” het meest representatief wordt geacht voor de scheepsbouw vanwege (het voorkomen van) roestvorming. Een overige optie die overwogen is “Staal, licht”, maar deze wordt minder representatief geacht, waarbij doorslaggevend is dat er 12% hergebruik plaatsvindt, wat niet realistisch wordt geacht voor onderdelen van schepen. Voor de gekozen deze materiaalcategorie geldt dat er 95% gerecycled wordt en 5% gestort. Met deze percentages is er gerekend in deze studie. Deze percentages worden ook realistisch geacht (op basis van expert judgement) voor staal uit scheepvaart.

De volgende referenties zijn gehanteerd voor stort, recycling en uitsparing van materiaal:

Tabel 4.14: Gehanteerde referenties per onderdeel van de einde levensduur.

Onderdeel	Referentie	Toelichting
Stort	0253-sto&Stort staal (o.b.v. Scrap steel {Europe without Switzerland} treatment of scrap steel, inert material landfill Cut-off, U)	Deze referentie is de enige optie voor staal uit de NMD 3.6 en wordt daarmee gezien als standaard.

Onderdeel	Referentie	Toelichting
Recycling	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer (o.b.v. Iron scrap, sorted, pressed {RER}) sorting and pressing of iron scrap Cut-off, U)	Deze referentie is de enige optie voor staal uit de NMD 3.6 en wordt daarmee gezien als standaard.
Uitsparing	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)	Deze referentie is de enige optie voor staal uit de NMD 3.6 en wordt daarmee gezien als standaard.

Omdat 95% van het staal gerecycled wordt en de hoeveelheid staal in schepen en machines aan boord bekend is via de proceskaarten van ecoinvent, kan er worden uitgerekend hoeveel secundair materiaal het productsysteem verlaat (95% van het inkomende materiaal). De precieze hoeveelheid uitgaand materiaal wordt hier niet nader toegelicht, omdat dit al in de ecoinvent proceskaarten is opgenomen.

Nu moet er alleen nog worden bepaald hoeveel secundair materiaal er het productsysteem binnenkomt. Het verschil hiertussen bepaalt namelijk hoeveel primair materiaal er kan worden uitgespaard in module D (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022a). Dit verschilt per referentie in ecoinvent en zal dus moeten worden uitgezocht voor de vier staalproductkaarten die zijn gebruikt in het baggerschip en de extra machines daarbij. In sommige gevallen bevatten proceskaarten uit de processendatabase percentages secundair materiaal. In deze publicatie worden de percentages berekend aan de hand van de hoeveelheid secundair materiaal ten opzichte van het totaal, in lijn met de eerder verschenen deel a van deze studie (van der Kruk & Bolech, 2022). Een alternatieve benadering zou zijn om juist te kijken naar het percentage primair materiaal ten opzichte van het totaal. Omdat er verliezen optreden die closed-loop gerecycled worden ontstaan er hier kleine verschillen tussen de twee aanpakken.

4.6.1.1 Reinforcing steel

Deze referentie bestaat voor 63% uit ongelegeerd staal, en 37% uit laaggelegeerd staal. Voor de productie van 1 kg laaggelegeerd staal via het convertorproces (57% van totale productie) wordt er 0,12501 kg scrap gebruikt en bij het vlamboogovenproces (43% van totale productie) 1,105 kg. Voor productie van 1 kg ongelegeerd staal wordt altijd 0,2125 kg scrap gebruikt.

Hiermee is de input van secundair materiaal per kg reinforcing steel gelijk aan $73\% \cdot 0,2125 + 37\% \cdot 57\% \cdot 0,12501 + 37\% \cdot 43\% \cdot 1,105 = 0,357$ kg.

Omdat de output gelijk is aan 0,95 kg (95% recycling), is de netto outputstroom van secundair materiaal $0,95 - 0,357 = 0,593$ kg per kg reinforcing steel. Met deze hoeveelheid mag dus gerekend worden in module D.

4.6.1.2 Steel, chromium steel 18/8, hot rolled

Chromium steel verwijst voor 27% naar het electric-proces, waar 0,52029 kg scrap voor wordt gebruikt. Voor het converter-proces wordt er geen scrap toegepast. Hiermee is de input van secundair materiaal per kg reinforced steel gelijk aan $27\% \times 0,52029 = 0,1405$ kg. Omdat de output gelijk is aan 0,95 kg (95% recycling) is de netto outputstroom van secundair materiaal $0,95 - 0,357 = 0,81$ kg per kg staal. Met deze hoeveelheid mag dus gerekend worden in module D.

4.6.1.3 Steel, low-alloyed, hot rolled

Low alloyed steel verwijst voor 43% naar het electric-proces, waar 1,105 kg scrap voor wordt gebruikt en voor 57% naar het convertorproces, waar 0,1205 kg scrap wordt gebruikt. Hiermee is de input van secundair materiaal per kg staal gelijk aan $43\% \times 1,105 + 57\% \times 0,1205 = 0,406$ kg. Omdat de output gelijk is aan 0,95 kg (95% recycling) is de netto outputstroom van secundair materiaal $0,95 - 0,406 = 0,544$ kg per kg staal. Met deze hoeveelheid mag dus gerekend worden in module D.

4.6.1.4 Steel, unalloyed

Unalloyed steel gebruikt per kg 0,2125 kg. Hiermee is de input van secundair materiaal per kg staal gelijk aan 0,2125 kg. Omdat de output gelijk is aan 0,95 kg (95% recycling) is de netto outputstroom van secundair materiaal $0,95 - 0,2125 = 0,737$ kg per kg staal. Met deze hoeveelheid mag dus gerekend worden in module D.

4.6.2 Afgewerkt frituurvet

De methodologie rondom module D voor primaire en secundaire inputstromen is uitgewerkt in paragraaf 2.3.4.2. In de vorige versie van dit rapport waren er twee opties voor het grondstofequivalent uitgewerkt. Het amendement 5 dat aan de Bepalingsmethode versie 1.1 is toegevoegd en later is opgenomen in de nieuwe Bepalingsmethode versie 1.2, heeft ervoor gezorgd dat deze uitwerking niet meer nodig is, omdat in beide situaties er geen milieulast in module meer gemodelleerd dient te worden.

De netto secundaire outputstroom wordt berekend aan de hand van de netto secundaire input- en outputstroom. In paragraaf 4.3 is beschreven dat er 1,14 ton afgewerkt frituurvet nodig is per ton HVO. De secundaire inputstroom is daarmee 1,14 ton. De secundaire outputstroom is 0 ton, omdat HVO volledig verbrandt in module B1. De netto outputstroom is dus negatief, met -1,14 ton. Dit wil zeggen dat er netto een negatieve hoeveelheid secundair materiaal aan het volgende productsysteem doorgegeven wordt. Voor de herziening werd hiervoor milieulast gerekend, maar volgens de herziening moet deze negatieve secundaire outputstroom gelijk gesteld worden aan 0.

5 Effectbeoordeling

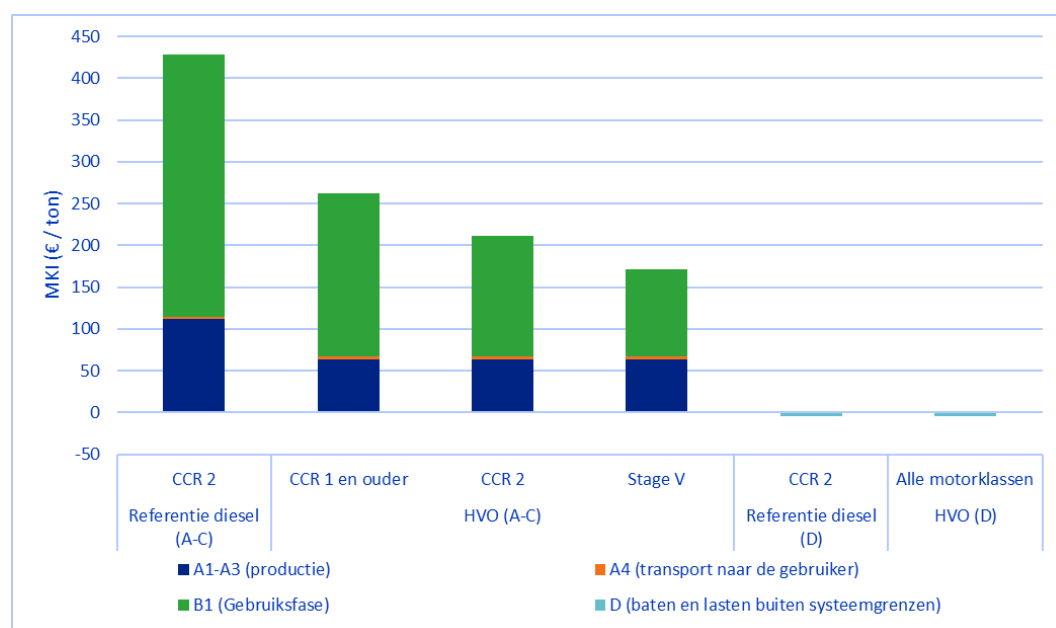
In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze LCA-studie besproken. De milieu-impact van de verschillende brandstoffen wordt uitgedrukt in de milieukostenindicator (MKI) per ton brandstof. Deze MKI wordt vervolgens op twee manier uitgesplitst: per levenscyclusfase (5.1) en per milieueffect (5.2). In het hoofdstuk 6 wordt dieper in gegaan op de zwaartepunten en gevoeligheden van de resultaten.

5.1 Levenscyclusfasen

Figuur 5.1 toont de MKI van de verschillende brandstofprofielen voor HVO en voor de fossiele referentie diesel in een CCR 2 motor, uitgesplitst per levenscyclusfase. Hierbij is module D separaat weergegeven van module A-C. Voor Module A-C geldt dat de MKI van HVO 51% lager is dan van de fossiele referentie. Module D bestaat uit de milieubaten ten gevolge van het recycleren van het staal uit de schepen. Hierdoor is module D voor alle situaties -4 euro MKI.

Er zijn verder aanzienlijke verschillen in MKI tussen de verschillende motortypes. Voor module A-C geldt een reductie van 19% voor CCR 2 en 35% reductie voor Stage V ten opzichte van CCR 1 en ouder. Deze verschillen ontstaan door een verschil in verbrandingsemissies en komen terug in module B1. Module D is voor alle motortypes gelijk.

Tot slot valt er op dat de milieu-impact gedomineerd wordt door de gebruiksfase. De herziening in de Bepalingsmethode van de berekening van module D heeft ervoor gezorgd dat module D geen significante bijdrage meer levert aan de totaal score. De bijdrage van de productie is kleiner dan van de gebruiksfase, maar nog aanzienlijk. Module A4 (transport naar de gebruiker) heeft geen significante bijdrage aan de totale MKI.



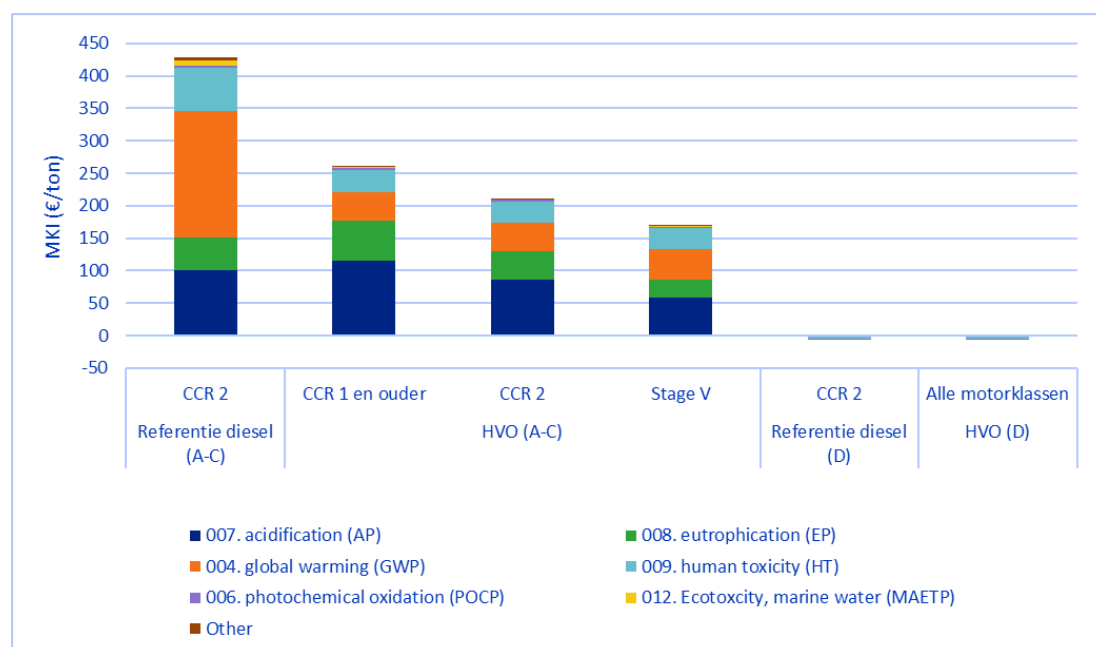
Figuur 5.1: Uitsplitsing MKI per levenscyclusfase per ton brandstof.

5.2 Milieueffecten

Figuur 5.2 toont de MKI voor de gehele levenscyclus van de verschillende brandstofprofielen voor HVO en voor de fossiele referentie diesel in een CCR 2 motor, uitgesplitst per milieueffect. Er valt op dat bij de referentie global warming de grootste bijdrage aan de MKI levert. HVO heeft voor module A-C een significant lagere GWP (ongeveer -77%) dan de referentie. Deze reductie is derhalve aanzienlijk hoger dan de MKI reductie van circa 51%.

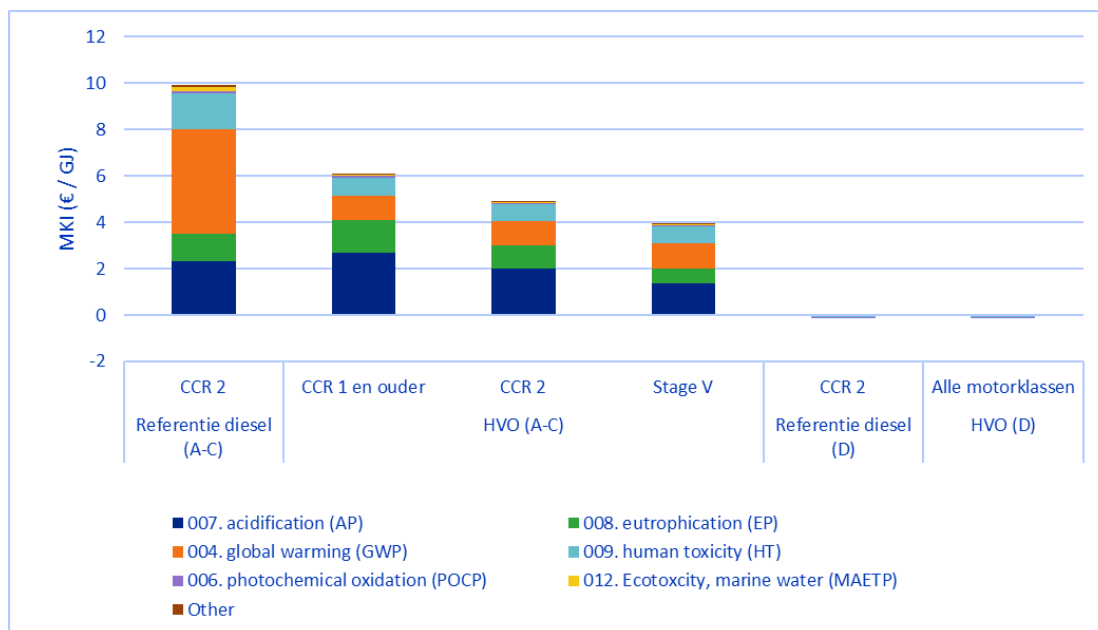
Verzuring (acidification) levert bij de HVO's de belangrijkste bijdrage (45%, 41% en 35%). Hoewel de verzuring bij de referentie een minder grote bijdrage levert aan het totaal van de MKI, is de absolute bijdrage aan de MKI vergelijkbaar met de HVO varianten CCR1 en CCR2.

De verschillen in MKI tussen de verschillende motortypes, veroorzaakt door de verbrandingsemissies in module B1, zijn hier terug te zien als verschillen in voornamelijk de milieueffecten verzuring en vermisting (eutrophication). Dit wordt veroorzaakt door de uitstoot van NO_x, die sterk varieert tussen de verschillende motortypes.



Figuur 5.2: Uitsplitsing MKI per milieueffect per ton brandstof.

Aangezien de brandstoffen enigszins verschillen in calorische waarde (43,1 voor diesel en 44 voor HVO GJ/ton), zal de vergelijking van de milieu-impacts van de brandstoffen per hoeveelheid geleverde energie licht afwijken van het beeld in bovenstaande grafiek. Daarom wordt de MKI over de gehele levenscyclus ook per GJ weergegeven in onderstaande grafiek. De verhoudingen tussen de HVO profielen en de referentie wijzigen nauwelijks.



Figuur 5.3: Uitsplitsing MKI per milieueffect per GJ brandstof.

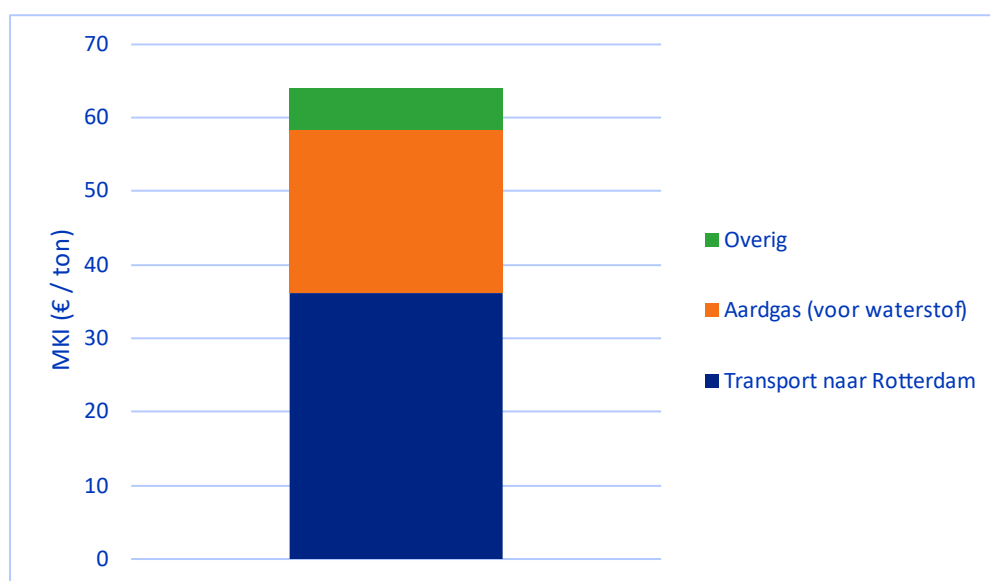
6 Interpretatie

6.1 Zwaartepuntanalyse

In deze paragraaf worden de modules die het meest bijdragen aan de totale milieu-impact nader onderzocht en verder uitgesplitst middels een zwaartepuntanalyse. Module A4 draagt relatief weinig bij aan de totale MKI voor alle brandstoffen en wordt daarom buiten beschouwing gelaten in dit hoofdstuk. Daarom wordt er alleen gekeken naar module A1-A3, B1 en D.

6.1.1 A1-A3 Productiefase

Figuur 6.1 toont de milieu-impact, uitgesplitst voor de productie van HVO. Het transport naar Rotterdam (56%) en het gebruik van aardgas voor de benodigde waterstof (35%) hebben de grootste bijdrage aan de MKI. De overige proces-inputs dragen weinig bij aan het totaal en zijn geaggregeerd weergegeven.

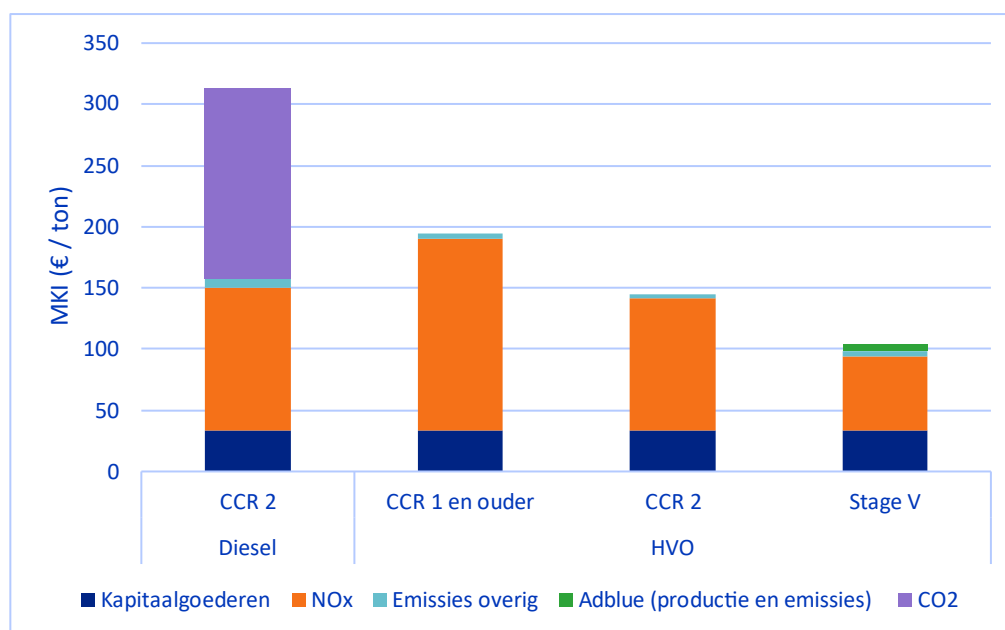


Figuur 6.1: Zwaartepuntanalyse voor de productie van HVO (A1-A3).

6.1.2 B1 – Gebruiksfase

Figuur 6.2 geeft een uitsplitsing weer van de belangrijkste verbrandingsemissies en kapitaalgoederen voor HVO, toegepast in de drie verschillende motortypen en de fossiele referentie diesel. NO_x (stikstofoxiden) heeft de grootste bijdrage aan de totale MKI voor alle drie de HVO-profielen. Voor diesel is de grootste bijdrage de uitstoot van fossiele CO₂. De uitstoot van biogeen CO₂ voor HVO komt niet terug in de MKI, zoals uitgewerkt in paragraaf 2.3.2. De overige emissies en het gebruik van Adblue dat voor Stage V wordt toegediend in de gebruiksfase (inclusief de extra fossiele CO₂ emissies die daaruit ontstaan) dragen beperkt bij aan de MKI (beiden <5%). Tot slot valt er af te lezen dat de bijdrage van kapitaalgoederen gelijk is voor alle drie de HVO-profielen, met een MKI rond de 33 euro.

De grootste bijdragen hieraan zijn afkomstig van het schip (16 euro), het kanaal (10 euro) en de extra machines (7 euro). Voor het schip en de machines geldt dat een deel van deze impact gecompenseerd wordt in module D, waardoor het schip in totaal voor module B + D uitkomt op een MKI van ongeveer 12 euro en de machines op 6 euro. De bijdrage van het schip op de totale MKI ligt daarmee tussen de 5-7% voor de drie verschillende HVO profielen (module A-C).



Figuur 6.2: Zwaartepuntanalyse binnen module B1 voor de drie verschillende motortypen per ton HVO en de fossiele referentie diesel.

6.1.3 Module D

Als gevolg van de wijziging in de Bepalingsmethode draagt Module D niet meer significant bij aan de totale milieu-impact van de HVO profielen. Er is nu alleen nog een bijdrage in de vorm van een kleine milieubaat ten gevolge van de recycling van metalen uit kapitaalgoederen. De MKI hiervan bedraagt ongeveer -4 euro per ton brandstof en draagt daarmee niet significant bij aan de totale MKI van alle fases van de LCA. Om deze reden is er geen zwaartepuntanalyse uitgevoerd voor module D.

6.2 Gevoeligheidsanalyse

Om de gevoeligheid van de resultaten voor enkele belangrijke aannames te testen laten we hier de resultaten zien voor enkele alternatieve scenario's. De alternatieve scenario's die we bekijken hebben betrekking op:

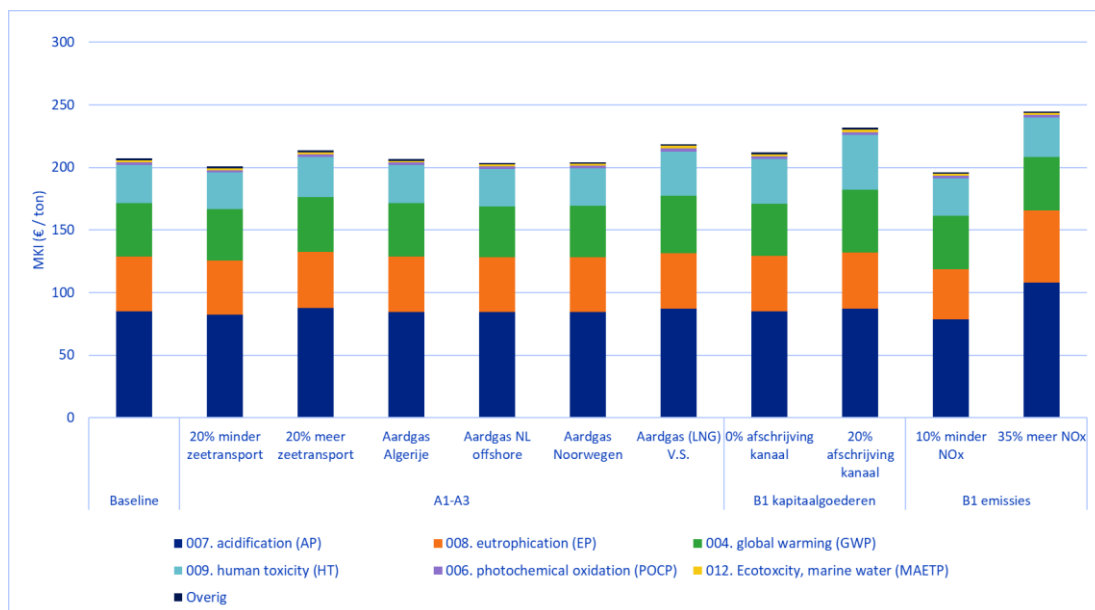
A1-A3

- Zeetransport: het aantal kilometers waarmee gerekend wordt is bepaald aan de hand van de verschillende herkomstlocaties op land-niveau. Omdat de exacte haven waarvandaan transport dan plaatsvindt niet bekend is, is het mogelijk dat er spreiding zit in het aantal kilometers, met name bij grotere landen zoals China en de Verenigde Staten. Wanneer er voor deze twee landen worst case gekozen wordt komt het totaal aantal kilometers ongeveer 15% hoger uit dan de waarden gehanteerd in deze studie. Om ook recht te doen aan de onzekerheden uit de overige herkomstlocaties is daarom onderzocht wat het effect is van 20% meer en minder kilometers transport.

- Aardgas: Voor het basisprofiel is gebruik gemaakt van de proceskaart “Natural gas, high pressure {NL}| market for | Cut-off, U”, een mix van de verschillende herkomstlocaties van het aardgas zoals in Nederland wordt gebruikt. In de gevoeligheidsanalyse is deze mix vervangen door verschillende individuele herkomstlocaties om het effect op de totale MKI te onderzoeken. De volgende aannames zijn hierbij gehanteerd:
 - Algerije: gebaseerd op de proceskaart “Natural gas, high pressure {NL}| market for | Cut-off, U” en een Higher heating value van 41,39 MJ / kg (uit documentatie ecoinvent). Omgerekend is de Lower Heating Value die wordt gehanteerd 37,3 MJ / kg.
 - Noorwegen: gebaseerd op de proceskaart “Natural gas, high pressure {NL}| import from NO | Cut-off, U” en een Higher heating value van 44,21 MJ / kg (uit documentatie ecoinvent). Omgerekend is de Lower Heating Value die wordt gehanteerd 39,8 MJ / kg.
 - Nederland offshore: gebaseerd op de proceskaart “Natural gas, high pressure {NL}| import from NO | Cut-off, U”.
 - Verenigde Staten: Als gevolg van de verminderde import van Russisch aardgas importeert Nederland extra aardgas uit o.a. de Verenigde Staten in de vorm van LNG. De modellering is gebaseerd op de proceskaart “Natural gas, liquefied {RoW}| production | Cut-off, U”, waarbij het aardgasprofiel voor wereldwijd gemiddeld gas 1 op 1 vervangen is door Amerikaans gas volgens de proceskaart “Natural gas, liquefied {RoW}| production | Cut-off, U (aanpassing naar US)”. Daarnaast is er transport toegevoegd volgens de proceskaart “Transport, freight, sea, tanker for liquefied natural gas {GLO}| transport, freight, sea, tanker for liquefied natural gas | Cut-off, U” en de gehanteerde transportafstand in Tabel 4.1.
-) B1
 - Kapitaalgoederen: voor het basisprofiel is gebruik gemaakt van de afschrijving van kanalen volgens de proceskaart voor transport per binnenvaart uit Ecoinvent, waarbij 10% van de waarde van binnenvaartschepen gehanteerd is (zie paragraaf 4.5.1.2), omdat baggerschepen significant minder gebruik maken van kanalen. In deze gevoeligheidsanalyse wordt er onderzocht wat het effect is van een hogere (20%) en lagere (0%) afschrijving van kanalen.
 - Emissies: de emissie van NO_x kan variëren afhankelijk van de motorbelasting en de grootte van de motor in relatie tot het gevraagde vermogen. Er is gewerkt met een scenario van een uitstoot van -10% en +35% ten opzichte van de baseline, die naar schatting zelden zullen voorkomen maar wel mogelijk zijn.

Bovenstaande gevoeligheidsanalyses zijn in figuur 6.3 weergegeven.

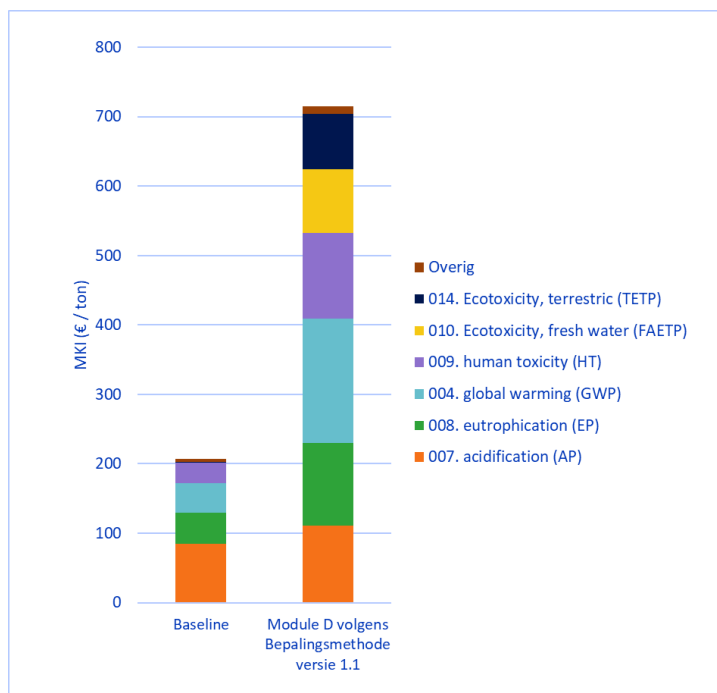
-) Module D: De wijziging in de Bepalingsmethode om, indien de netto output van secundaire stromen negatief is, gelijk te stellen aan 0, kan een grote impact op de resultaten hebben. In deze gevoeligheidsanalyse wordt de module D zoals deze in de vorige versie van dit rapport is berekend (op basis van de Bepalingsmethode versie 1.1), vergeleken met de vigerende Bepalingsmethode (versie 1.2). De resultaten hiervan zijn in figuur 6.4 weergegeven.



Figuur 6.33: Gevoeligheidsanalyse over hele levenscyclus van 1 ton HVO, waarbij de invloed van belangrijkste onzekerheden op de MKI onderzocht is.

De meeste scenario's hebben een beperkte invloed op de MKI ($\leq 5\%$). Slechts de scenario's 20% afschrijving kanaal en 35% meer NO_x hebben een significante invloed (respectievelijk +12% en +18%).

Voor vier scenario's zijn er individuele milieueffecten die een grotere afwijking van de baseline hebben dan 20%. Het gaat hierbij om de scenario's "Aardgas NL offshore" en "Aardgas Noorwegen", waarbij "ozone depletion" 41% en respectievelijk 23% lager uitvalt dan de baseline, "35% meer NO_x", waarbij "acidification" en "eutrophication" 27% en respectievelijk 31% hoger uitvalt en "Aardgas (LNG) V.S.", waarbij "Ecotoxicity, freshwater" en "Ecotoxicity, marine water" 42% en respectievelijk 37% hoger uitvalt. Omdat de invloed op de MKI hiervan toch beperkt blijft en aparte profielen opstellen niet praktisch in gebruik is, is ervoor gekozen om voor deze scenario's geen aparte profielen op te stellen. Bovendien komt het scenario "35% meer NO_x" naar verwachting zeer beperkt voor.



Figuur 6.4: Gevoeligheidsanalyse over hele levenscyclus van 1 ton HVO, waarbij de invloed module D op de MKI onderzocht is.

De impact van de wijziging van de berekening van module D is zeer groot. Over de gehele levenscyclus blijkt de MKI 3,5 keer zo hoog te zijn bij berekeningen uitgevoerd volgens versie 1.1 van de Bepalingsmethode.

7 REDII: Berekeningen & resultaten

7.1 Berekeningen

In deze paragraaf wordt uitgewerkt hoe de berekeningsprocedure uit paragraaf 2.1.3 gevolgd wordt om tot de CO₂ footprint voor HVO op basis van afgewerkt frituurvet te komen volgens de REDII kaders.

7.1.1 Emissies van transport en distributie (e_{td})

Het Joint Research Centre (JRC) van de Europese Commissie stelt de inputgegevens vast om de standaarduitstoot van broeikasgassen (GHG) van biobrandstoffen in de EU-wetgeving te beoordelen. GHG-emissies van transport en distributie worden geschat volgens Vergelijking 7.1 (European Commission et al., 2019). De belangrijkste gegevens die worden gebruikt om GHG-emissies van wegtransport, zeetransport en distributie te kwantificeren, worden samengevat in Tabel 7.1 en zijn overeenkomstig de verzamelde data uit hoofdstuk 4. Voor het transport van vloeistoffen worden speciale tankwagens gebruikt. Er wordt aangenomen dat dergelijke vrachtwagens dezelfde algemene brandstofefficiëntie en algemene laadcapaciteit hebben als een vrachtwagen voor vaste stoffen, maar met een hoger tankgewicht (2 ton), en dus bedraagt de laadcapaciteit 26 ton. Voor zeetransport wordt een 22560 ton laadvermogen tanker vrachtschip voor plantaardige olie overwogen in overeenstemming met het JRC-proces om rekening te houden met de directe import van afgewerkt frituurvet (European Commission et al., 2019).

Vergelijking 7.1

$$\text{Distance} \left[\frac{\text{t} \cdot \text{km}}{\text{MJ}_{\text{goods}}} \right] = \frac{(27)[t] \cdot x[km]}{(27 - \text{tank})[t] \cdot LHV_{\text{dry}} \left[\frac{\text{MJ}_{\text{goods}}}{\text{kg}_{\text{dry}}} \right] \cdot \text{Solids} \left[\frac{\text{kg}_{\text{dry}}}{\text{kg}_{\text{tot}}} \right]}$$

Tabel 7.1: Gehanteerde data om de GHG emissies van transport en distributie te kwantificeren. (European Commission et al., 2019).

Onderdeel	Eenheid	Hoeveelheid
Gemiddelde wegtransportafstand in land van oorsprong	km	123
Gemiddelde weg transportafstand van land van oorsprong naar Nederland.	km	94
Gemiddelde wegtransportastand van productielocatie naar bunkerlocatie	km	150
Laadcapaciteit vrachtwagens	t	26

Onderdeel	Eenheid	Hoeveelheid
Tankgewicht	t	2
Brandstofverbruik (inclusief leeg retourtransport)	MJ/tkm	0.81
Lower Heating Value (LHV) van afgewerkt frituurvet	MJ/kg	37
GHG emissies voor dieselgebruik (well to wheel)	g CO ₂ eq/MJ	95.1
Gemiddelde transportafstand over zee van land van oorsprong naar Nederland.	km	12501
Laadvermogen tanker vrachtschip	t	22560
Brandstofverbruik (HFO) van tanker vrachtschip (gemiddeld 90% beladen op de heenweg en 85% beladen op de terugweg).	MJ/tkm	0.095
Lower Heating Value (LHV) van HFO	MJ/kg	40.5
GHG emissies voor HFO (well to wheel)	g CO ₂ eq/MJ	92.4

7.1.2 emissies van verwerking (e_p)

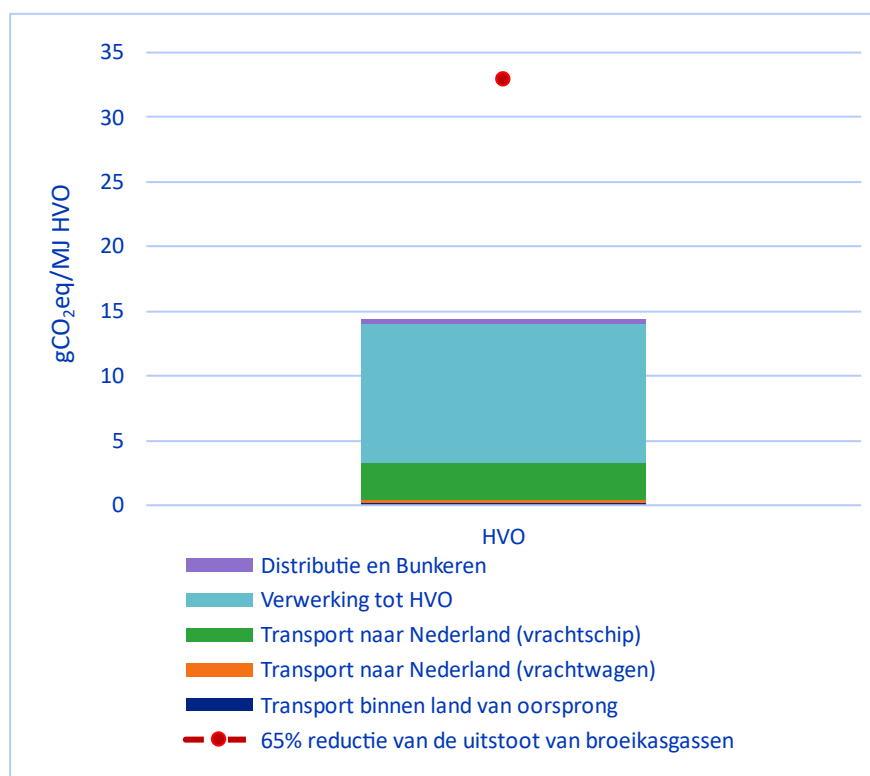
Tabel 7.2 toont de benodigde inputdata om 1MJ HVO te produceren uit afgewerkt frituurvet (European Commission et al., 2019). De GHG-emissiecoëfficiënten voor elektriciteit, aardgas en chemische inputs zijn afkomstig uit ecoinvent (zie Tabel 4.4) en worden berekend volgens de Bepalingsmethode set 1, in overeenstemming met de LCA volgens de Bepalingsmethode. Deze GHG-emissiecoëfficiënten zijn representatief voor de Nederlandse situatie. Een kanttekening hierop is dat de GHG-emissiecoëfficiënt voor elektriciteit hoger ligt dan de huidige praktijk, omdat de achterliggende data van ecoinvent afkomstig is uit 2016. De vraag naar elektriciteit en warmte voor bunkeren is samengevat in Tabel 4.5.

Tabel 7.2: Data voor verwerking tot HVO (European Commission et al., 2019)

Onderdeel	Eenheid	Hoeveelheid
Input		
Aardgas (voor waterstofproductie)	MJ/MJ HVO	0,13372
Afgewerkt frituurvet	MJ/MJ HVO	0,96255
H ₃ PO ₄	kg/MJ HVO	0,00003
NaOH	kg/MJ HVO	0,00003
N ₂	kg/MJ HVO	0,00001
Elektriciteit	MJ/MJ HVO	0,00896
Output		
HVO	MJ	1

7.2 Resultaten

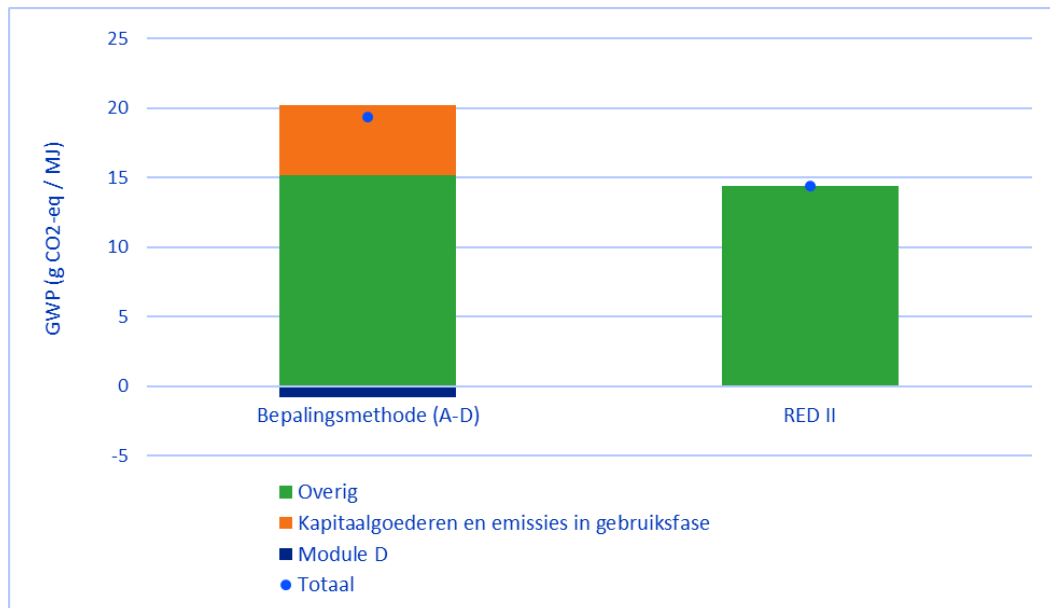
Figuur 7.1 toont de GHG-emissies voor de hele levenscyclus van HVO volgens REDII systematiek. De totale GHG-emissies bedragen 14 g CO₂eq/MJ HVO en dit voldoet aan de 65% GHG-emissiereductie ten opzichte van de fossiele brandstofreferentie die in REDII is vastgesteld. Het grootste effect wordt toegeschreven aan het verwerkingsproces, voornamelijk vanwege het gebruik van aardgas. Aardgas wordt gebruikt voor H₂-productie en warmtelevering voor het conversieproces. Het effect van andere nutsvoorzieningen (elektriciteit) en chemische inputs die nodig zijn voor het conversieproces is minimaal omdat de benodigde hoeveelheden klein zijn. Het op één na grootste effect komt overeen met GHG-emissies gerelateerd aan zeetransport. Er is een lange gemiddelde afstand om het afgewerkt frituurvet van het aanvoerland naar de verwerkingslocatie in Nederland te transporteren. De rest van de fasen in de waardeketen, zoals wegtransport, distributie en bunkeren, draagt minimaal bij aan de totale GHG-emissies.



Figuur 7.1: GHG emissies voor HVO op basis van afgewerkt frituurvet volgens de REDII standaarden.

7.3 Vergelijking RED en Bepalingsmethode

In deze paragraaf worden de uitkomsten van de milieuprofielen volgens de Bepalingsmethode uit hoofdstuk 5 en de REDII uit hoofdstuk 7 met elkaar vergeleken. Hierbij kan er vanwege de scope van de REDII alleen een vergelijking van de Global Warming Potential plaatsvinden, en dus niet van de MKI en alle milieueffecten waar de MKI uit opgebouwd is. In Figuur 7.2 wordt de GWP van HVO volgens de Bepalingsmethode en de REDII weergegeven in g CO₂-eq per MJ HVO.



Figuur 7.2: Vergelijking van de Global Warming Potential (GWP) van de profielen volgens de Bepalingsmethode en de REDII in g CO₂-eq per MJ HVO.

Module D en de emissies en kapitaalgoederen uit de gebruiksfase vallen buiten scope onder de REDII. Wanneer deze buiten beschouwing worden genomen zijn de verschillen tussen de REDII en de Bepalingsmethode beperkt: de resultaten onder de Bepalingsmethode komen dan nog ongeveer 5% hoger uit dan onder de REDII. Deze verschillen ontstaan in module A2 en A4, vanwege een verschil in bepaling van de impact van transport. De REDII gaat uit van een specifieke formule hiervoor (zie paragraaf 7.1.1). Voor module A3 zijn de resultaten identiek, omdat identieke GHG-emissiecoëfficiënten voor de input-data gehanteerd konden worden.

8 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie is het milieuprofiel opgesteld van de biobrandstof HVO, geproduceerd uit afgewerkt frituurvet. Het milieuprofiel is opgesteld volgens de Bepalingsmethode, waarbij de uitgangspunten naast die van de REDII zijn gezet om maximaal te uniformeren. De uitgangspunten en de methodiek zijn afgestemd met een externe klankbordgroep, bestaande uit experts op het gebied van de Bepalingsmethode en de REDII.

Op de volgende punten komen de Bepalingsmethode en de REDII overeen:

- › Allocatie, o.b.v. energiedichtheid
- › Systeemgrenzen
 - Afgewerkt frituurvet vrij van milieulast als grondstof (in module A1)
 - Inzamelen van afgewerkt frituurvet
 - Bewaren en voorbehandelen van afgewerkt frituurvet
 - HVO productieprocessen
 - HVO distributie
 - HVO gebruik

De belangrijkste verschillen tussen de twee methodieken die niet kunnen worden overbrugd zijn:

- › Kapitaalgoederen
 - Bepalingsmethode: in scope
 - REDII: niet in scope
- › Emissies
 - Bepalingsmethode: breed scala aan emissies in alle levenscyclusfasen
 - REDII: CO₂, CH₄ en N₂O en voor biobrandstoffen geen emissies in gebruiksfase
- › Systeemgrenzen
 - Bepalingsmethode: baten en lasten buiten systeemgrenzen (module D)
 - REDII: niet in scope

De Global Warming Potential op basis van de REDII bedraagt 14 g CO₂-eq per MJ HVO. Op basis van de Bepalingsmethode bedraagt deze 20 g CO₂-eq per MJ HVO. Het verschil wordt grotendeels veroorzaakt doordat de emissies en kapitaalgoederen uit de gebruiksfase buiten de scope van de REDII vallen, maar wel worden meegenomen in de Bepalingsmethode. Het resterende verschil ontstaat in module A2 en A4, vanwege een klein verschil in de bepaling van de impact van transport. Voor module A3 zijn de resultaten identiek, omdat identieke GHG-emissiecoëfficiënten voor de input-data gehanteerd konden worden. Module D, die buiten de scope van de REDII valt, geeft een GWP van -1 g CO₂-eq per MJ HVO.

De MKI voor module A-C van HVO bedraagt 212 euro per ton HVO. Dit is 217 euro minder dan voor de referentie (diesel), beide in een CCR2 motor. De MKI voor module D van HVO bedraagt -4,4 euro, wat hetzelfde is als de MKI voor module D van diesel.

Door de wijziging van de Bepalingsmethode moet de negatieve secundaire outputstroom gelijk worden gesteld aan 0, met als gevolg dat er voor HVO geen milieulast voor verloren secundaire grondstoffen berekend moet worden en daarmee alleen nog de milieubaten van recycling van kapitaalgoederen (staal) berekend zijn. En die zijn in beide situaties gelijk, waardoor er geen verschil meer is met de referentie voor module D.

De MKI bedraagt voor de verschillende motor types 257 (CCR 1), 207 (CCR 2) en 166 (Stage V) euro per ton HVO. De afname wordt voornamelijk veroorzaakt door de NO_x reductie.

Referenties

- Aabo, K. (2002). *Marine Transport Fuels and Emissions*.
- De Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat van 14 december 2020, nr. IENW/BSK-2020/239573, tot wijziging van de Regeling energie vervoer in verband met het wijzigen van de uitslag tot verbruik van vloeibare biobrandstof aan zeeschip. *Staatscourant*, 65200.
- Delgado, L., Catarino, A. S., Eder, P., Litten, D., Luo, Z., & Villanueva, A. (2008). End of waste criteria, final report. In *JRC Scientific and Technical Reports* (Vol. 14, Issue 3). <https://doi.org/10.2791/28650>
- European Biomass Industry Association. (n.d.). *Used Cooking Oil*. Retrieved January 28, 2021, from <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biomass-resources/challenges-related-to-biomass/used-cooking-oil-recycling/>
- European Commission. (2018). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). *Official Journal of the European Union*.
- European Commission, Padella, M., O'Connell, A., Giuntoli, J., Bulgheroni, C., Edwards, R., Marelli, L., & Koeble, R. (2019). *Definition of input data to assess GHG default emissions from biofuels in EU legislation : version 1d - 2019*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2760/69179>
- European Parliament and Council. (2009). Regulation (EC) No 1069/2009. *Official Journal of the European Union*, 300(April), 1–33.
- Europese Unie. (n.d.). *Feiten en cijfers over het leven in de Europese Unie*. Retrieved May 3, 2023, from https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/key-facts-and-figures/life-eu_n/#:~:text=De EU beslaat meer dan,heeft 447%2C7 miljoen inwoners.
- Eurostat. (2020). *Wash your hands thoroughly*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20200326-1>
- Eurostat. (2022). *Assessment of renewable energy sources - shares up to 2020 and 2021 summary results*.
- IMO. (2021). Fourth IMO GHG Study 2020 Full Report. In *International Maritime Organization* (Vol. 6, Issue 11).
- Jochimsen-Verstraeten, J., de Vos-Effting, S. E., Keijzer, E. E., Dellaert, S. N. C., van Horssen, A., van Gijlswijk, R. N., & Hulskotte, J. H. J. (2016). *Milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase*.
- Jun, P., Gillenwater, M., & Barbour, W. (2006). *CO₂, CH₄, AND N₂O Emissions From Transportation-Water-borne Navigation*.
- Kruk, T.A van der, Bolech, M., Vera, I., van Horssen, A. (2023). *Update milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase*.
- Milieudatabase, S. N. (n.d.). *Bepalingsmethode*. Retrieved March 3, 2023, from <https://milieudatabase.nl/nl/milieuprestatie/Bepalingsmethode/>
- Milieudatabase, S. N. (2021). *Handleiding in de nieuwe stijl invoermodule*. 0, 1–23.
- Nederlandse Emissieautoriteit. (n.d.). *Duurzaamheid biobrandstoffen*. Retrieved May 25, 2023, from <https://www.emissieautoriteit.nl/onderwerpen/inboeken/inboeken-vloeibare-biobrandstof/duurzaamheid>
- Nederlandse Emissieautoriteit. (2022a). *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2021*. 53.
- Nederlandse Emissieautoriteit. (2022b). *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2021*.

53. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/07/04/rapportage-energie-voor-vervoer-in-nederland-2018>
- Neste Corporation. (2021). Neste Renewable Diesel Handbook. In *Neste*.
- NNFCC. (2019a). *Implications of Imported Used Cooking Oil (UCO) as a Biodiesel Feedstock*. May, 24. www.nnfcc.co.uk
- Panadare, D. C., & Rathod, V. K. (2015). *Applications of Waste Cooking Oil Other Than Biodiesel: A Review*. 12(3), 55–76.
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2022a). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*. v1.1. 0, 1–81. <https://milieudatabase.nl/wp-content/uploads/2020/07/Bepalingsmethode-Milieuprestatie-Bouwwerken-juli-2020.pdf>
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2022b). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*. v1.1. 0, 1–81.
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2022c). *Forfaitaire waarden voor verwerking-scenario's einde leven behorende bij: Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken (versie mei 2022)*. 0, 1–3.
- Stichting Nationale Milieudatabase (2024a), *Notitie stappenplan biogene koolstof*. <https://milieudatabase.nl/nl/milieuprestatie/circulair-bouwen/stappenplan-biogeenkoolstofgehalte/>
- Stichting Nationale Milieudatabase (2024b), *Stappenplan voor het rekenen met GWP_Biogene koolstof in LCA*. <https://milieudatabase.nl/nl/downloads-plugin/download/191/>
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2025). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken*. v1.2. <https://milieudatabase.nl/nl/downloads-plugin/download/229/>
- The European commission. (n.d.). *supplementing Regulation (EU) No 142/2011 as regards health requirements for the import of used cooking oil*. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=PI_COM:Ares\(2019\)4018587&from=FR](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=PI_COM:Ares(2019)4018587&from=FR)
- Uslu, A. (2022). *The main elements of transport sector in REDIII*.
- van der Kruk, T. A., & Bolech, M. (2022). *Update milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase; Deel A : fossiele brandstoffen*.
- Verbeek, R. (Tno). (2014). *Assessment of pollutant emissions with GTL as a drop in fuel for medium and heavy-duty vehicles, inland shipping and non-road machines*.
- Vonk, W., Cuelenare, R., Smokers, R., Ligterink, N., Verbeek, R., Hulskotte, J., Harmsen, J., van Eijk, E., Hoen, A., Kleijn, A., Nelissen, D., van Wijngaarden, L., & Geilenkirchen, G. (2020). *Factsheets stikstofmaatregelen mobiliteit*.

Ondertekening

TNO) Energy & Materials Transition) Utrecht, 25 februari 2025

Gerard van der Laan
Research Manager

Arjan van Horssen
Project Manager

Bijlage A

Gekarakteriseerde milieueffecten op basis van set 1 (Bepalingsmethode)

In deze bijlage worden de milieuprofielen per ton brandstof op basis van set 1 getoond.

Tabel A.1: Milieuprofiel van de levenscyclus van 1 ton HVO met motortype CCR 1 en ouder

Effectcategorie	Eenheid	A1-A3	A4	B1	D	Totaal
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	2,67E-06	1,60E-06	1,96E-05	-2,58E-08	2,39E-05
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	5,87E-03	1,91E-04	1,20E-03	-2,20E-04	7,04E-03
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	6,42E-01	2,63E-02	2,22E-01	-3,56E-02	8,54E-01
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	7,87E-08	3,90E-09	2,82E-08	-1,24E-09	1,10E-07
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	2,58E-04	1,49E-05	1,42E-03	-7,73E-05	1,61E-03
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	3,99E-03	1,08E-04	2,47E-02	-1,20E-04	2,87E-02
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	4,64E-04	2,09E-05	6,35E-03	-1,43E-05	6,82E-03
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,03E-01	1,09E-02	2,64E-01	-2,22E-02	3,56E-01
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	2,07E-03	2,96E-04	1,64E-03	2,76E-04	4,29E-03
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	9,23E+00	1,01E+00	5,13E+00	2,31E-01	1,56E+01
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	4,37E-04	5,84E-05	9,32E-04	1,86E-03	3,29E-03
111. Energy, primary, renewable, excludi	MJ	1,60E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,60E+01
113. Energy, primary, renewable, materia	MJ	4,40E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,40E+01
101. Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	4,41E+01	1,47E-02	1,21E-01	7,74E-03	4,43E+01
112. Energy, primary, non-renewable, exc	MJ	2,05E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,05E+01
114. Energy, primary, non-renewable, mat	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
102. Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	1,21E+01	4,07E-01	2,19E+00	-2,76E-01	1,44E+01
108. Secondary material (kg)	kg	1,14E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,14E+00
109. Secondary fuel, renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
110. Secondary fuel, non-renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
104. Water, fresh water use (m3)	m3	1,04E-03	1,70E-05	1,46E-03	-1,38E-04	2,38E-03
106. Waste, hazardous (kg)	kg	1,34E-05	1,01E-06	1,13E-05	-4,57E-06	2,11E-05
105. Waste, non hazardous (kg)	kg	4,22E-02	2,15E-02	5,33E-02	-3,73E-03	1,13E-01
107. Waste, radioactive (kg)	kg	1,99E-05	2,19E-06	6,31E-06	2,26E-07	2,86E-05
120. Components for re-use (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
121. Materials for recycling (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
122. Materials for energy recovery (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
123. Exported energy, electric (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
124. Exported energy, thermal (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tabel A.2: Milieuprofiel van de levenscyclus van 1 ton HVO met motortype CCR 2

Effectcategorie	Eenheid	A1-A3	A4	B1	D	Totaal
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	2,67E-03	1,60E-03	1,96E-02	-2,58E-05	2,39E-02
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	5,87E+00	1,91E-01	1,20E+00	-2,20E-01	7,04E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	6,42E+02	2,63E+01	2,20E+02	-3,56E+01	8,53E+02
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	7,87E-05	3,90E-06	2,82E-05	-1,24E-06	1,10E-04
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	2,58E-01	1,49E-02	8,19E-01	-7,73E-02	1,01E+00
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	3,99E+00	1,08E-01	1,73E+01	-1,20E-01	2,13E+01
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	4,64E-01	2,09E-02	4,41E+00	-1,43E-02	4,88E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,03E+02	1,09E+01	2,46E+02	-2,22E+01	3,37E+02
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	2,07E+00	2,96E-01	1,64E+00	2,76E-01	4,29E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	9,23E+03	1,01E+03	5,13E+03	2,31E+02	1,56E+04
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	4,37E-01	5,84E-02	9,32E-01	1,86E+00	3,29E+00
111. Energy, primary, renewable, excludi	MJ	1,60E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,81E+02
113. Energy, primary, renewable, materia	MJ	4,40E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,68E+02
101. Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	4,41E+04	1,47E+01	1,21E+02	7,74E+00	1,25E+01
112. Energy, primary, non-renewable, exc	MJ	2,05E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,42E-01
114. Energy, primary, non-renewable, mat	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,22E-04
102. Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	1,21E+04	4,07E+02	2,19E+03	-2,76E+02	3,04E+01
108. Secondary material (kg)	kg	1,14E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,24E-02
109. Secondary fuel, renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,43E+01
110. Secondary fuel, non-renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,57E+02
104. Water, fresh water use (m3)	m3	1,04E+00	1,70E-02	1,46E+00	-1,38E-01	3,83E+01
106. Waste, hazardous (kg)	kg	1,34E-02	1,01E-03	1,13E-02	-4,57E-03	2,39E-02
105. Waste, non hazardous (kg)	kg	4,22E+01	2,15E+01	5,33E+01	-3,73E+00	1,32E+04
107. Waste, radioactive (kg)	kg	1,99E-02	2,19E-03	6,31E-03	2,26E-04	5,99E+01
120. Components for re-use (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,16E-04
121. Materials for recycling (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,09E+01
122. Materials for energy recovery (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,68E+03
123. Exported energy, electric (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,51E-07
124. Exported energy, thermal (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,44E-05

Tabel A.3: Milieuprofiel van de levenscyclus van 1 ton HVO met motortype Stage V.

Effectcategorie	Eenheid	A1-A3	A4	B1	D	Totaal
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq	2,67E-03	1,60E-03	1,96E-02	5,67E-04	2,45E-02
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq	5,87E+00	1,91E-01	1,20E+00	5,80E-02	7,31E+00
004. global warming (GWP)	kg CO2 eq	6,42E+02	2,63E+01	2,20E+02	1,29E+01	9,01E+02
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	7,87E-05	3,90E-06	2,82E-05	2,96E-06	1,14E-04
006. photochemical oxidation (POCP)	kg C2H4	2,58E-01	1,49E-02	7,57E-01	-6,50E-02	9,65E-01
007. acidification (AP)	kg SO2 eq	3,99E+00	1,08E-01	1,04E+01	5,30E-02	1,45E+01
008. eutrophication (EP)	kg PO4--- eq	4,64E-01	2,09E-02	2,60E+00	9,11E-03	3,09E+00
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq	1,03E+02	1,09E+01	2,28E+02	-6,39E+00	3,35E+02
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DB eq	2,07E+00	2,96E-01	1,64E+00	7,81E-01	4,79E+00
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DB eq	9,23E+03	1,01E+03	5,13E+03	2,29E+03	1,77E+04
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DB eq	4,37E-01	5,84E-02	9,32E-01	1,90E+00	3,33E+00
111. Energy, primary, renewable, excludi	MJ	-2,46E+03	2,65E+01	3,35E+03	1,12E+01	9,28E+02
113. Energy, primary, renewable, materia	MJ	6,49E+02	2,66E+01	2,31E+02	1,09E+01	9,17E+02
101. Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	-3,11E+03	-7,88E-02	3,12E+03	2,94E-01	1,08E+01
112. Energy, primary, non-renewable, exc	MJ	1,50E-01	1,03E-02	2,53E-01	3,88E-02	4,52E-01
114. Energy, primary, non-renewable, mat	MJ	9,20E-05	4,82E-06	2,63E-05	4,20E-06	1,27E-04
102. Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	4,99E+00	1,45E-01	1,54E+01	9,64E-02	2,06E+01
108. Secondary material (kg)	kg	5,34E-03	5,33E-04	7,87E-03	-8,70E-04	1,29E-02
109. Secondary fuel, renewable (kg)	MJ	1,23E+00	4,60E-02	7,39E+00	-2,56E-03	8,66E+00
110. Secondary fuel, non-renewable (kg)	MJ	1,37E+01	5,37E-01	8,42E+01	3,61E-01	9,88E+01
104. Water, fresh water use (m3)	m3	3,64E+00	1,46E-01	2,02E+01	-1,47E-01	2,38E+01
106. Waste, hazardous (kg)	kg	2,67E-03	1,60E-03	1,96E-02	5,67E-04	2,45E-02
105. Waste, non hazardous (kg)	kg	1,11E+04	3,83E+02	2,06E+03	2,68E+02	1,38E+04
107. Waste, radioactive (kg)	kg	2,36E+01	-9,78E-01	4,46E+01	7,02E+01	1,37E+02
120. Components for re-use (kg)	kg	8,53E-06	2,05E-06	4,84E-05	2,17E-06	6,11E-05
121. Materials for recycling (kg)	kg	1,32E+01	1,45E+00	5,55E+00	1,74E+00	2,20E+01
122. Materials for energy recovery (kg)	kg	2,88E+03	3,97E+02	5,72E+03	-7,88E+02	8,20E+03
123. Exported energy, electric (MJ)	MJ	1,23E-07	1,34E-08	7,18E-07	1,11E-08	8,67E-07
124. Exported energy, thermal (MJ)	MJ	2,16E-06	4,09E-07	1,35E-05	7,79E-06	2,38E-05

Bijlage B

MKI

De MKI per ton brandstof per levenscyclusfase is weergegeven in Tabel B.1.

Tabel B.1: MKI per module voor alle drie de HVO profielen, per ton brandstof.

Profiel	A1-A3	A4	B1	D	Totaal
CCR 1 en ouder	63,94	3,09	194,63	-4,44	257,23
CCR 2	63,94	3,09	144,47	-4,44	207,06
Stage V	63,94	3,09	103,82	-4,44	166,42

In Tabel B.2 is de MKI (met de standaard CO₂-wegingsfactor van 50 euro per ton) weergegeven voor module A-C en D, uitgesplitst per milieueffect.

Tabel B.2: MKI per milieueffect van alle drie de HVO profielen, per ton brandstof

Effectcategorie	Totaal		
	CCR 1 en ouder	CCR 2	Stage V
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	0,00	0,00	0,00
002. abiotic depletion, fuel (AD)	1,13	1,13	1,17
004. global warming (GWP)	42,71	42,65	45,07
005. ozone layer depletion (ODP)	0,00	0,00	0,00
006. photochemical oxidation (POCP)	3,23	2,03	1,93
007. acidification (AP)	114,88	85,08	58,12
008. eutrophication (EP)	61,37	43,94	27,85
009. human toxicity (HT)	32,02	30,35	30,16
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	0,13	0,13	0,14
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	1,56	1,56	1,77
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	0,20	0,20	0,20
Totaal	257,23	207,06	166,42

Bijlage C

Gekarakteriseerde milieueffecten op basis van set 2 (EN 15804/A2:2019)

In deze bijlage worden de milieuprofielen per ton brandstof op basis van set 2 (EN 15804+A2) getoond.

Tabel C.1: Milieuprofiel van de levenscyclus van 1 ton HVO met motortype CCR 1 en ouder.

Effectcategorie	Eenheid	A1-A3	A4	B1	D	Totaal
051. Climate change	kg CO2 eq	-2,46E+03	2,65E+01	3,36E+03	-3,77E+01	8,88E+02
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	6,49E+02	2,66E+01	2,31E+02	-3,82E+01	8,68E+02
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	-3,11E+03	-7,88E-02	3,11E+03	0,00E+00	0,00E+00
054. Climate change - Land use and LU ch	kg CO2 eq	1,50E-01	1,03E-02	2,53E-01	2,82E-02	4,42E-01
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,20E-05	4,82E-06	2,63E-05	-9,31E-07	1,22E-04
056. Acidification	mol H+ eq	4,99E+00	1,45E-01	3,65E+01	-1,47E-01	4,15E+01
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,34E-03	5,33E-04	7,87E-03	-1,35E-03	1,24E-02
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,23E+00	4,60E-02	1,88E+01	-2,73E-02	2,01E+01
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,37E+01	5,37E-01	2,07E+02	-3,19E-01	2,21E+02
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,64E+00	1,46E-01	5,07E+01	-2,17E-01	5,43E+01
061. Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,67E-03	1,60E-03	1,96E-02	-2,58E-05	2,39E-02
062. Resource use, fossils	MJ	1,11E+04	3,83E+02	2,06E+03	-2,66E+02	1,32E+04
063. Water use	m3 depriv.	2,36E+01	-9,78E-01	4,46E+01	-7,27E+00	5,99E+01
064. Particulate matter	disease inc.	8,53E-06	2,05E-06	1,73E-04	-2,21E-06	1,82E-04
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,32E+01	1,45E+00	5,55E+00	6,52E-01	2,09E+01
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	2,88E+03	3,97E+02	5,70E+03	-1,28E+03	7,69E+03
067. Human toxicity, cancer	CTUh	1,23E-07	1,34E-08	7,18E-07	-4,88E-09	8,51E-07
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,16E-06	4,09E-07	1,87E-05	7,39E-06	2,87E-05
069. Land use	Pt	1,05E+03	5,57E+02	5,41E+03	-5,89E+01	6,96E+03

Tabel C.2: Milieuprofiel van de levenscyclus van 1 ton HVO met motortype CCR 2.

Effectcategorie	Eenheid	A1-A3	A4	B1	D	Totaal
051. Climate change	kg CO2 eq	-2,46E+03	2,65E+01	3,35E+03	-3,77E+01	8,81E+02
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	6,49E+02	2,66E+01	2,31E+02	-3,82E+01	8,68E+02
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	-3,11E+03	-7,88E-02	3,12E+03	3,97E-01	1,25E+01
054. Climate change - Land use and LU ch	kg CO2 eq	1,50E-01	1,03E-02	2,53E-01	2,82E-02	4,42E-01
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,20E-05	4,82E-06	2,63E-05	-9,31E-07	1,22E-04
056. Acidification	mol H+ eq	4,99E+00	1,45E-01	2,54E+01	-1,47E-01	3,04E+01
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,34E-03	5,33E-04	7,87E-03	-1,35E-03	1,24E-02
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,23E+00	4,60E-02	1,30E+01	-2,73E-02	1,43E+01
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,37E+01	5,37E-01	1,43E+02	-3,19E-01	1,57E+02
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,64E+00	1,46E-01	3,47E+01	-2,17E-01	3,83E+01
061. Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,67E-03	1,60E-03	1,96E-02	-2,58E-05	2,39E-02
062. Resource use, fossils	MJ	1,11E+04	3,83E+02	2,06E+03	-2,66E+02	1,32E+04
063. Water use	m3 depriv.	2,36E+01	-9,78E-01	4,46E+01	-7,27E+00	5,99E+01
064. Particulate matter	disease inc.	8,53E-06	2,05E-06	1,07E-04	-2,21E-06	1,16E-04
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,32E+01	1,45E+00	5,55E+00	6,52E-01	2,09E+01
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	2,88E+03	3,97E+02	5,69E+03	-1,28E+03	7,68E+03
067. Human toxicity, cancer	CTUh	1,23E-07	1,34E-08	7,18E-07	-4,88E-09	8,51E-07
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,16E-06	4,09E-07	1,45E-05	7,39E-06	2,44E-05
069. Land use	Pt	1,05E+03	5,57E+02	5,41E+03	-5,89E+01	6,96E+03

Tabel C.3: Milieuprofiel van de levenscyclus van 1 ton HVO met motortype Stage V.

Effectcategorie	Eenheid	A1-A3	A4	B1	A-C totaal	D
051. Climate change	kg CO2 eq	-2,46E+03	2,65E+01	3,40E+03	-3,77E+01	9,28E+02
052. Climate change - Fossil	kg CO2 eq	6,49E+02	2,66E+01	2,80E+02	-3,82E+01	9,17E+02
053. Climate change - Biogenic	kg CO2 eq	-3,11E+03	-7,88E-02	3,12E+03	3,97E-01	1,08E+01
054. Climate change - Land use and LU ch	kg CO2 eq	1,50E-01	1,03E-02	2,63E-01	2,82E-02	4,52E-01
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq	9,20E-05	4,82E-06	3,15E-05	-9,31E-07	1,27E-04
056. Acidification	mol H+ eq	4,99E+00	1,45E-01	1,56E+01	-1,47E-01	2,06E+01
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq	5,34E-03	5,33E-04	8,35E-03	-1,35E-03	1,29E-02
058. Eutrophication, marine	kg N eq	1,23E+00	4,60E-02	7,41E+00	-2,73E-02	8,66E+00
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq	1,37E+01	5,37E-01	8,49E+01	-3,19E-01	9,88E+01
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	3,64E+00	1,46E-01	2,02E+01	-2,17E-01	2,38E+01
061. Resource use, minerals and metals	kg Sb eq	2,67E-03	1,60E-03	2,02E-02	-2,58E-05	2,45E-02
062. Resource use, fossils	MJ	1,11E+04	3,83E+02	2,60E+03	-2,66E+02	1,38E+04
063. Water use	m3 depriv.	2,36E+01	-9,78E-01	1,22E+02	-7,27E+00	1,37E+02
064. Particulate matter	disease inc.	8,53E-06	2,05E-06	5,28E-05	-2,21E-06	6,11E-05
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq	1,32E+01	1,45E+00	6,64E+00	6,52E-01	2,20E+01
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	2,88E+03	3,97E+02	6,21E+03	-1,28E+03	8,20E+03
067. Human toxicity, cancer	CTUh	1,23E-07	1,34E-08	7,34E-07	-4,88E-09	8,67E-07
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,16E-06	4,09E-07	1,39E-05	7,39E-06	2,38E-05
069. Land use	Pt	1,05E+03	5,57E+02	5,49E+03	-5,89E+01	7,04E+03

Bijlage D

Review statement

LCA review statement | Update LCA scheepsbrandstoffen, Deel B



Rijkswaterstaat GPO
Ter attentie van de heer E. Vissink
(per e-mail: Erik.Vissink@rws.nl)

Amsterdam, 18 februari 2025

Onze referentie: 29.22.00069

Betreft: Resultaat review update LCA scheepsbrandstoffen, Deel B

SGS Search Consultancy

Heeswijk (hoofdkantoor)
Meerstraat 2, Postbus 83
5473 ZH Heeswijk (N.Br.)

Amsterdam
Petroleumhavenweg 8
1041 AC Amsterdam

Spijkensisse
Malledijk 18
3208 LA Spijkensisse

Tel. +31 (0) 88 214 66 00
nl.search.lca@sgs.com

www.sgssearch.nl

Geachte heer Vissink,

Eerder toetste mijn voormalige collega Harry van Ewijk het rapport "Update milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase: Deel A fossiele brandstoffen" van december 2021, opgesteld door TNO in opdracht van Rijkswaterstaat. Dit was een update van het rapport "Milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase" door TNO in 2016. In dit rapport zijn twee brandstoffen uitgewerkt, te weten MGO en LNG.

In aanvulling op de update van fossiele brandstoffen (MGO en LNG), is in deel B van het rapport "Update milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase" (juli 2023), opgesteld door TNO (Tim van der Kruk, Mark Bolech en Ivan Vera), ook het milieuprofiel van HVO geüpdatet. In deze update is HVO, toegepast in drie motortypen, uitgewerkt. Dit rapport werd in augustus 2023 door mij getoetst.

Het rapport is in december 2024 aangepast (door Rick Scholtes) om te voldoen aan de uitgangspunten van de nieuwe versie van de NMD Bepalingsmethode (versie 1.2). Een voor biobrandstoffen belangrijk verschil ten opzichte van de vorige versie van de Bepalingsmethode (versie 1.1) is de wijze waarop netto negatieve outputstromen van secundair materiaal in module D gedeclareerd worden. In versie 1.1 diende een netto negatieve outputstroom van secundair materiaal gecompenseerd te worden met de productie van een primaire grondstof, wat resulteert in een last in module D. Deze regel is in versie 1.2 herzien, waarbij een netto negatieve outputstroom van secundair materiaal gelijkgesteld wordt aan nul. De HVO in dit rapport bestaat volledig uit secundaire grondstoffen, welke niet doorgegeven worden naar een volgend systeem. Deze wijziging heeft daarom veel invloed op de resultaten van de studie. Om die reden is het rapport in februari 2025 opnieuw getoetst.

Het rapport beschrijft helder en bondig de uitgangspunten, de modellering en de resultaten. De conclusie luidt daarom: De methodologie, dataverzameling en rapportage voldoen aan de eisen van de "Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, versie 1.2 december 2024", EN 15804 en onderliggende normen.

Met vriendelijke groet,
SGS Search Consultancy

Martijn van Hövell



Bijlage E

Samenstelling klankbordgroep

Persoon	Organisatie
José Muisers	RVO
Jeannette Levels	LBP SIGHT
Pieter Stadhouders	EcoReview
Suzanne de Vos	RWS
Martijn van Hövell	SGS
Tim van der Kruk	TNO

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl