

› **VERKENNING BRANDSTOFTRANSITIE
ZEEVAART
RAPPORT**



› COLOFON

Project: Verkenning brandstoftransitie zeevaart

Projectnummer TNO: 060.47875

Rapportnummer: TNO 2021 P10979

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Datum: 21-5-2021

Aantal pagina's: 50

Auteurs: Jorrit Harmsen, Vincent de Jonge, Ruud Verbeek

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO. Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

› INHOUD

- › Introductie
- › Selectie energiedragers
- › Effect op emissies
- › Toepasbaarheid voor verschillende scheepstypen
- › Inventarisatie upstream bioroutes
- › Inventarisatie upstream E-fuel routes
- › Supply chain en infrastructuur
 - › Methanol
 - › Ammoniak
 - › Waterstof
- › Transitie sporen
- › Instrumenten vanuit overheid

› AANLEIDING

- › Duurzaamheid is momenteel een belangrijk thema in de zeevaart. Door de IMO zijn in 2018 afspraken gemaakt om de CO₂-uitstoot van de zeevaart in 2050 te reduceren tot ten minste 50% van de uitstoot in 2008. In de EU is een algemene streefwaarde van 55% CO₂-reductie (t.o.v. 1990) vastgesteld in de Europese Green Deal in 2030, en worden diverse maatregelen voor de scheepvaart voorbereid. Voor de zeevaart is nog geen specifieke CO₂-reductiedoelstelling op EU niveau.
- › De komende jaren worden tal van maatregelen afgekondigd of herzien om vraag naar, aanbod van en distributie van duurzame brandstoffen voor de zeevaart vorm te geven. Nederland zal positie moeten nemen ten opzichte van doel- of techniekvoorschriften, alsmede de vertaling van de EU reductiedoelstelling naar de Nederlandse zeevaart. Ook is aangekondigd dat financiële middelen ter beschikking zullen worden gesteld om die transitie in gang te zetten.
- › Vanuit stakeholders in Nederland en internationaal zijn er momenteel veel verschillende vergroeningsinitiatieven. Er is behoefte aan een nationaal plan, gezamenlijk met de betrokkenen om vraag naar en aanbod en distributie van klimaatneutrale en/of emissievrije energiedragers vanuit een well-to-wake perspectief voor de zeevaart te ontwikkelen, een transitiepad of roadmap te schetsen en daar een actieagenda aan te koppelen die verschillende onderdelen bevat. Een dergelijk plan is nodig, omdat in deze opgave veel verschillende belangen spelen en de energietransitie gepaard gaat met forse investeringen.

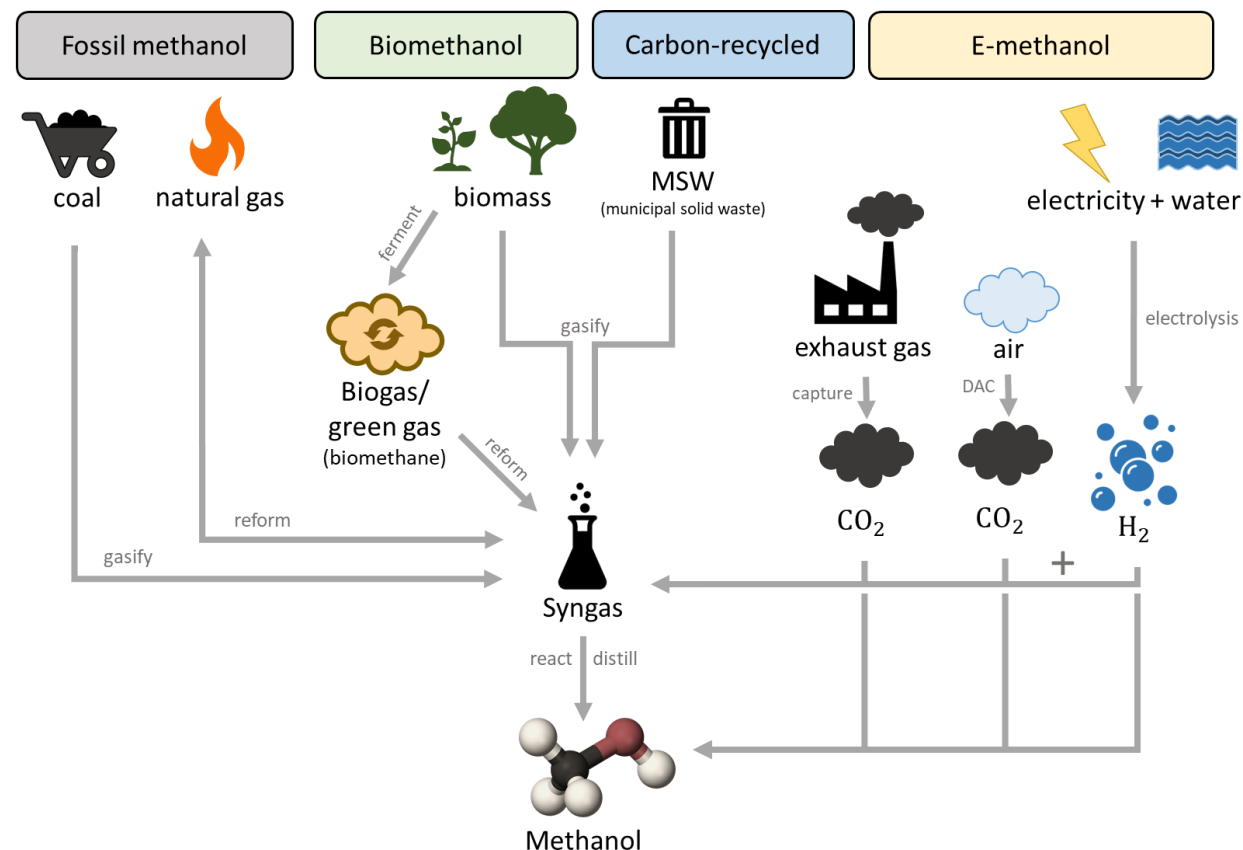
› DOEL VAN DEZE STUDIE

- › Als input voor dit proces heeft het ministerie behoefte aan een basisdocument waarin een overzicht wordt gegeven van:
 - › Overzicht van alternatieve energiedragers en oplossingen die op moment voor de scheepvaart wordt ontwikkeld;
 - › Verwachte toepasbaarheid van deze oplossingen voor diverse scheepstypen;
 - › Verwachte tijdspad waarin oplossingen technologisch ontwikkeld en opgeschaald kunnen worden;
 - › Ontwikkelingen in de verwachte beschikbaarheid van aanbod van duurzame energiedragers vanuit verschillende grondstofroutes, en potentiële mogelijkheden/instrumenten om deze beschikbaarheid te vergroten; en
 - › Confrontatie van de behoefte vanuit de scheepvaart en de ontwikkeling van het aanbod in de tijd, waarbij inzicht wordt gegeven in de belangrijkste vraagstukken en onzekerheden.

› SELECTIE ENERGIEDRAGERS

HOOFDRUTES FEEDSTOCK

- › Brandstoffen kunnen worden geproduceerd uit verschillende grondstofketens.
 - › Grijze brandstof, geproduceerd van fossiele bronnen zoals olie of gas.
 - › Bio-route, geproduceerd vanuit verschillende grondstoffen en verwerkingstechnieken (zie volgende sheet). Onderdeel hiervan is brandstof geproduceerd van afvalstromen, zoals huisafval of gerecycled vet.
 - › E-fuels, geproduceerd vanuit waterstof en een koolstofbron of stikstof in het geval van ammonia. De waterstof kan afkomstig zijn vanuit elektrolyse, maar eventueel ook vanuit fossiel (grijs), eventueel in combinatie met carbon capture (blauw).
- › Als voorbeeld worden hiernaast de vier routes voor methanol beschreven.

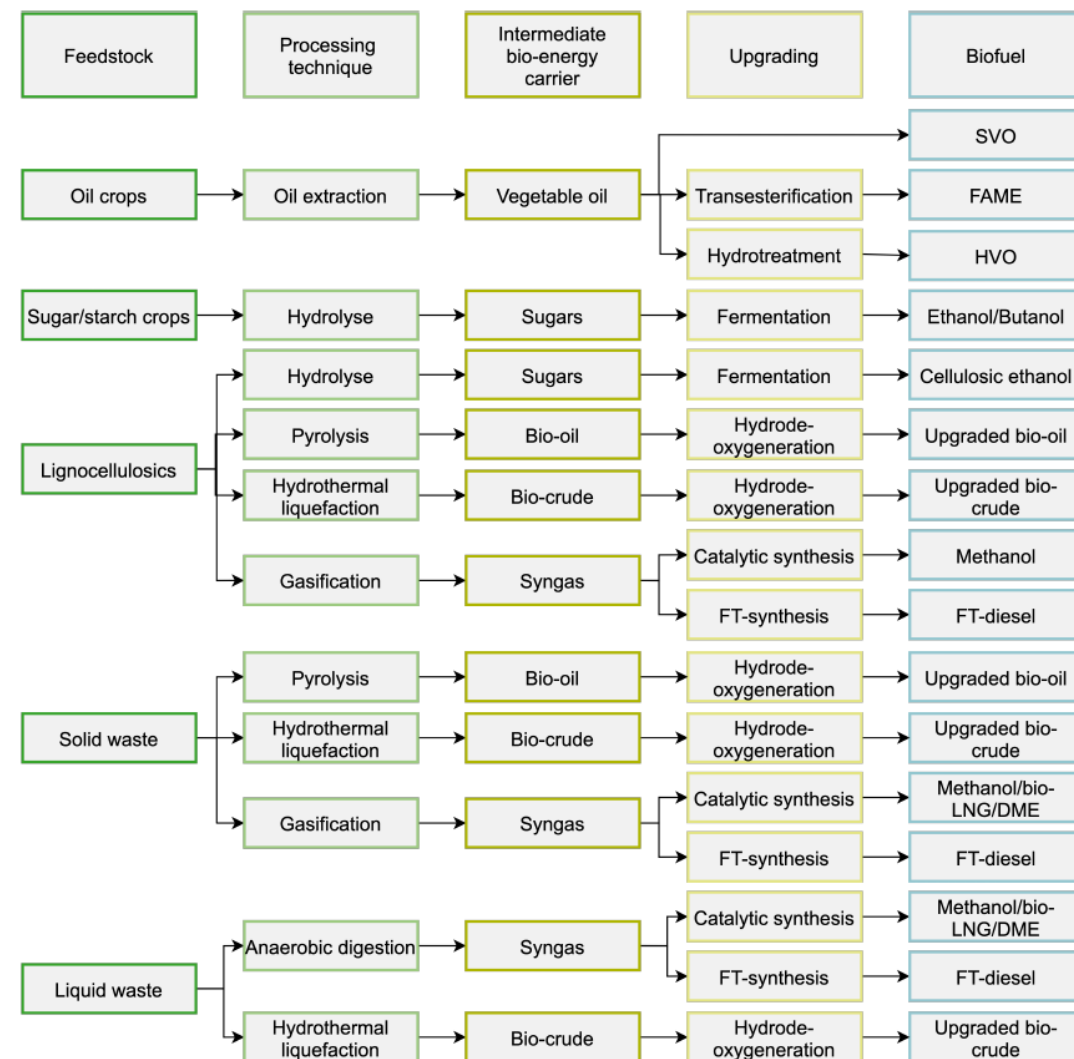


TNO (2020), Green Maritime Methanol: Operation aspects and the fuel supply chain.
De route via syngas staat model voor productie van andere brandstoffen zoals FT diesel en synthetisch methaan

SELECTIE ENERGIEDRAGERS

PRODUCTIEROUTES BIOBRANDSTOFFEN

- › Biobrandstoffen kunnen worden geproduceerd uit verschillende grondstoffen en verschillende productieroutes. Een overzicht van deze conversietrajecten is weergegeven in bijgevoegde figuur.



Van der Kroft, D. (2020), The potential of drop-in biofuels for the maritime industry

› SELECTIE ENERGIEDRAGERS GROSLIJST

- › Bijgaande tabel geeft een overzicht van verschillende energiedragers en productieroutes.
- › Voor elke energiedrager is per productiemethode het bijbehorende TRL (Technology Readiness Level) niveau gegeven, zowel voor de huidige situatie als de verwachte kennisontwikkeling naar 2030.

End product	Feed stock / Production route	Fuel production	
		TRL 2019	TRL 2030
SVO / PPO	Oil crops	10	10
FAME	Oil crops	10	10
HVO	Oil crops	10	10
HVO	used oil	10	10
Methanol	Black liquor Gasification	6/8	8/9
Ethanol	Sugar / starch hydrolysis	10	10
Ethanol	Lignocellulosic hydrolysis	8/9	9/10
Ethanol/ methanol	Waste based	8/9	10
Butanol	Sugar / starch hydrolysis	7/8	7/8
Butanol	Lignocellulosic hydrolysis	6/8	6/8
LDO (lignin diesel oil)	Lignocellulosic hydrolysis / solvolysis	4/5	6/8
Bio-crude (Upgraded bio-oil)	Lignocelluloses Hydrothermal liquefaction/ catalytic refining	5/6	5/9
Upgraded pyrolysis oil	Lignocelluloses Pyrolysis/ catalysed upgrading	5/6	5/9
Methane / bio-LNG	Lignocelluloses Gasification	6/8	8/9
Methanol	Lignocelluloses Gasification	6/8	8/9
DME	Lignocelluloses Gasification	6/8	8/9
FT-Diesel	Lignocelluloses Gasification	6/8	8/9
Renewable diesel	Wood extractives pulping/ catalytic upgrading	8/9	8/10
Renewable diesel	Algae/oil extraction / catalytic upgrading	4	5
Methane / bio-LNG	sludge/maize/manure/ residues Fermentation	10	10
Hydrogen	Electrolysis renewable electricity	9	10
Hydrogen (grey)	Natural gas steam reforming	10	10
Pt methane	H ₂ + C + methane synthesis	5/6	6/8
Pt methanol	H ₂ +C + methanol synthesis	5/6	6/8
Pt diesel	H ₂ + C + Fischer Tropsch	5/6	6/8
Pt ammonia	H ₂ + N	5/6	6/8

› SELECTIE ENERGIEDRAGERS

SCHEEPSTYPEN

- › Voorstel is om in de studie aan te sluiten bij de standaardschepen die zijn opgesteld in de Green Deal validatieregeling. Deze zijn gekozen op basis van de volgende criteria:
 - › De drie “grootste vervuilers” in de wereldvloot (representatief voor een groot gedeelte van de bunker markt);
 - › Scheepstypen die het meeste aanwezig zijn in de Nederlandse vloot (database KVNR);
 - › Scheepstypen die veel voorkomen in de Nederlandse maakindustrie.

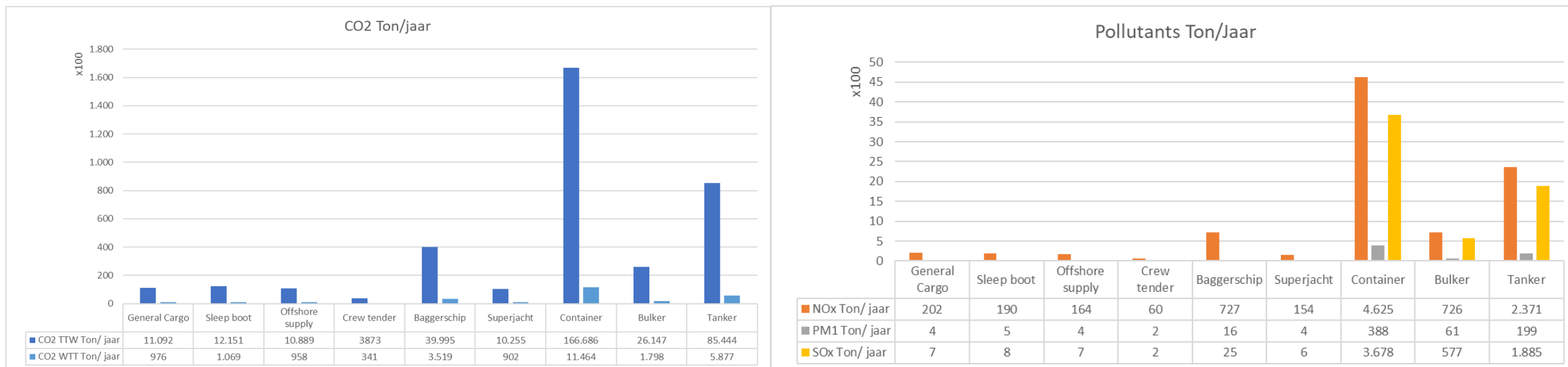
Scheepstype	Motortype	Huidige Brandstof	Brandstofverbruik kg/u
General Cargo	4-stroke, medium speed	MGO	399
Sleep boot	Z-drive diesel direct	MDO	437
Offshore supply	Diesel-elektrisch 4-stroke diesel	MGO	392
Crew Tender	4-stroke, high speed	MDO	139
Baggerschip	4-stroke, medium speed	MGO	1.438
Superjacht	diesel-elektrisch, high speed	MDO	369
Container	2-stroke, low speed	HFO	5.998
Bulker	2-stroke, low speed	HFO	941
Tanker	2-stroke, low speed	HFO	3.074

MARIN & TNO (2020), Vervolgstappen validatie methodieken t.b.v. transitie naar emissieloze scheepvaart

› EFFECT EMISSIES

STATUS QUO

- › Onderstaande figuren tonen de totale emissies voor de gehanteerde referentie profielen met zichtjaar 2008 TTW. Voor CO₂ emissies worden de emissies weergegeven van de volledige well-to-wake keten. De luchtverontreinigers, NO_x/SO_x/PM worden weergegeven voor het tank-to-wake gedeelte.



MARIN & TNO (2020), Vervolgstappen validatie methodieken t.b.v. transitie naar emissieloze scheepvaart

› EFFECT EMISSIES

WELL-TO-WAKE EMISSIES ENERGIEDRAGERS

- › Het effect van de verschillende benoemde varianten op de uitstoot van CO₂-emissies hangt niet alleen samen met het soort brandstof en aandrijflijn, maar ook sterk van de herkomst van de brandstof. Waterstof opgewekt door elektrolyse (obv hernieuwbare elektriciteit) heeft bijvoorbeeld geen (of een zeer lage) CO₂-uitstoot in de keten. Gebruik van waterstof met een fossiele herkomstbron leidt juist tot een hogere CO₂-uitstoot ten opzichte van gebruik van diesel of MGO.
- › Bij fossiele brandstoffen kan een deel van de Well-to-tank emissies met behulp van Carbon Capture worden opgevangen en opgeslagen (blauwe route). De JEC v5 studie geeft aan dat de WTW CO_{2eq} emissies dan ca. 60% lager kunnen liggen met CCS
- › Diesel, methanol en DME relatief goed scoren als biobrandstof. Dit is echter erg afhankelijk van de gekozen feedstock (zie later in het document). E-brandstoffen laten over het geheel een zeer grote CO₂-reductie zien.

WTW CO _{2eq} -emissies g/MJ	Fossiele brandstof	Biobrandstof/ carbon-recycled	E-brandstof
Diesel	85,8	8,1 - 56	0 - 10
LNG – L-CH ₄	93,5 ¹	30 – 50 ¹	20 – 31 ¹
Methanol	84,2 - 94,3	6,0 – 18,0	0 - 10
H ₂	115,2		0 - 10
LOHC			0 - 10
NH ₃	96,8		0 - 10
DME	79,3 - 97,7	6,0 – 18,0	0 - 10
Elektriciteit	98,6	23,8	0 - 10

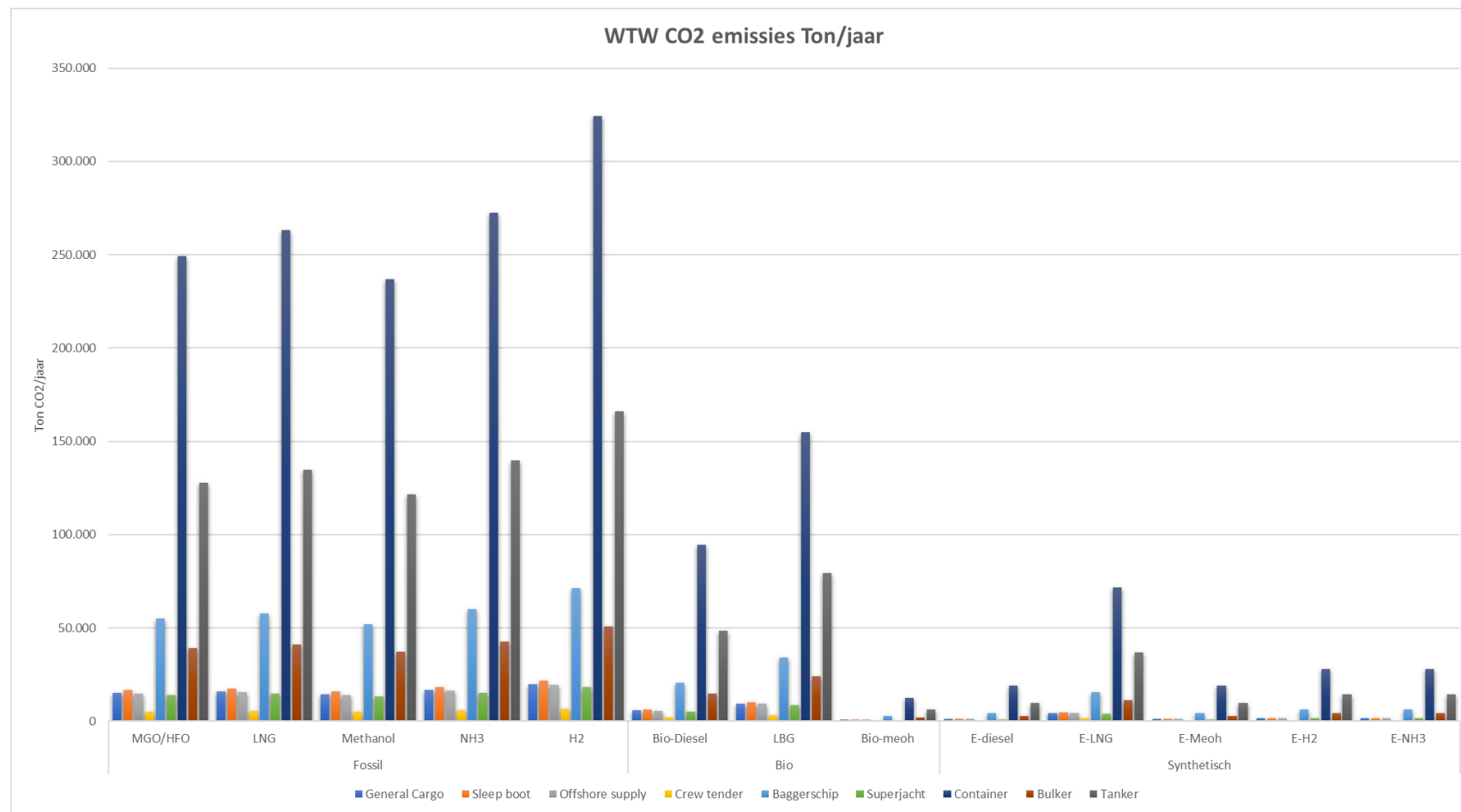
¹ Inclusief uitstoot van methaanslip (20 g CO_{2eq}/ MJ). Hierbij wordt gerekend met een periode van 100 jaar

Bronnen: TNO Emissie database obv JRC (2020), MKC, TNO en TUDelft (2019), TNO (2020)

› EFFECT EMISSIES

ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS PER PROFIEL

- › De figuur hiernaast geeft een eerste indicatie van de impact van verschillende energiedragers voor de referentieprofielen op de Well-to-wake CO_{2eq} emissies in Ton/jaar zien.
- › Voor de biobrandstoffen is hier uitgegaan van een gemiddelde. In de volgende sheets staat een uitsplitsing naar verschillende feedstocks.
- › Voor E-Fuels speelt de gebruikte elektriciteitsbron een grote rol in de WTW emissies. Voor koolstof houdende E-fuels is de bron van de gebruikte CO₂ ook van belang.

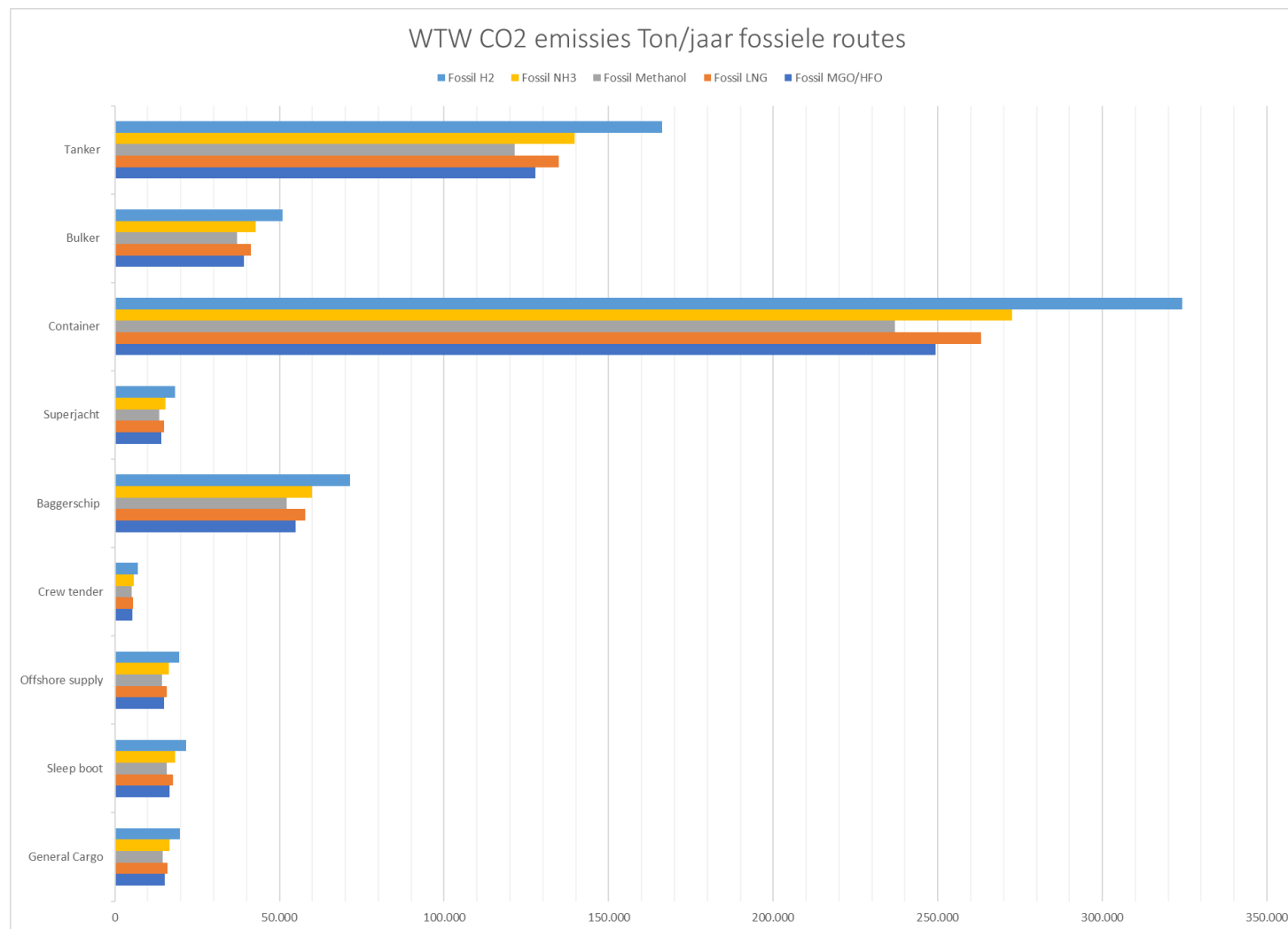


MARIN & TNO (2020), Vervolgstappen validatie methodieken t.b.v. transitie naar emissieloze scheepvaart [Bewerking TNO]

› EFFECT EMISSIES

ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS PER PROFIEL – FOSSIELE ROUTES

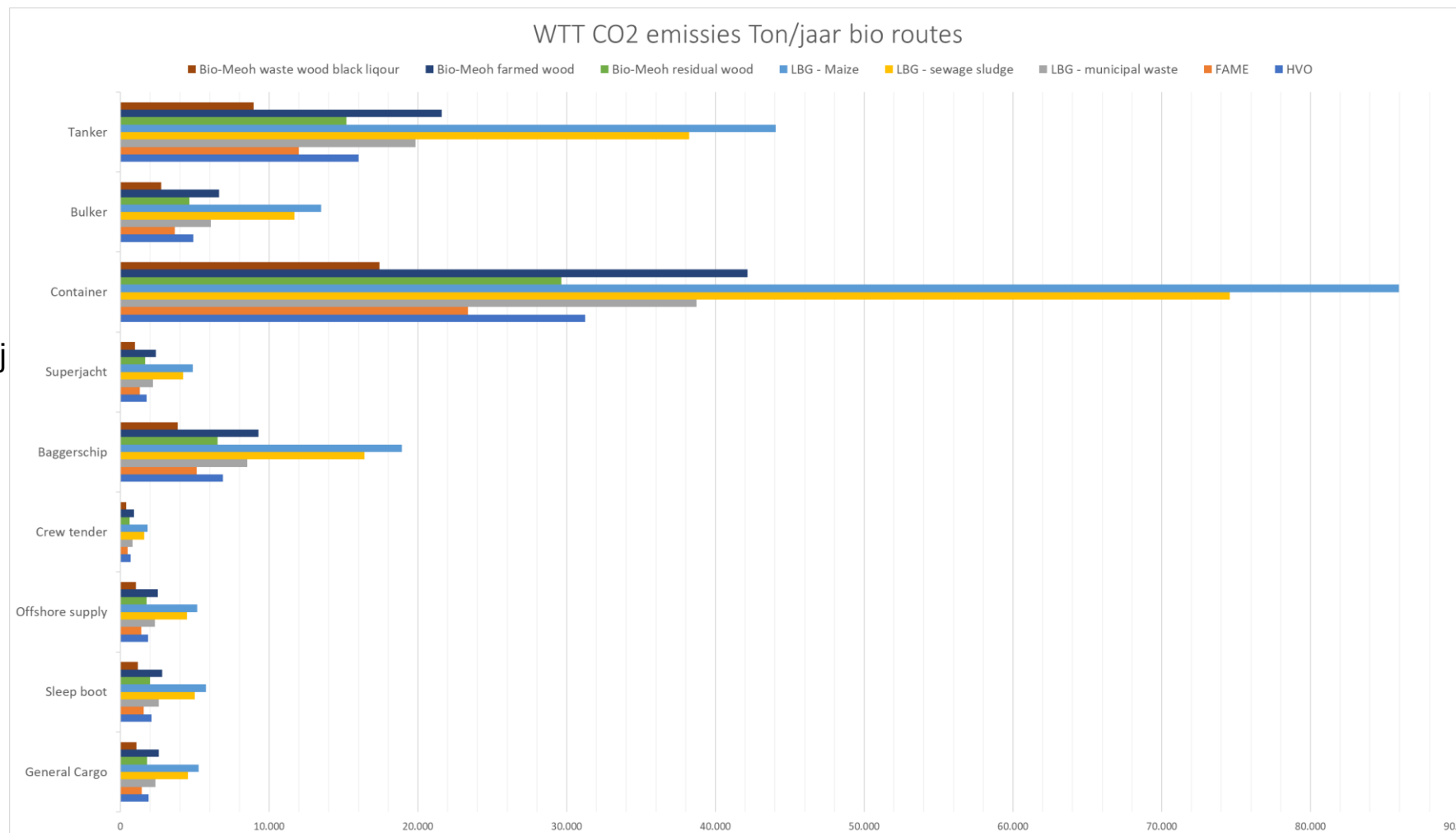
- › Bijgaande figuur geeft een overzicht van de WTW CO_{2eq}-uitstoot voor energiedragers met een fossiele herkomstbron. Voor methanol, ammoniak en waterstof is uitgegaan van gebruik van aardgas voor de productie.
- › Uit de figuur valt op te maken dat een verschuiving naar een alternatieve energiedrager niet automatisch leidt tot een daling van de CO₂-uitstoot. Om reductie te realiseren is het daarom belangrijk snel over te stappen op een andere productieroute waarin gebruik wordt gemaakt van hernieuwbare bronnen of CO₂ tijdens de productie op te vangen (blauwe route).



› EFFECT EMISSIES

ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS PER PROFIEL – BIO ROUTES

- › Voor biobrandstoffen is de WtW CO_{2eq}-uitstoot sterk afhankelijk van de grondstof die wordt gebruikt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen primaire, secundaire en tertiaire grondstofstromen. Onder primaire stromen verstaan die vrijkomen bij productie, secundair komt vrij bij verwerking en tertiair komt vrij na gebruik
- › Brandstoffen die zijn gebaseerd op het gebruik van reststromen laten een grotere CO₂-reductie zien dan bij primaire stromen



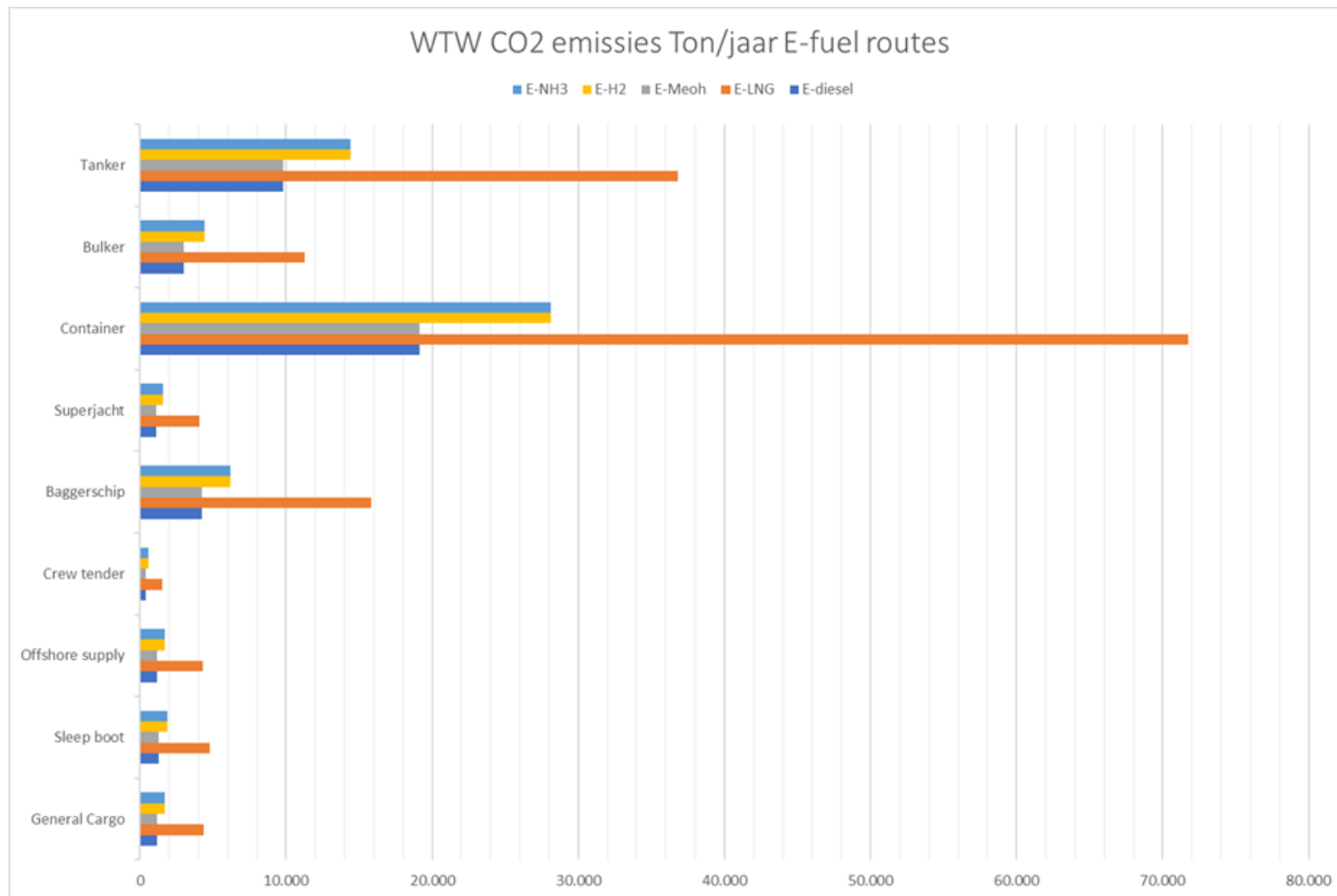
MARIN & TNO (2020), Vervolgstappen validatie methodieken t.b.v. transitie naar emissieloze scheepvaart [Bewerking TNO]
 Uitstoot bio-LNG is inclusief methaanslip (20 g CO_{2eq}/ MJ). Hierbij wordt gerekend met een periode van 100 jaar

› EFFECT EMISSIES

ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS PER PROFIEL – E-FUEL ROUTES

Een belangrijke factor in het bepalen van de CO_{2eq}-uitstoot van e-fuels is de gehanteerde elektriciteitsmix. In deze berekening is uitgegaan van 100% duurzame elektriciteit. Bij het hanteren van de huidige (Nederlandse of Europese) elektriciteitsmix is de reductie substantieel minder.

Dit onderdeel wordt in deel 2 van deze rapportage verder toegelicht.



› EFFECT OP LUCHTVERONTREINIGENDE EMISSIES

KUNNEN VOOR ELKE BRANDSTOF INGEPERKT WORDEN DOOR WETGEVING OP BRONEMISSIES

- › Het effect van inbouw van nieuwe energiedragers op emissies van NOx, SOx en PM is van een aantal factoren afhankelijk. De uitstoot van SOx is afhankelijk van het zwavelgehalte in de brandstof. Voor NOx en PM is de uitstoot afhankelijk van de energiedrager en het verbrandingsproces van de motoren van het schip.
- › Uitstoot van luchtverontreinigende emissies kunnen daarnaast op het schip worden opgevangen door een nabehandelingssysteem.
- › Voor een aantal energiedragers (DME, ethanol, ammoniak) is nog geen meetdata beschikbaar bij grote verbrandingsmotoren.

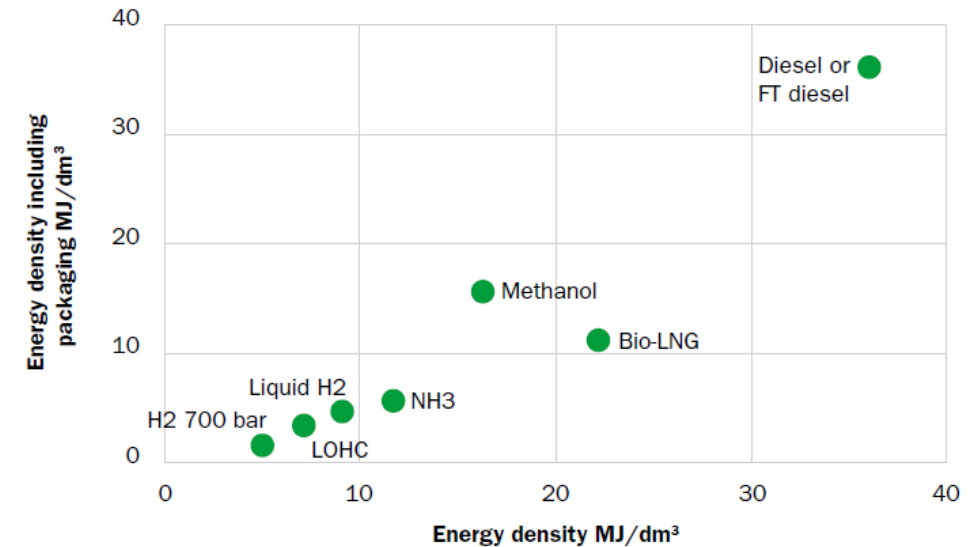
Aandrijflijn	Brandstof	NOx (g/kWh) (medium Speed motor Engine out (Tier II equivalent))	NOx nabehandeling noodzakelijk voor Behalen Tier III	PM g/kWh	SOx g/kWh
1. Alternatieve brandstoffen in een verbrandingsmotor	MGO	8,6	Ja	0,23	0,36
	HFO (0.5 % S)	12,4	Ja	0,74	2
	MGO + SCR	2,3	Ja, SCR	0,23	2
	LNG	2	Nee, of SCR*	0,02	0,009
	Methanol	~ 5	EGR, SCR of water bijmenging	0,034	0,007
	DME	?	Geen meetdata bekend	?	~0
	Ethanol	?	EGR, SCR of water bijmenging	?	~0
	Ammoniak	?	Waarschijnlijk SCR	?	~0
	E-diesel	8 – 8,6	Ja	~0,1	~0
2. Alternatieve energiedragers met een andere energieomzetter	Elektrisch	~0	Nee	~0	~0
	Waterstof in brandstofcel	~0	Nee	~0	~0
	Methanol in brandstofcel	?	?	~0	~0
	Ammonia in brandstofcel	?	?	~0	~0
	LOHC in brandstofcel	0	Nee	0	0
	Waterstof (ijzerpoeder) in brandstofcel	0	Nee	0	0
	LCH4 in brandstofcel	?	?		

* SCR niet nodig bij pre-mix LNG (soms aangeduid als Otto-LNG). SCR wel nodig bij direct-injectie LNG (DI-LNG). Dit is wel de optie waarbij methaanslip vele malen lager is.

TOEPASBAARHEID SCHEEPSTYPEN

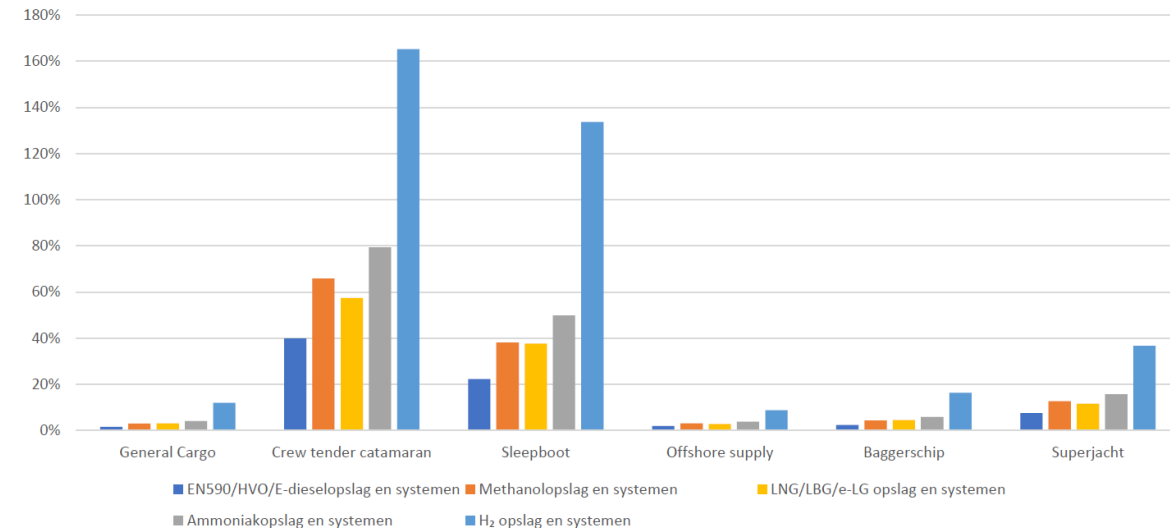
VOLUME DICHTHEID ENERGIEDRAGERS

- › De toepasbaarheid van alternatieve energiedragers is voor een groot deel afhankelijk van de energiedichtheid. Hogere energiedichtheid -> minder opslag capaciteit nodig
- › De figuren rechtsboven laten de energiedichtheid in MJ/dm³ t.o.v. energiedichtheid in MJ/dm³ incl. opslag.
- › De figuur rechtsonder toont de volumeverhouding tussen verschillende systemen en rompvolume zonder ontwerp-slag. Hieruit wordt duidelijk dat voor H₂ opslag en systemen voor crewtender en sleepboot een ontwerp-slag nodig is, anders zijn deze niet haalbaar
- › Het verschil in energiedichtheid komt minder sterk naar voren bij (geavanceerde) biobrandstoffen. Het verschil van deze brandstoffen ten opzichte van MGO of HFO is veel minder groot. Dit maakt deze brandstoffen goede kandidaten voor het verduurzamen van scheepsonwerpen met een beperkt ruimtebeslag of een hoge vereiste autonomie (lange periode op zee).



TNO (2020), Green Maritime Methanol WP6 Summary of Overall findings

Volumeverhouding tussen systemen en rompvolume

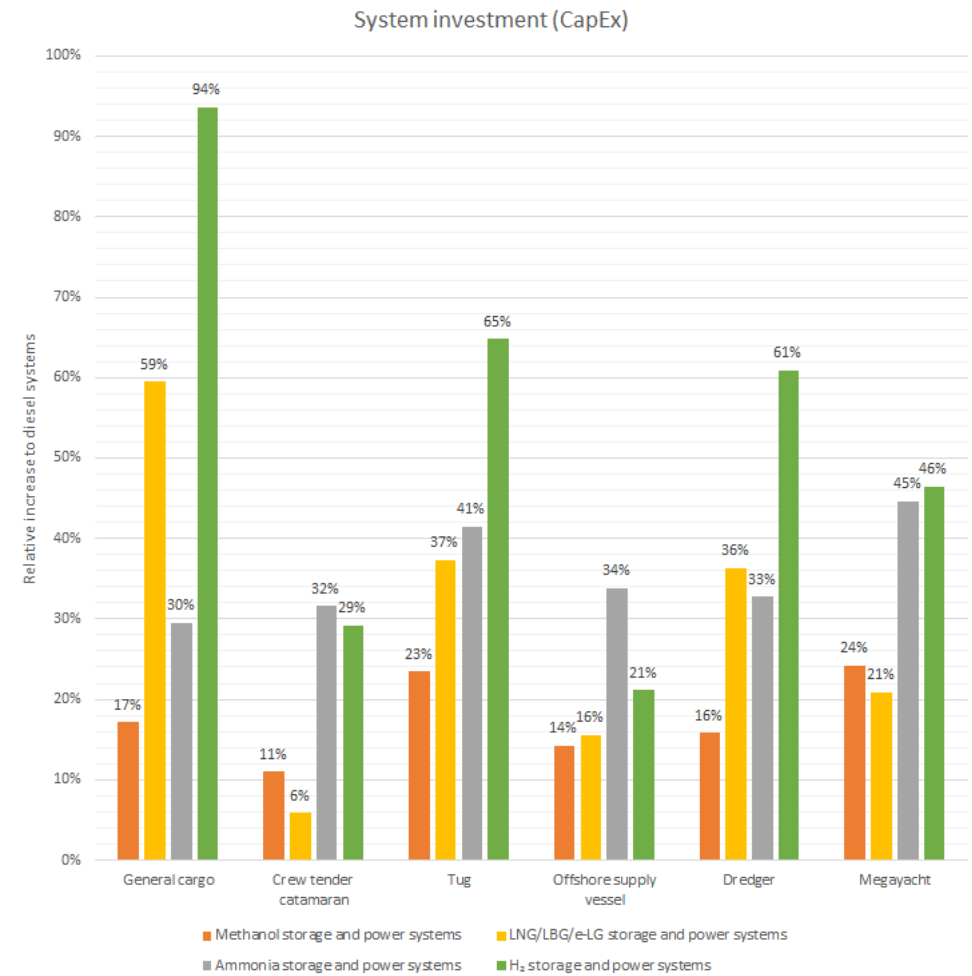


Marin (2021), Resultaten GD-2020 WP1 TBP

› TOEPASBAARHEID SCHEEPSTYPEN

EFFECT OP INVESTERINGSKOSTEN

- › Voor de investeringskosten van nieuwe energiedragers die niet als drop-in kunnen worden toegevoegd aan HFO of MGO zijn een aantal elementen relevant:
 - › De kosten van het energieomzettingssysteem (verbrandingsmotor, brandstofcellen, batterijoplossing)
 - › Energieopslag
 - › Eventuele nabehandeling
- › Volgens de huidige inschattingen zal een verandering naar een andere energiedrager leiden tot hogere kosten. Deze stijging zal het grootst zijn in het geval van gebruik van waterstof, in verband met de verwachte hoge opslagkosten. De mate waarin dit speelt hangt sterk af van de aanpassing die wordt gedaan in de autonomie van het schip. Bij een gelijkblijvend scheepsdesign zal bijvoorbeeld de meerprijs voor waterstof in een kleiner schip minder impact hebben dan andere oplossingen (zie figuur), maar zal de operationele reikwijdte sterk reduceren. Een oplossing zou kunnen zijn om het scheepsdesign aan te passen, wat leidt tot substantieel hogere kosten.



› EFFECT VEILIGHEID

EIGENSCHAPPEN ENERGIEDRAGERS

› Het gebruik van nieuwe energiedragers kan impact hebben op de gevaarstelling aan boord. Aandachtspunten hierbij zijn:

- › Het verspreiden van toxische of ontvlambare dampen bij methanol aan boord tijdens de operatie of tijdens het bunkeren.
 - › Toxiciteit van ammoniak.
 - › Temperatuur bij opslag (cryogene opslag bij LNG, waterstof en ammoniak).
 - › Ontvlam en explosie-risico's met name bij waterstof en LNG
- › Een methodiek om dit te bepalen is door het gebruik af te zetten tegen de reguliere brandstof en inzicht te geven in de equivalente veiligheid.

Eigenschappen	Diesel	Methanol	Waterstof	Ammoniak	LNG
Chemische structuur	$C_{12}H_{26}-C_{14}H_{30}$	CH_3OH	H_2	NH_3	CH_4
Moleculair gewicht	190-220	32,042	2,02	17	16
Dichtheid vloeistof (kg/m ³)	830	790	73 (20°K)	680 (20°K)	419
Dichtheid gas (kg/m ³)	-	-	0,084	0,73	0,83
Kookpunt (°C)	180-360	65	-253 (20K)	-33	-161,4
Onderste verbrandingswaarde (MJ/kg)	42,6	19,9	120,2	18,6	48 - 50
Explosiegrens (vol)	1,85 - 8,2	6,7 - 36	4,1 - 74	15 - 28	5 - 15
Vlampunt(°C)	78	11	-	132	-136

TNO (2020), Green Maritime Methanol WP6 Summary of Overall findings

› EFFECT VEILIGHEID

- › Er zijn verschillende veiligheidsaspecten waar rekening mee moet worden gehouden bij het inrichten van energievoorziening en het gebruik aan boord. Belangrijke punten in de uitwerking betreffen de benodigde brand- en explosiegevaar, toxiciteit en milieuschade.
- › IGF (veiligheidscode van IMO voor schepen die varen op gasen of brandstoffen met een laag vlampunt) geven richtlijnen voor bunker- operaties aan de scheepszijde voor de zeevaart. Voor de binnenvaart zijn richtlijnen nog in ontwikkeling door CCNR en CESNI. Vergunningen worden op pilotbasis afgegeven. Daarnaast moet met de vaarwegbeheerder afstemming plaats vinden over voeren van veiligheidskegels.
- › Op dit moment wordt in verschillende pilots en onderzoekstrajecten verder gewerkt voor nieuwe energiedragers, zoals waterstof, methanol en ammoniak. Belangrijke vraagstukken hierbij zijn:
 - › Gedrag van de energiedrager onder verschillende omstandigheden (temperatuur, druk, etc.) in tanks of in het geval van bedoeld of onbedoeld vrijkomen aan boord (binnen en buiten aan dek).
 - › Eisen voor veiligheidsafstanden aan boord (kofferdammen) en mogelijke oplossingen om de tank goed in te kunnen passen.
 - › Effecten van langdurig gebruik op de gebruikte materialen (effect van corrosie van brandstoffen op tanks of van cryogene brandstoffen op onderdelen van brandstofsysteem)
 - › Bunkeren van de alternatieve brandstofdrager en veiligheidsregelgeving daarbij aan boord.

TOEPASBAARHEID BIOBRANDSTOFFEN IN SCHEEPSMOTOREN

Een aantal biobrandstoffen zijn direct in pure vorm of als blend met reguliere brandstoffen toepasbaar in scheepsmotoren. Bijgaande tabel geeft een overzicht van biobrandstoffen en de compatibiliteit met motoren.

› Additionele drop-in biobrandstoffen naast deze tabel zijn:

- › SVO / PPO
- › Bio-oil / upgrade pyrolyse olie
- › Blends SVO en bio-oil mogelijk tot 100%, maar met aandacht voor de precieze kwaliteit en verwarming van bunkers mogelijk noodzakelijk

› DME, methanol en waterstof hebben een grote impact op motoren en brandstofopslag. Het is nog onduidelijk in welke mate huidige motoren ge-retrofit kunnen worden.

Table 4. Fuel compatibility survey results

Fuel	Type	Blend ratio	Modifications needed		Demonstrated?	Safety issues	Other challenges
			Engine	Fuel system			
FAME biodiesel	Blend ^a	≤ 20%	N	N	Up to 20% blend	— ^c	n/a
	Neat ^b	—	Modernizing engines (hoses, filters, and seals)	Mixing additives to inhibit bacterial growth and lower pour point	No	—	Degradation; needs thermal conditioning for storage at lower temperatures; fuel filtration and treatment
Hydrotreated renewable diesel	Blend	≤ 100%	N	N	—	—	—
	Neat	—	N	N	Yes, several ferries, one container, and a cruise line	—	—
FT diesel	Blend	≤ 100%	N	N	No, although gas to liquid fuels have been tested.	—	—
	Neat	—	N	N	No, as above.	—	—
DME	Neat	—	Retrofit or dedicated engine		Yes, ships with smaller engines	Low flash point	Low energy density; low viscosity
Methanol	Neat	—	Requires retrofitting or dedicated engines		Yes, nine ships in 2019	Low flash point; toxicity	Low energy density; requires additional monitoring and control system for the storage, especially retrofits

Sources: Anselmo & Sullivan, 2015; Bioenergy International, 2019; Blenkey, 2019; Offshore Energy, 2013; Manaadiar, 2018; Ship & Bunker, 2018

[a] Refers to a fuel that is mixed with petroleum-based fuels after refining and used directly in marine engines.

[b] Using fuel in 100% pure form without mixing.

[c] Indicates no information found.

Bron: ICCT, 2020: The potential of liquid biofuels in reducing ship emissions. Yuanrong Zhou, et.al.. Working paper 2020-21. September 2020

› **TOEPASBAARHEID BIOBRANDSTOFFEN IN SCHEEPSMOTOREN**

ONTWIKKELINGEN IN BRANDSTOFNORMEN ISO 8217: 2017

Additionele DF (Distillate FAME) grades:

- › DFA, DFZ, DFB met max 7,0 % FAME (volume% en in overeenstemming met wegtransport)
- › FAME specificatie volgens EN14214 of ASTM D6751

Voor de (residuale) standaard brandstoffen:

- › DMA, DMZ, DMB: minimaal FAME niveau: <0,5%. Geen moedwillige toevoeging van FAME
- › DMX: volledig vrij van FAME

› TOEPASBAARHEID VOOR VERSCHILLENDE SCHEEPSTYPEN

CONCLUSIES

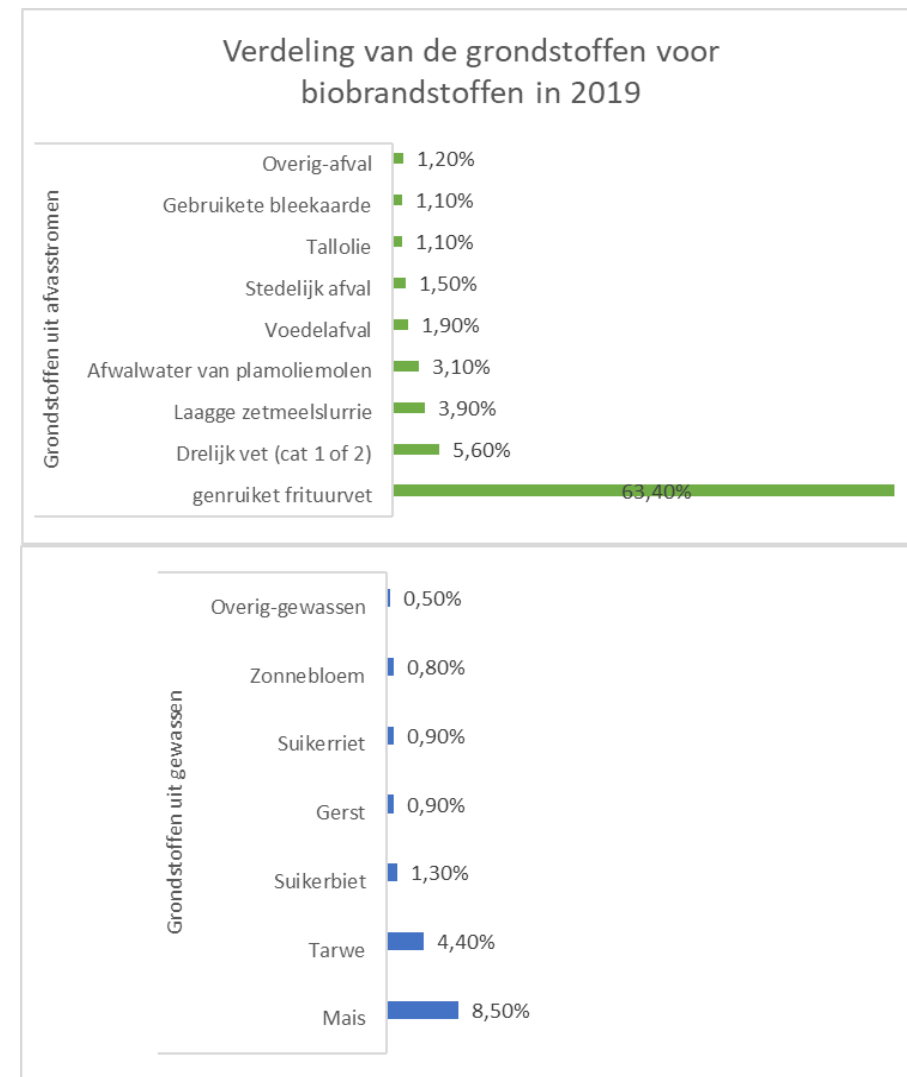
Voor toepasbaarheid van verschillende opties en de termijn waarop dit kan plaatsvinden zijn een aantal factoren van belang:

- › Effect op het ruimtebeslag of operationele inzet van het schip: Een aantal alternatieve energiedragers kunnen als drop-in fuel worden toegepast en hebben geen effect op het ruimtebeslag. Andere energiedragers, zoals methanol, ammoniak of waterstof, zorgen voor een (veel) groter ruimtebeslag aan boord van het schip. Met name voor schepen met een compacte layout (zoals het crew tender schip of de duwboot) zal dit een relatief grote impact hebben, waarbij ofwel het design van het schip (in geval van nieuwbouw) drastisch gewijzigd moet worden ofwel een ander operationeel profiel moeten worden gekozen. In het geval van grotere schepen, zoals vrachtvervoerende schepen is deze impact minder groot. Vooral in het geval van een refit kan dit leiden tot een vermindering van het laadvermogen van het schip.
- › Verhouding CAPEX ten opzichte van OPEX: De keuze van energiedragers zal vooral zijn gebaseerd op de total cost of ownership van de verschillende oplossingsrichtingen. De ontwikkeling van CAPEX wordt beïnvloed door de kosten van de energieomzetting, die afhankelijk is van het benodigde vermogen van het schip, en de kosten van energieopslag, die afhankelijk is van het verbruik en de benodigde autonomie en investeringen in nabehandeling. De ontwikkeling van de OPEX hangt samen met het brandstofverbruik en de prijsontwikkeling van de herkomstbron van de verschillende energiedragers. Dit laatste is afhankelijk van de ontwikkeling in het aanbod wat in de volgende sectie wordt behandeld.
- › Schepen met een hoog vermogen en een relatief kleine energieopslag (bijvoorbeeld crew tenders) zijn zeer gevoelig voor veranderingen en verschillen in CAPEX. Voor short sea en deep sea schepen zullen de OPEX leidend zijn. In het benaderen of ondersteunen van de energietransitie door overheden dient hier rekening mee te worden gehouden.

› INVENTARISATIE UPSTREAM BIOROUTES

BIOBRANDSTOFFEN

- › Voor de upstream bioroutes valt er onderscheid te maken tussen verschillende type grondstofstromen (CE Delft, 2020)
 - › Productiestroom: hoofdproducten en –gewassen uit land- of bosbouw. Het kan hierbij gaan om voedsel- en voedergewassen of energiegewassen
 - › Primaire reststroom: Stromen die in het veld vrijkomen bij de productie maar niet het hoofdproduct zijn.
 - › Secundaire reststroom: Stromen die vrijkomen bij het verwerkingsproces van de productiestroom, maar niet het hoofdproduct zijn bij die verwerking.
 - › Tertiaire reststroom: Stromen die ontstaan na gebruik of consumptie.
- › De verdeling van de Nederlandse consumptie van grondstoffen voor biobrandstoffen in 2019 is te zien in bijgaande figuur. Een groot deel van de biobrandstoffen die in 2019 in Nederland geconsumeerd zijn werd meer dan 80% van de biobrandstoffen geproduceerd uit Used Cooking Oil (UCO) en dierlijk vet voor FAME en HVO. Het grote aandeel van deze herkomstbronnen komt doordat deze dubbel mogen worden meegeteld in de de Nederlandse jaarverplichting (zie volgende sheet).
- › Van de grondstoffen die worden gebruikt voor de productie van biobrandstoffen voor het Nederlandse transport komt minder dan 10% daadwerkelijk uit Nederland. De grondstoffen uit Nederland bestaan bijna geheel uit afvalstoffen; Nederlandse gewassen zijn nauwelijks gebruikt. Nederland staat hiermee op de derde plaats als leverancier van gebruikte frituurolie (voor biobrandstoffen voor Nederlands transport in 2019), na China en Amerika.



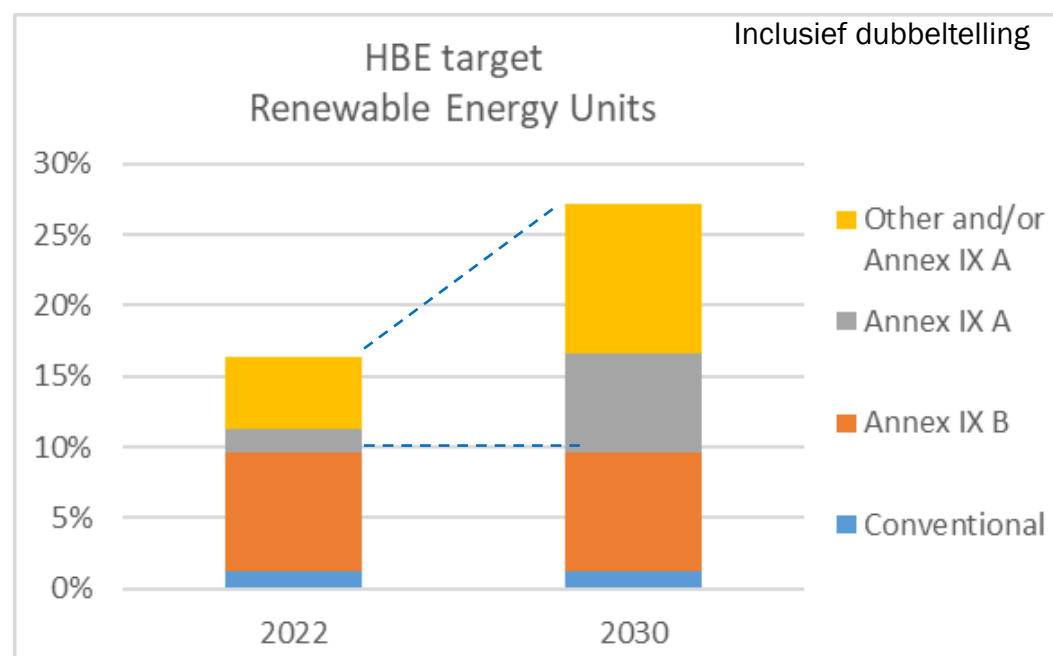
Groen: grondstoffen uit afvalstromen;
Blauw: grondstoffen uit gewassen.

› INVENTARISATIE UPSTREAM BIOROUTES

BIOBRANDSTOFFEN

- › Voor 2030 is vanuit de Nederlandse jaarverplichting hernieuwbare energie vervoer een plafond aangebracht voor inzet van UCO en dierlijke vetten (Annex IX B). Deze jaarverplichting omvat de implementatie van de RED2, maar ook de afspraken in het Nederlandse Klimaatakkoord. Groei van het aandeel biobrandstoffen moet komen door inzet van (geavanceerde) biobrandstoffen uit met name reststromen. De categorie “overige”, waaronder e-fuels worden geschaard, dient toe te nemen. Hiervoor is echter geen minimum percentage vastgesteld.

Category	Type/feedstock	Energy share
Other	Electricity, H ₂ , RFNBO	
Annex IX A	Biofuels from Part A feedstocks	2030 Min 3.5%
Annex IX B	Biofuels from UCO and tall oil	Max 4.2%
Conventional	Biofuels from food crops	Max 1.2%



Huidige voornaamste feedstock voor FAME en HVO

INVENTARISATIE UPSTREAM BIOROUTES

BIOBRANDSTOFFEN VOOR DE SCHEEPVAART

De volgende biobrandstoffen worden gezien als de voornaamste vervangers binnen de scheepvaart (CE Delft, 2020);

- FAME/HVO (op basis van duurzame SVO/PPO);
- Bio-ethanol/ Bio-methanol;
- Straight Vegetable Oil (SVO)/Pure Plant Oil (PPO);
- Pyrolyse olie/bio-olie;
- FT-brandstoffen;
- BioLNG.

De bijgaande figuren (E4tech, 2018) tonen de aantrekkelijkheid van diverse biobrandstoffen voor gebruik in de kustvaart (boven) en deep sea scheepvaart (beneden). Uitgezet op inzetmogelijkheden en productiepotentieel.

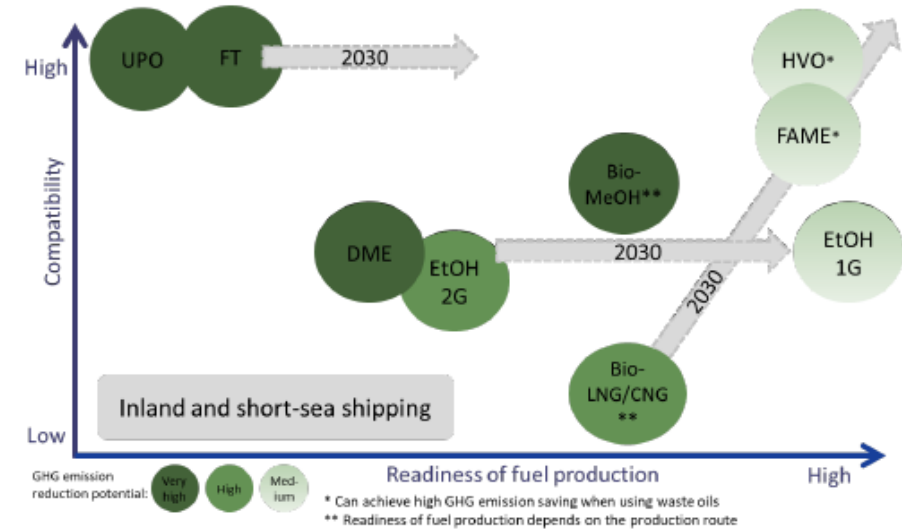


Figure a: Summary of the attractiveness of biofuels in the short-sea and inland shipping sectors

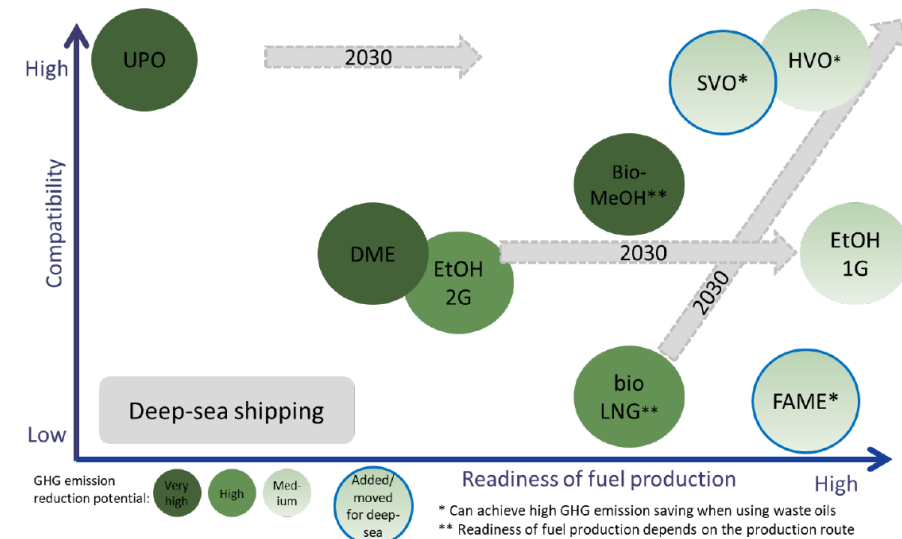


Figure 4-6: Overview of sustainable biofuel options in deep-sea shipping

INVENTARISATIE UPSTREAM BIOROUTES

BIOBRANDSTOFFEN: PRODUCTIE EFFICIËNTIE

- › Voor de productie van biobrandstoffen verschillen de productie efficiëntie per feedstock en productie route. Afhankelijk van de productie efficiëntie valt te benodigde hoeveelheid biomassa af te leiden.
- › CE Delft (2020) schat voor een midden scenario in dat er in 2030 voor de zee en binnenvaart een behoefte is aan 163 PJ/jaar aan hernieuwbare brandstoffen (+/- 30% van de totale Nederlandse bunkermarkt). Dit scenario gaat er van uit dat de doelstellingen die worden geformuleerd in het Klimaatakkoord en de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens worden gehaald. Afhankelijk van de productieroute (conversiefactor) betekent dit een behoefte aan biomassa van tussen de 201 en 431 PJ/jaar.

Brandstof	Route	Ondergrens conversiefactor [PJ/PJ]	Bovengrens Conversiefactor [PJ/PJ]
FAME	Frituurvet	0,92	0,98
	Sojabonen	0,29	0,35
	Palmolie	0,30	0,31
	Koolzaad	0,52	0,52
	Dierlijke vetten	0,89	0,94
HVO	Frituurvet	0,98	0,98
	Dierlijke vetten	0,95	0,95
Bio-ethanol	Mais	0,8	0,8
	Tarwe	0,7	0,8
	Suikerriet	0,1	0,1
	Suikerbiet	0,2	0,2
	Lignocellulose biomassa	0,2	0,6

Route	MJ verbruikt tijdens productie per MJ brandstof [MJ/MJ]	WTT energie efficiëntie
HVO (used cooking oil)	0,16	0,86
FAME	0,19	0,84
Bio-LNG municipal waste	1,00	0,50
Bio-LNG sewage sludge	4,44	0,18
Bio-LNG Maize	1,24	0,45
Bio-Meoh residual wood	1,26	0,44
Bio-Meoh farmed wood	1,38	0,42
Bio-Meoh waste wood black liquor	0,16	0,87

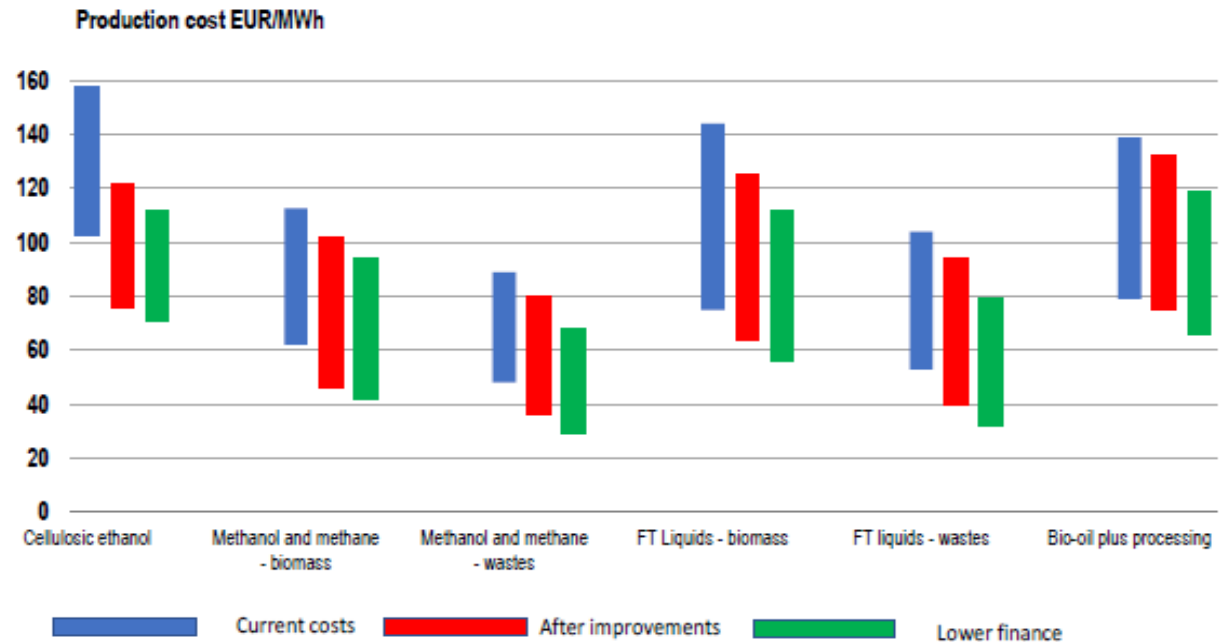
CE delft (2020) – Bio scope toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa

› INVENTARISATIE UPSTREAM BIOROUTES

BIOBRANDSTOFFEN: PRODUCTIEKOSTEN

› IEA heeft een uitgebreide analyse gemaakt over de ontwikkeling van biobrandstofkosten voor verschillende soorten biobrandstoffen, productieprocessen en grondstoffen. De ontwikkeling van productiekosten is afhankelijk van:

- › Lagere kosten door ontwikkelingen in productietechnologie
- › Lagere financieringskosten in nieuwe investeringen bij grootschalige adoptie van de technologie (geringere risico-opslag).



› INVENTARISATIE UPSTREAM BIOROUTES

BIOBRANDSTOFFEN: PRODUCTIE CAPACITEITEN

› De bijgaande figuren tonen de biomassa beschikbaarheid voor de zichtjaren 2030 en 2050. Voor de wereldwijde beschikbaarheid van biobrandstoffen is er een grote bandbreedte (2020);

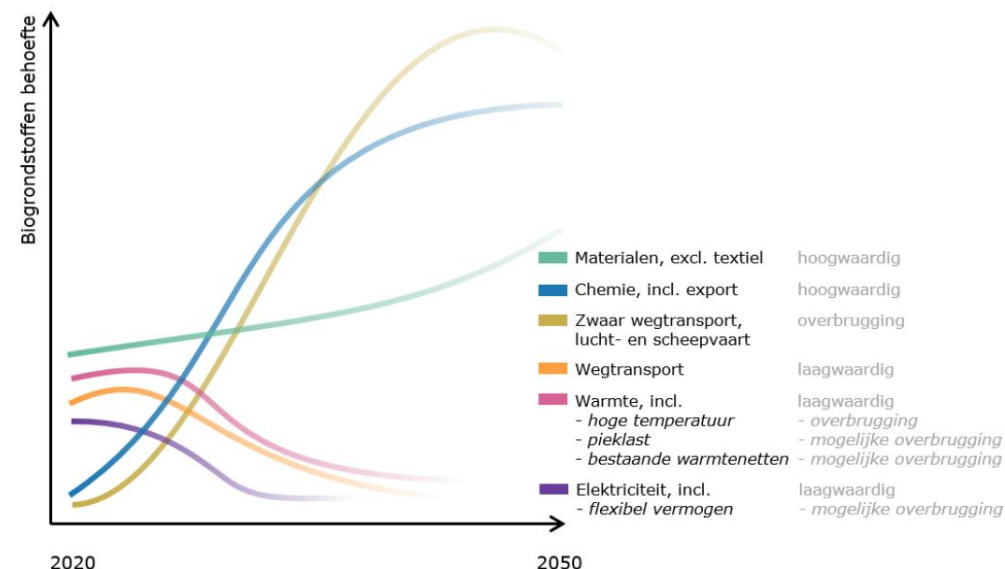
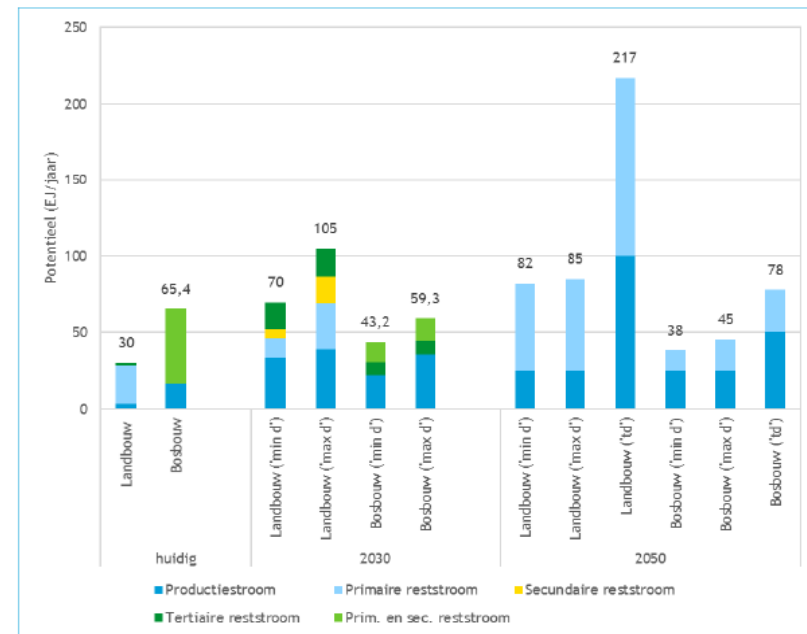
› 113 – 160 EJ/jaar in 2030

› 120 – 295 EJ/jaar in 2050

› Het advies van de SER (overgenomen door het Kabinet) is om bij ontwikkeling van beleid uit te gaan van de ondergrens van de genoemde bandbreedte. Er is geen eenduidige grondslag om het precieze aandeel van beschikbare biobrandstoffen voor Nederland (fair use) vast te stellen. De SER adviseert echter terughoudend te zijn bij de inzet van biobrandstoffen en deze gericht in te zetten in een aantal segmenten waar weinig alternatieven zijn.

› Biograndstoffen moeten met name worden ingezet in hoogwaardige inzet in materialen en chemie. Ook maritiem transport wordt in het advies beschouwd als een belangrijke markt voor biobrandstoffen voor de middellange termijn en mogelijk ook de lange termijn. Het advies voorziet dat biobrandstoffen uit gefaseerd worden bij de opkomst van e-fuels.

Figuur 35 - Overzicht mondiale beschikbaarheid (huidig, 2030, 2050)



› INVENTARISATIE UPSTREAM E-FUEL ROUTES

E-FUELS: BRANDSTOFFEN GEMAAKT VAN DUURZAME ELEKTRICITEIT MET CO₂ OF N₂

› Groene waterstof

Een van de bouwstoffen in het productie proces van E-fuels, om duurzame E-fuels te maken is het belangrijk dat de waterstof groen wordt opgewekt. Via elektrolyse met groene stroom. In cryogene vorm is groene waterstof zelf al te gebruiken als energiedrager voor Short Sea Shipping.

› E-Methanol

E-Methanol wordt in principe geproduceerd via syngas. Voor circulariteit is het ook mogelijk E-methanol te produceren via hydrogenering van CO₂ uit biomassa of direct air capture.

› E-diesel

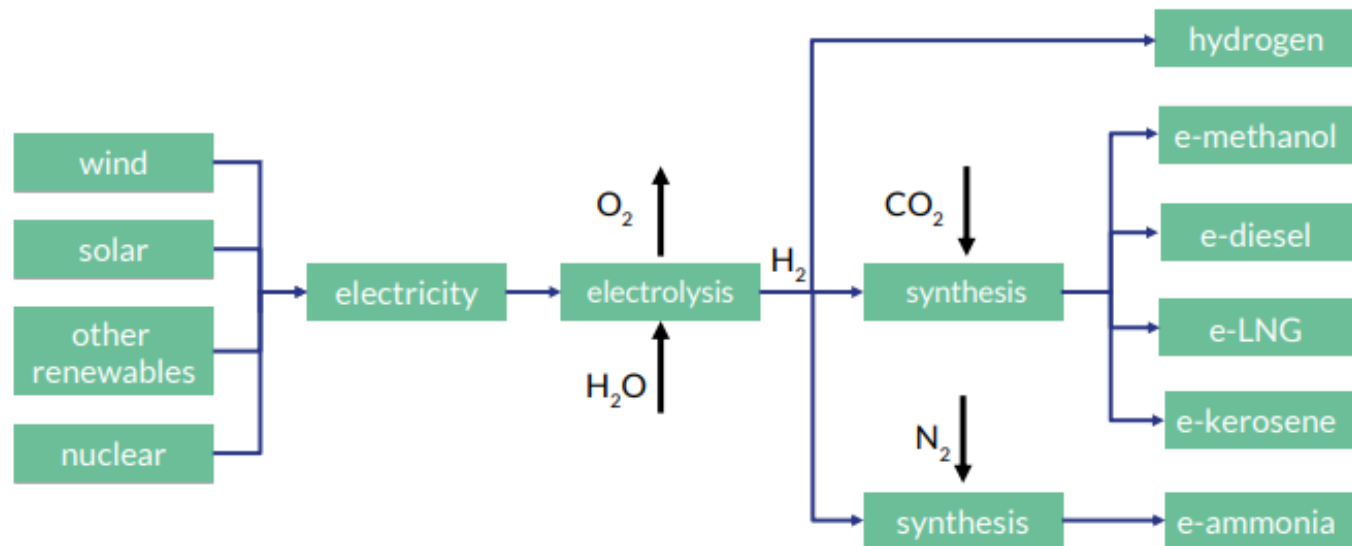
Voor de synthese van E-diesel wordt een Fischer-Tropsch proces gebruikt, alternatief is het ook mogelijk vanuit methanol de E-diesel te synthetiseren.

› E-LNG

E-LNG wordt geproduceerd door methanisering van groene waterstof en CO₂.

› E-ammonia

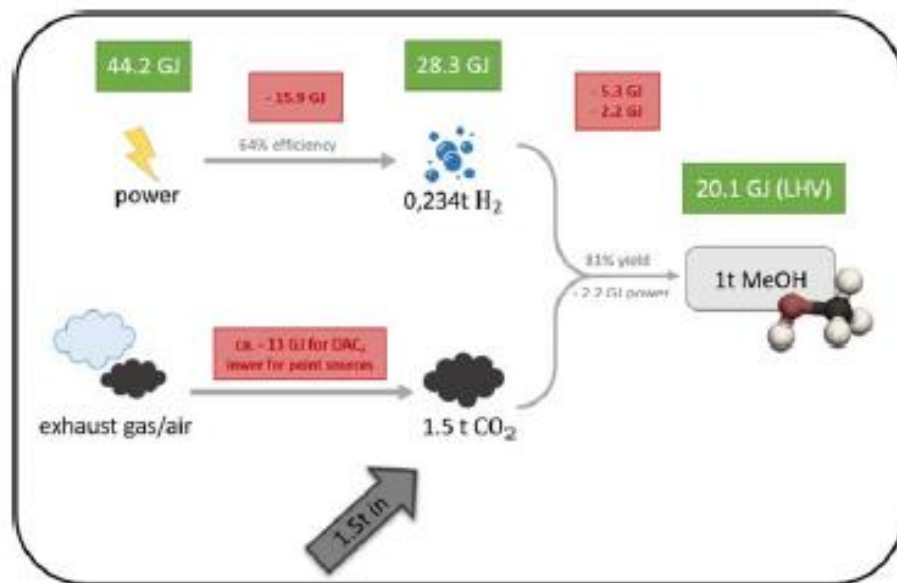
Bij de productie van E-ammonia wordt waterstof en stikstof gebruikt via een Haber Bosch reactie.



› INVENTARISATIE UPSTREAM E-FUEL ROUTES

E-FUELS: EFFICIËNTIE VAN ELEKTROLYSE TECHNIEKEN EN SYNTHESE ROUTES

- › Een belangrijk onderdeel van productie is de efficiëntie. De tabellen rechts toont de efficiëntie van de belangrijkste productiestappen van het proces, de elektrolyse van waterstof en de synthese routes van de E-fuels. Voor de elektrolyse zijn tevens de CAPEX verwachtingen en potentiële systeem omvang voor 2030 toegevoegd (Brynnolf, 2017).



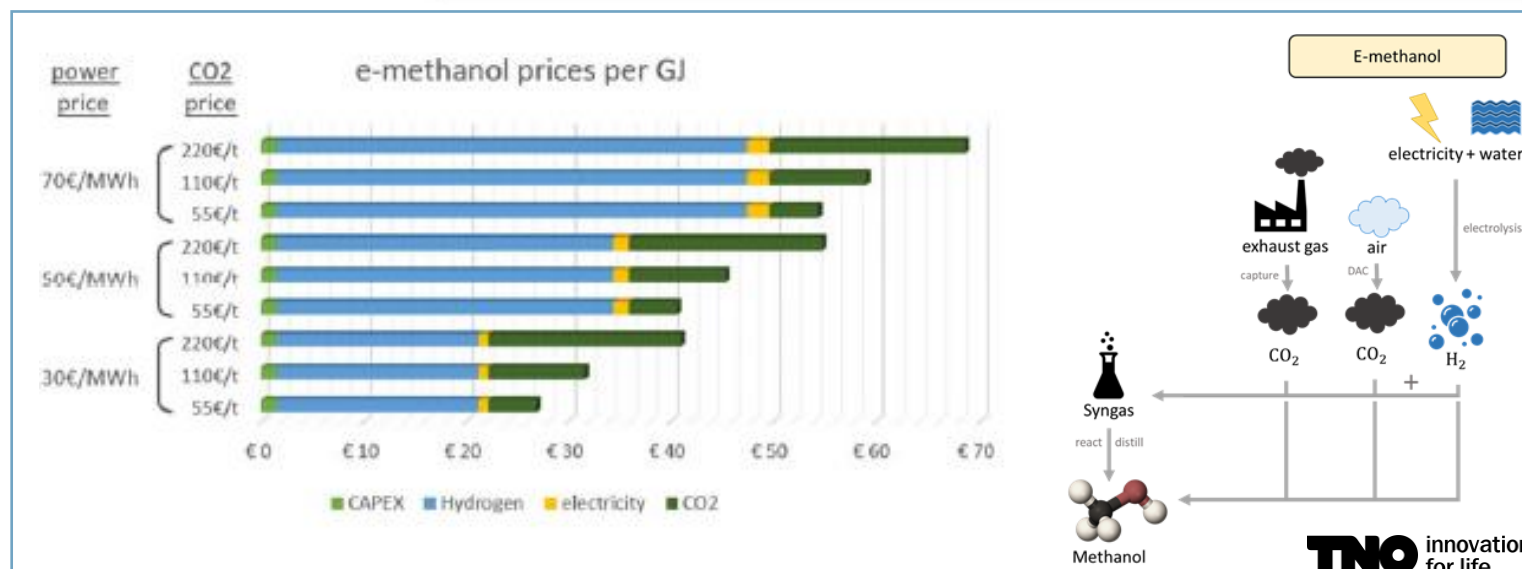
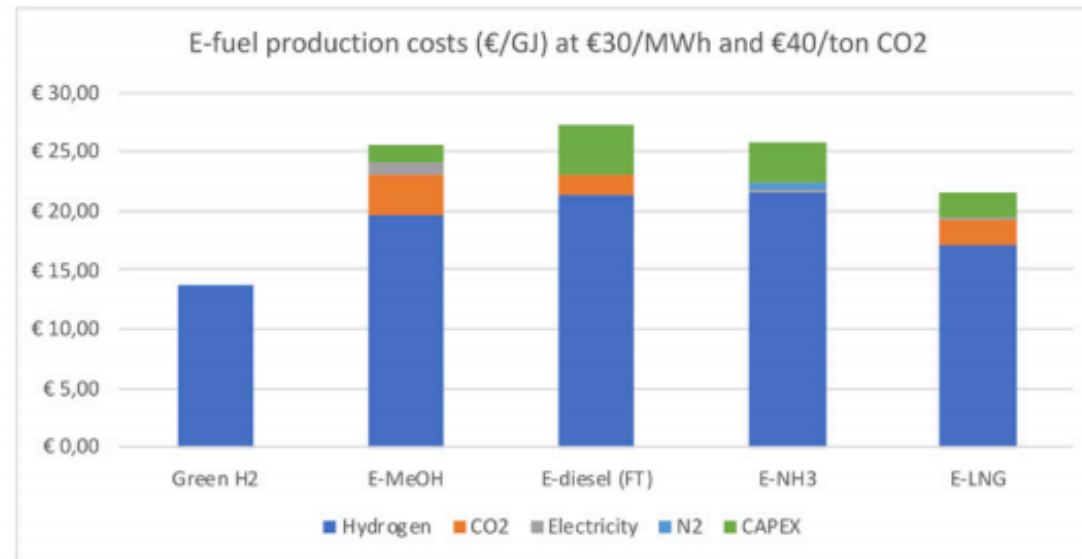
Elektrolyse technieken ⁽¹⁾	Efficiëntie van elektriciteit naar H ₂ ⁽²⁾	Capex (euro/kW _{elec}) 2030	Omvang systeem MW 2030
Alkaline water	66%	400-900	4,9-8,6
PEM	69%	300-1300	2,1-90
SOEC (stoom)	77%	400-1000	0,5-50
SOEC (co-elektrolyse)	81%	400-1000	0,5-50

Synthese routes ¹	Efficiëntie van H ₂ naar E-fuel ⁽²⁾
Fischer-Tropsch diesel	69%
Methanol-to-Diesel	77%
Haber-Bosch ⁽³⁾ NH ₃	60%
Methanisering	80%

INVENTARISATIE UPSTREAM E-FUEL ROUTES

E-FUELS: PRODUCTIE KOSTEN ZIJN AFHANKELIJK VAN CO₂- EN ELEKTRICITEITSPRIJS

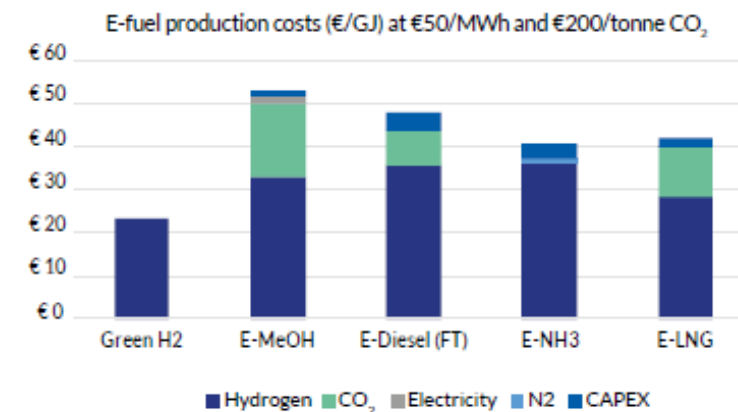
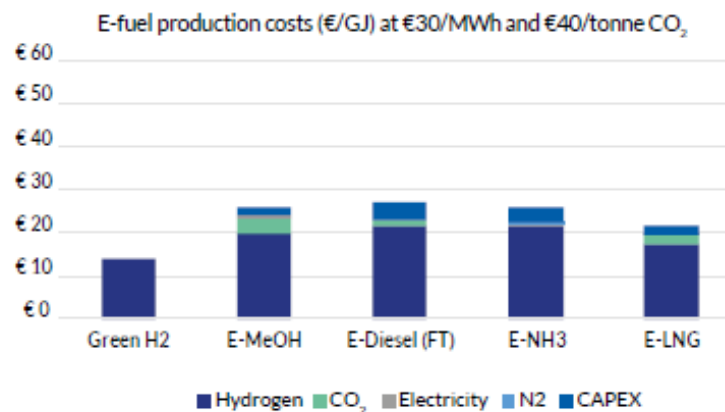
- › De productie prijs van E-fuels is afhankelijk van de elektriciteitsprijs en de prijs van CO₂.
- › De staafdiagram hiernaast laat de productiekosten zien voor diverse E-fuels onder een energie prijs van €30/MWh en een CO₂-prijs van €40/ton CO₂. De prijsniveaus voor H₂ en e-LNG zijn nog exclusief compressie- of liquifactiekosten. Deze bedragen € 2 per GJ.
- › De verschillen die ontstaan in totale productie prijs door variatie in de elektriciteitsprijs en CO₂-prijs zijn hiernaast te zien in een voorbeeld van E-methanol.



› INVENTARISATIE UPSTREAM E-FUEL ROUTES

E-FUELS: PRODUCTIE KOSTEN ZIJN AFHANKELIJK VAN CO₂- EN ELEKTRICITEITSPRIJS

› De productie prijs van e-fuels is afhankelijk van de (groene) elektriciteitsprijs en de prijs van CO₂. In het geval van een hoge elektriciteitsprijs, is H₂ de goedkopere productie optie. In het geval van een Hoge CO₂ prijs zijn zowel H₂ als E-NH₃ de goedkopere opties, zie figuur rechts onder.



› De kosten voor CO₂ variëren per methode, een overzicht is hiernaast geplaatst met korte en lange termijn kosteninschattingen.

	CO ₂ capture cost short-midterm (€ ₂₀₁₅ /tCO ₂)	CO ₂ capture cost long-term (€ ₂₀₁₅ /tCO ₂)
Natural gas power plant	20–60	10–60
Coal power plants	30–170	10–100
Petroleum refining/petrochemical	60–140	30–90
Cement industry	70–150	30–50
Iron and steel production	50–70	30–60
Ammonia production	< 20	< 20
Bioethanol production, biogas upgrading	< 20	< 20
Ambient air	–	20–950

› INVENTARISATIE UPSTREAM E-FUEL ROUTES

E-FUELS: PRODUCTIECAPACITEITEN

- › Voor grootschalige productie van e-fuels is een zeer sterke opschaling van productie van duurzame elektriciteit een belangrijke randvoorwaarde.
- › De grafiek rechtsboven toont de mogelijke productie van CO₂-gebaseerde E-fuels in een scenario waar producenten hernieuwbare energie halen van het landelijk netwerk (ICCT, 2017).
- › De figuur en tabel tonen de theoretisch maximale E-fuel productie, belangrijk is te onderkennen dat de productie van E-fuels, zelfs met hoge subsidies, aanzienlijk lager zal zijn.

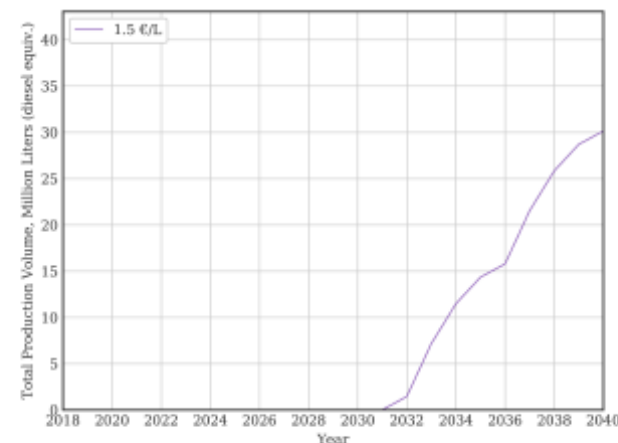


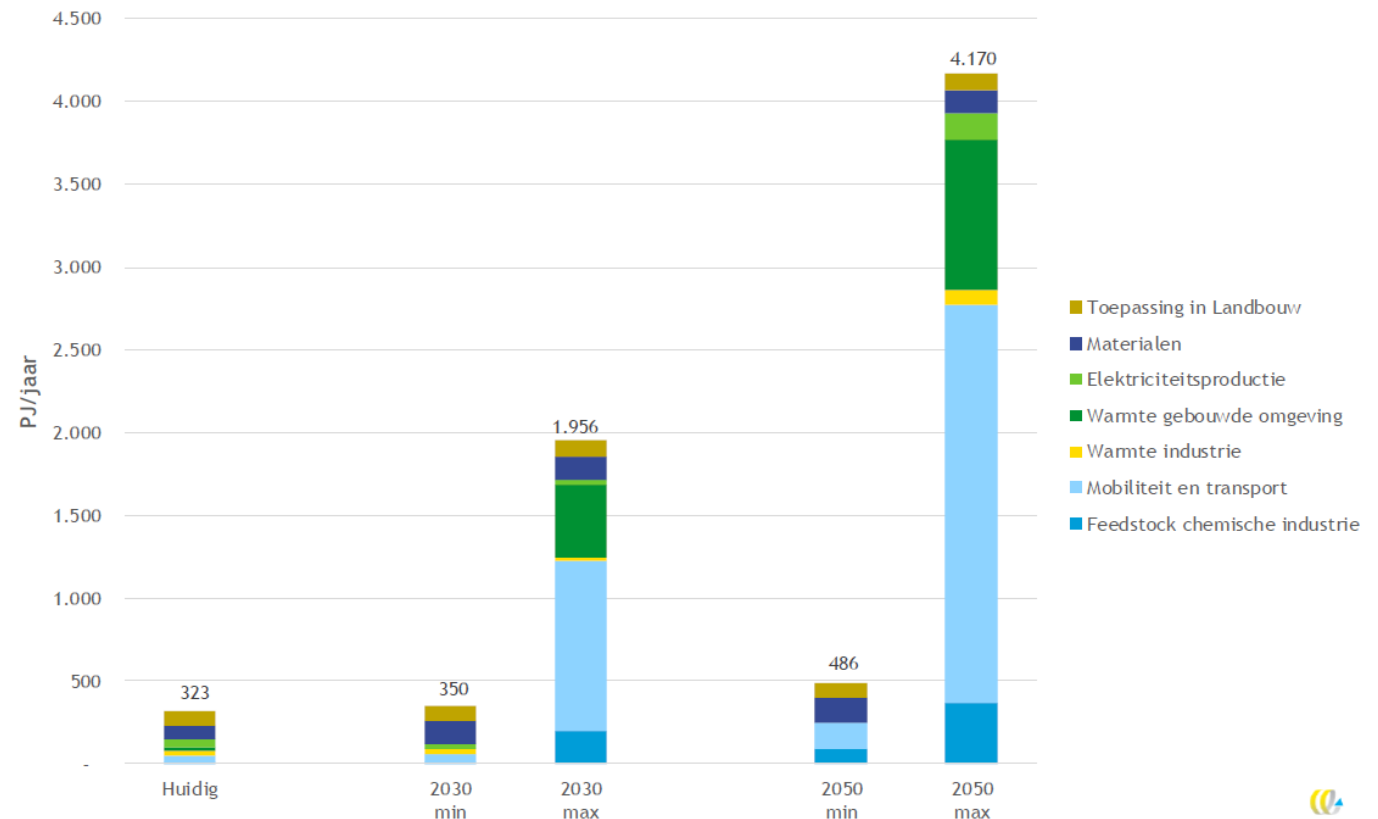
FIGURE B.22: Production of CO₂-based synthetic fuels from wind generation in Netherlands.

TABLE 3.6: Projected availability of CO₂ from large point sources in EU Member States and theoretical maximum production of CO₂-based synthetic fuel from these sources in 2030 and 2040.

EU Member State	2030 Total annual CO ₂ production (million tonnes)	2030 Theoretical max fuel production (billion litres)	2040 Total annual CO ₂ production (million tonnes)	2040 Theoretical max fuel production (billion litres)
Austria	12.9	2.8	9.7	2.1
Belgium	31	6.9	23.2	5.1
Denmark	19.4	4.3	15	3.3
Finland	14.3	3.1	11	2.4
France	89.4	19.8	65.2	14.4
Germany	295.2	65.2	225.8	49.9
Greece	36.4	8	27.9	6.2
Ireland	8.1	1.8	6.3	1.4
Italy	87.5	19.3	66.5	14.7
Luxembourg	1.3	0.3	1	0.2
Malta	0	0	0	0
Netherlands	50.9	11.2	38.6	8.5
Portugal	17	3.8	13	2.9
Spain	64.7	14.3	49.4	10.9
Sweden	11.3	2.5	8.6	1.9
UK	157	34.7	120.1	26.5

› CONCLUSIES VANUIT UPSTREAM

- › Bij zowel bio- als synthetische route geldt:
 - › Productie in Nederland of Europa waarschijnlijk onvoldoende om aan totale vraag te voldoen. Een groot gedeelte zal dus via import (maritieme aanvoer of pijpleiding) naar West-Europa worden getransporteerd.
 - › De scheepvaart is slechts één van de eindgebruikers voor biobrandstoffen en e-fuels. Ook vanuit andere modaliteiten (luchtvaart, wegvervoer) en andere toepassingen (industrie, gebouwde omgeving) zal er grote vraag ontstaan naar deze producten.
 - › Omdat er onduidelijkheid is over de productielocaties en routes, is het nog onzeker in welke vorm (biomassa, waterstof, ammoniak) het transport gaat plaatsvinden. In de volgende slides worden deze routes nader toegelicht.

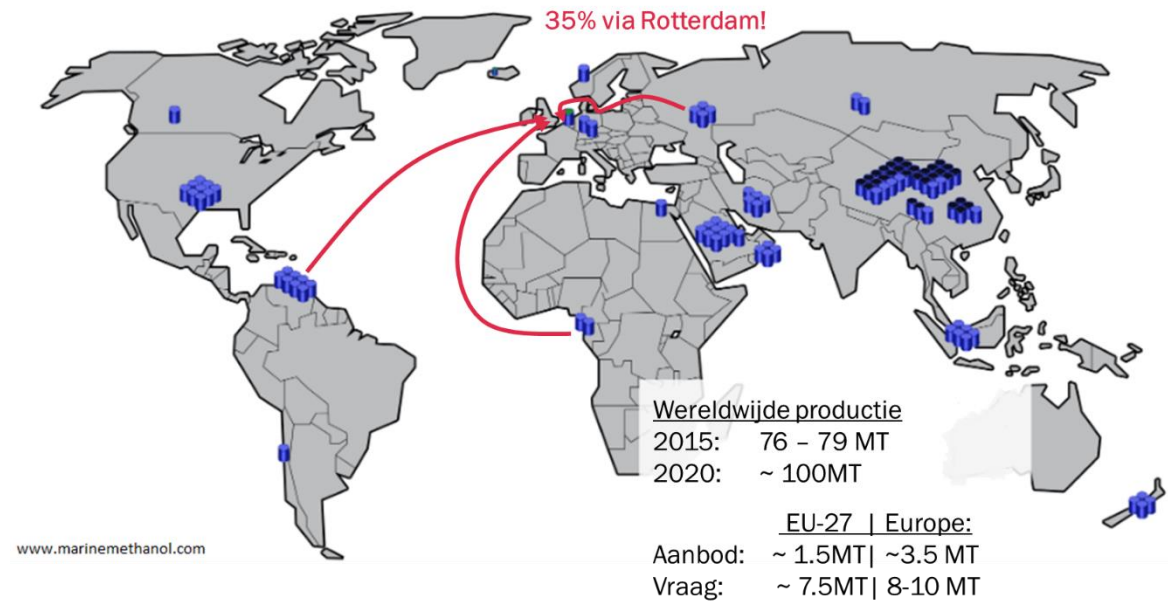


Verwachte range in de totale behoefte aan duurzame biomassa in Nederland, per toepassing, in PJ per jaar

Bron: CE Delft 2020

› SUPPLY CHAIN EN INFRASTRUCTUUR METHANOL

- › De huidige wereldwijde productie van methanol bedraagt ongeveer 100 miljoen ton per jaar (voornamelijk fossiel). Productie van hernieuwbare methanol is beperkt. In Nederland is een productielocatie aanwezig waar methanol wordt geproduceerd uit biomethaan en is een locatie in opstart voor productie van afvalstromen
- › Voorname applicaties zijn het gebruik in transportbrandstoffen (grondstof voor blend met benzine of MTBE) of voor industriële applicaties (productie van formaldehyde of ethylene).
- › Europa is momenteel vooral een importregio voor methanol. Import wordt overzees aangevoerd vanuit (onder meer) Rusland, Trinidad, VS, Venezuela en Equatoriaal Guinea.
- › 35% van de Europese overzeese import loopt via Nederland (Rotterdam). Er zijn verschillende import terminals aanwezig (Vopak, Koole, EVOS). Daarnaast heeft Nederland een productielocatie (BioMCN in Delfzijl). Vervoer richting het achterland vindt multimodaal plaats.



› **SUPPLY CHAIN EN INFRASTRUCTUUR**

AMMONIAK

- › Ook ammoniak is een belangrijk industrieel product met een wereldwijde productie van 140 miljoen ton. De voornaamste markt hiervoor is het gebruik als kunstmest. Een ander product gerelateerd aan ammoniakproductie is ureum, wat onder meer wordt ingezet voor SCR-nabehandelingssystemen in transport (AdBlue).
- › Nederland is een belangrijke productielocatie voor ammoniak door Yara en OCI (2,2 miljoen ton per jaar).
- › Ook voor ammoniak is Europa een importregio. Import naar Nederland is relatief beperkt (180.000 ton in 2019 van buiten de EU), via een importterminal van OCI in Rotterdam. België (vermoedelijk Antwerpen) is een relatief grote importeur voor ammoniak (1,0 miljoen ton).
- › Ammonia wordt getransporteerd in LPG carriers. Hiervan is reeds een wereldwijde vloot beschikbaar met een grote range aan capaciteit.
- › Ook richting het achterland kan multimodaal vervoerd worden in LPG carriers via binnenvaart of in ketelwagens via het spoor.

› **SUPPLY CHAIN EN INFRASTRUCTUUR**

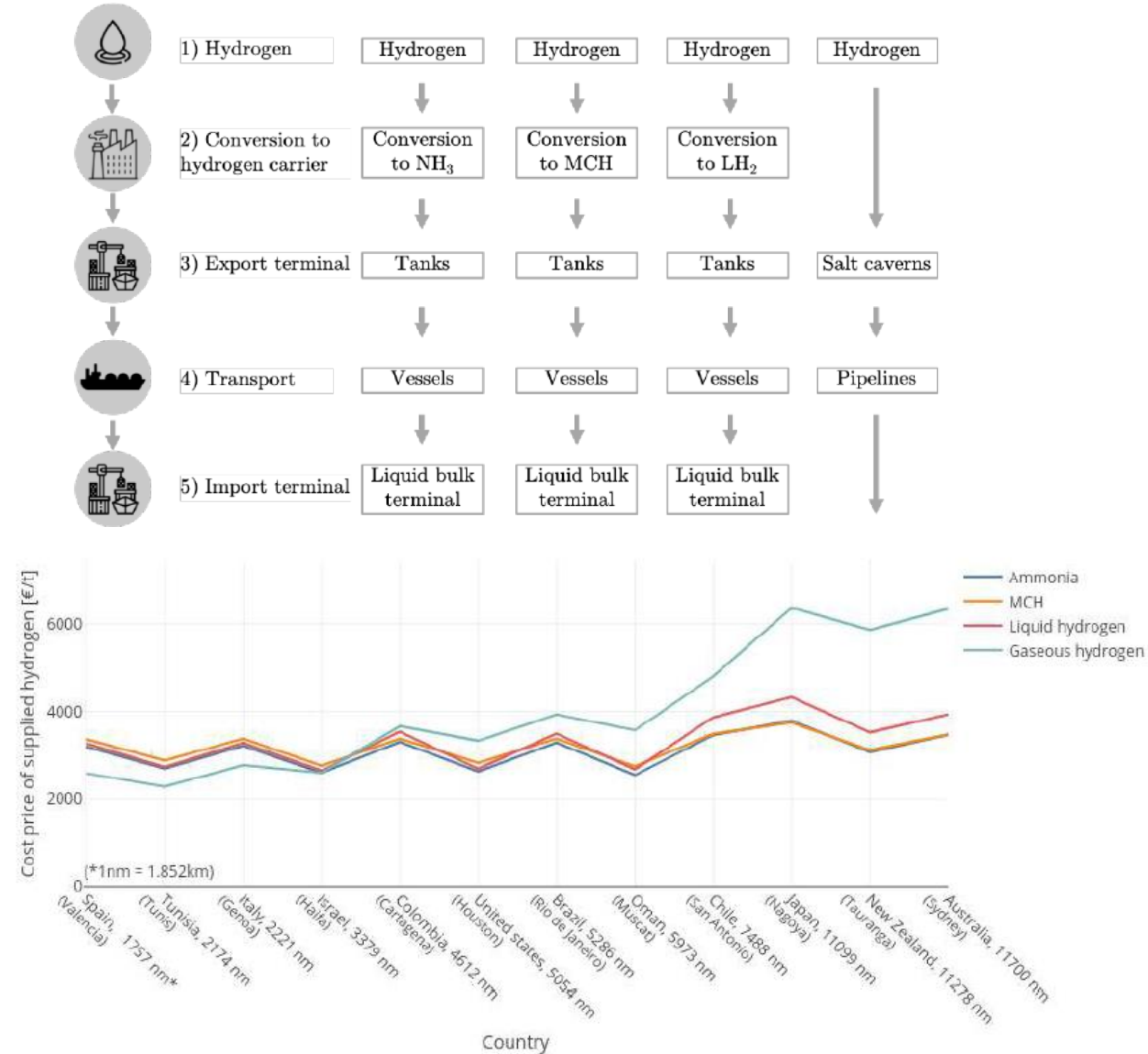
WATERSTOF

- › Industriële productie van waterstof bedroeg 74 miljoen ton in 2019 voor raffinageprocessen, ammoniak productie en overige industriële applicaties. Dit betreft voor het merendeel fossiele productie. Productie van waterstof op basis van elektrolyse vindt op experimentele basis plaats.
- › In Nederland wordt ongeveer 0,8 mt geproduceerd vanuit aardgas. Transport en opslag van waterstof is momenteel beperkt, omdat het vaak direct lokaal toegepast wordt.
- › Distributie kan mogelijk plaatsvinden via het leidingnetwerk. Via (private) waterstofleidingen is Nederland reeds verbonden met België, Frankrijk en Duitsland. Daarnaast wordt verwacht dat het gasleidingennet op afzienbare termijn beschikbaar en geschikt gemaakt kan worden voor waterstoftransport. Onder meer in de aanvraag van het groeifonds waterstof wordt deze optie nader verkend. Ook wordt in Europees verband door diverse partijen gewerkt aan een visie op dit vlak in het European Hydrogen Backbone.
- › Een andere transportmogelijkheid is maritiem transport in specifieke waterstof carriers. Hierin wordt waterstof cryogeen vervoerd. Eind 2019 is een eerste schip in de vaart genomen met een opslagcapaciteit van 1250 m³ vloeibare waterstof. Daarnaast is er een design goedgekeurd voor een schip met een capaciteit van 20,000 m³.
- › Tevens wordt onderzocht in welke mate grootschalige en goedkope opslag van waterstof mogelijk is in zoutcavernes.

› SUPPLY CHAIN EN INFRASTRUCTUUR

VERGELIJKING OPTIES

- › Voor de aanvoer van de energiedragers zijn verschillende mogelijkheden, elk met een andere kostprijs. In een vergelijkingsstudie komt naar voren dat de meest voordelige vervoersoptie sterk afhankelijk is van de afstand van de productielocatie tot Nederland. Bij productie op een afstand tot ongeveer 3000 km is vervoer via een (nieuw) leidingnetwerk het meest voordelige. Bij een afstand die verder weg ligt is conversie naar een waterstofdrager (in de studie ammoniak) en vervoer via scheepvaart voordeliger.
- › In een opstartfase is het niet aannemelijk dat vervoer via een pijpleidingnetwerk wordt vervoerd. In deze fase zal transport via een waterstofdrager aannemelijker zijn.



› SUPPLY CHAIN EN INFRASTRUCTUUR

BUNKERVOORZIENINGEN

- › Bunkeren van de verschillende energiedragers bestaan verschillende mogelijkheden: Ship-to-ship, Shore-to-ship of Truck-to-ship.
- › Voor diesel varianten (bio en e-diesel) en LNG zijn in Nederlandse havens afdoende bunkermogelijkheden beschikbaar. Voor methanol, ammoniak en waterstof zullen bunkerfaciliteiten voor ontwikkeld moeten worden.
 - › Dit begint met het faciliteren van truck-to-ship bunkering voor pilot initiatieven. Een andere optie is om in een bestaande bunkerschip één van de tanks om te bouwen naar een nieuwe energiedrager of gebruik te maken van een (omgebouwd) (chemicaliën) tanker.
 - › Grootschalige acceptatie van methanol zou leiden tot een capaciteitsuitbreiding van de bunkervloot in havens, zowel in aantal (vanwege hogere bunkerfrequentie van zeeschepen) als in grootte (vanwege grotere bunkervolumes).
 - › Bunkeren van wal tot schip zou een aantrekkelijke optie zijn voor ferries of binnenvaartschepen.

Table 3. Distribution costs of e-fuels for inland shipping

		Green H ₂ 700 bar	E-methanol	E-diesel (FT)	E-NH ₃	E-LNG
Typical bunker quantity	ton	3	40	25	40	20
Typical bunker quantity	GJ	363	908	1138	744	1000
Bunker ship deliveries per day	per day	4	4	4	4	4
Bunker ship costs per day	€/day	3000	2200	2200	3000	3000
Distribution costs	€/ton	250	14	22	19	38
	€/GJ	2.07	0.61	0.48	1.01	0.75

For sea vessels, the same calculation is presented in the table below. The bunker quantities vary from 50 ton per bunkering for H₂ to 800 ton per bunkering event for methanol and NH₃. H₂ will, in this case, be supplied as a liquid, cryogenic H₂. The bunker ship costs per day are estimated to be 10,000 EUR/day for diesel and methanol, and 15,000 EUR/day for NH₃, LNG and liquid H₂.

Table 4. Distribution costs of E-fuels for maritime shipping

		Green H ₂ liquid	E-methanol	E-diesel (FT)	E-NH ₃	E-LNG
Typical bunker quantity	ton	50	800	500	800	400
Typical bunker quantity	GJ	6,050	18,160	22,750	14,880	20,000
Bunker ship deliveries per day	per day	3	3	3	3	3
Bunker ship costs per day	€/day	15,000	10,000	10,000	15,000	15,000
Distribution costs	€/ton	100	4	7	6	13
	€/GJ	0.83	0.18	0.15	0.34	0.25

Bron: TNO (2020), Power-2-Fuel Cost Analysis

› **SUPPLY CHAIN EN INFRASTRUCTUUR**

BUNKERRICHTLIJNEN

- › Er zijn verschillende veiligheidsaspecten waar rekening mee moet worden gehouden bij het inrichten van energievoorziening en het gebruik aan boord. Belangrijke punten in de uitwerking betreffen de benodigde brand- en explosiegevaar, toxiciteit en milieuschade.
- › Met gebruik en bunkering van LNG als scheepsbrandstof is reeds uitvoerige ervaring opgedaan rond introductie van nieuwe brandstoffen.
- › Voor gebruik van methanol, ammoniak en waterstof zijn veelal nog geen standaarden beschikbaar. Wel worden momenteel verschillende onderzoeken of eerste pilotprojecten waarbij het inrichten van het veiligheidsproces in kaart wordt gebracht. Hierbij kan de methode van equivalente veiligheid worden gebruikt (SOLAS regulation II-1/55). Ook zijn er diverse Europese werkgroepen op dit gebied opgezet.
- › Aan de infrastructuurzijde dient case-by-case samen met omgevingsdiensten in kaart te worden gebracht wat de minimale benodigde veiligheidsafstanden zijn.

› TRANSITIEPOREN VANUIT DE VRAAGKANT

ONTWIKKELING TOT EN NA 2036 - KANSEN

Vanuit technische en economische overwegingen vanuit de vraagkant zijn de volgende conclusies te trekken:

- › Biobrandstoffen: voor drop-in biobrandstoffen geldt in principe geen ingewikkelde transitie vanuit de scheepvaart (geen aanpassingen op het schip, operatie of bunkerinfrastructuur). Uptake is hiermee vooral afhankelijk van de beschikbaarheid en de prijsontwikkeling.
- › Methanol: Zowel bioroute als e-brandstof route mogelijk. De handling is relatief eenvoudig. Uptake is afhankelijk van de ontwikkeling van motoren en veiligheid aan boord.
- › Ammoniak: e-NH₃ is op de lange termijn mogelijk goedkoper dan e-diesel of e-methanol. Koolstofvrij kan uiteindelijk de norm worden, financiële haalbaarheid DAC is nog onzeker.
- › LNG: Redelijk goede beschikbaarheid motoren.
- › Liquid Hydrogen (L-H₂): Er zijn H₂ fuel cell systemen in ontwikkeling met potentieel hogere efficiency dan motoren
- › Liquid organic hydrogen carriers (LOHC): veiliger dan H₂, NH₃, methanol, LNG.

Spoor	Tot 2025	2026-2035	Na 2036
Drop-in biobrandstoffen/ e-diesel	biodiesel	scale up advanced biodiesel	advanced biodiesel (E-diesel)
Methanol	demos	bio-methanol	bio-methanol + E-methanol
Ammoniak	Demo's	Demo's (blauwe NH ₃)	E-NH ₃ hybride met (bio)diesel
LNG vloeibaar (cryo)	opschaling	bio-LNG fossil LNG + CCU → storage/re-use	E-LNG E-fuel: LNG + CCU
LH ₂ (cryo)	demo	(blauwe H ₂)	E-H ₂
LOHC als H ₂ carrier	R&D	demo, scale up if demo succesful	scale up

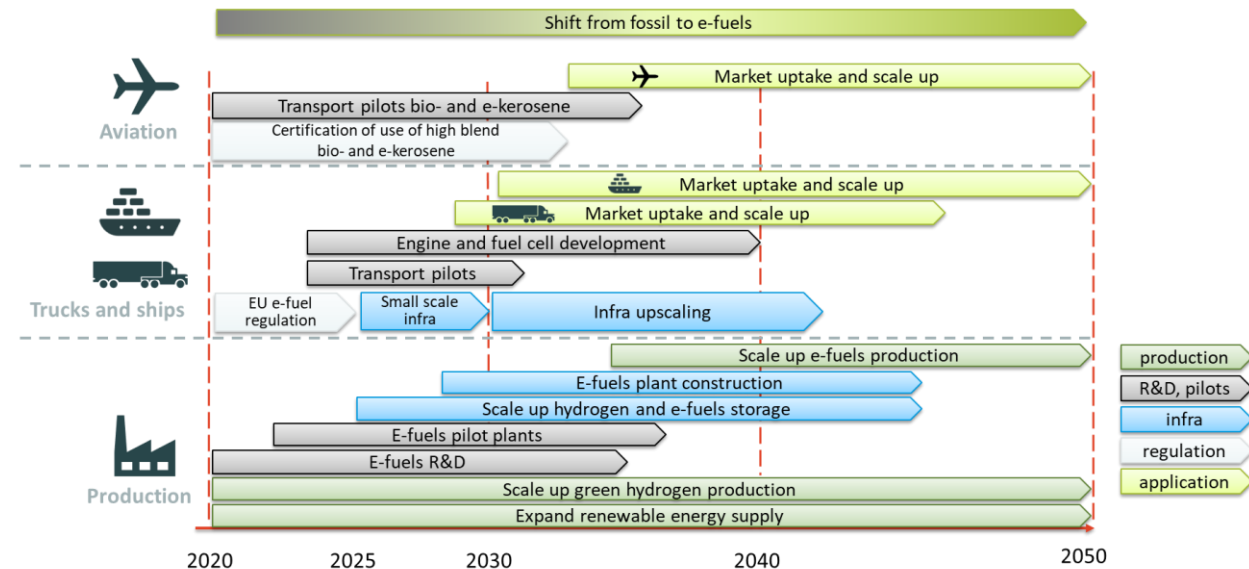
› TRANSITIESPOREN VANUIT DE VRAAGKANT ONTWIKKELING TOT EN NA 2036 - BEDREIGINGEN

- › Drop-in biobrandstoffen: Advanced biodiesel waarschijnlijk duurder en/of minder beschikbaar dan biomethanol.
E-diesel waarschijnlijk naar verwachting een hoge prijs.
- › Methanol : full range methanol motoren, dual-fuel is duur. Zijn er andere opties zoals: SI-lean burn of ignition improver bijmenging?
- › Ammoniak: NH_3 verbrandingsmotoren wellicht complex, vooral kleinere. (full range motoren nodig)
Idem voor NH_3 fuel cells.
- › LNG: Hoge kosten cryo tanks.
Hoge GHG emissie, reductie methaan emissie is kostbaar.
- › L- H_2 : Lading verlies met cryo- H_2
Power-density H_2 motoren en ontwikkeling cryogene tanks
Ontwikkeling hoog vermogen fuel cell systeem.
- › LOHC: Praktische uitvoerbaarheid LOHC (incl. retourflow).
Lading verlies met LOHC.
Power-density H_2 motoren.
Ontwikkeling hoog vermogen fuel cell systeem.

Spoor	Tot 2025	2026-2035	Na 2036
Drop-in biobrandstoffen/ e-diesel	biodiesel	scale up advanced biodiesel	advanced biodiesel (E-diesel)
Methanol	demos	bio-methanol	bio-methanol + E-methanol
Ammoniak	demos	demos (blauwe NH_3)	E- NH_3 hybride met (bio)diesel
LNG vloeibaar (cryo)	opschaling	bio-LNG fossil LNG + CCU → storage/re-use	E-LNG E-fuel: LNG + CCU
LH2 (cryo)	demo	(blauwe H_2)	E- H_2
LOHC als H_2 carrier	R&D	demo, scale up if demo succesful	scale up

› TRANSITIESPOOR AANBODZIJDE

- › Het transitiepoor aan de aanbodzijde hangt sterk af van ontwikkeling buiten de scheepvaart, zoals vraagontwikkeling vanuit andere modaliteiten en de industrie en ontwikkelingen in nationaal en internationaal beleid.
- › Voor biodiesel van nieuwe (beschikbare) grondstoffen. Pilots kunnen plaatsvinden tussen 2022 – 2025 om geschiktheid van deze brandstoffen in scheepsmotoren vast te stellen. Opschaling kan na 2025 plaatsvinden. Bij het uitgangspunt van SER (ondergrens bandbreedte ontwikkeling beschikbaarheid) zal dan wel een shift moeten plaatsvinden vanuit de huidige afnemers (wegverkeer, elektriciteit) naar gebruik in de scheepvaart.
- › Voor E-fuels wordt verwacht dat tot 2035 vooral nog R&D ontwikkeling en pilots zullen plaatsvinden. Na 2035 kan opgeschaald worden mits voldoende stimulering/regulering. Voor E-H₂ en E-NH₃ is nog onbekend in welke opschaling in transporttoepassingen zal plaatsvinden ten opzichte van gebruik in andere markten zoals de industrie. E-NH₃ lijkt goede optie voor (grootschalige) import en E-fuel productie



Bron: TNO, 2020: Karin van Kranenburg, Yvonne van Delft, Anastasia Gavrilova, Robert de Kler, Caroline Schipper, Maarten Verbeek, Ruud Verbeek: E-fuels: towards a more sustainable mobility future for truck transport, shipping and aviation. White paper Voltachem, SmartPort, TNO. July 2020.

› TRANSITIEPOOR

SAMENBRENGEN VRAAG EN AANBOD

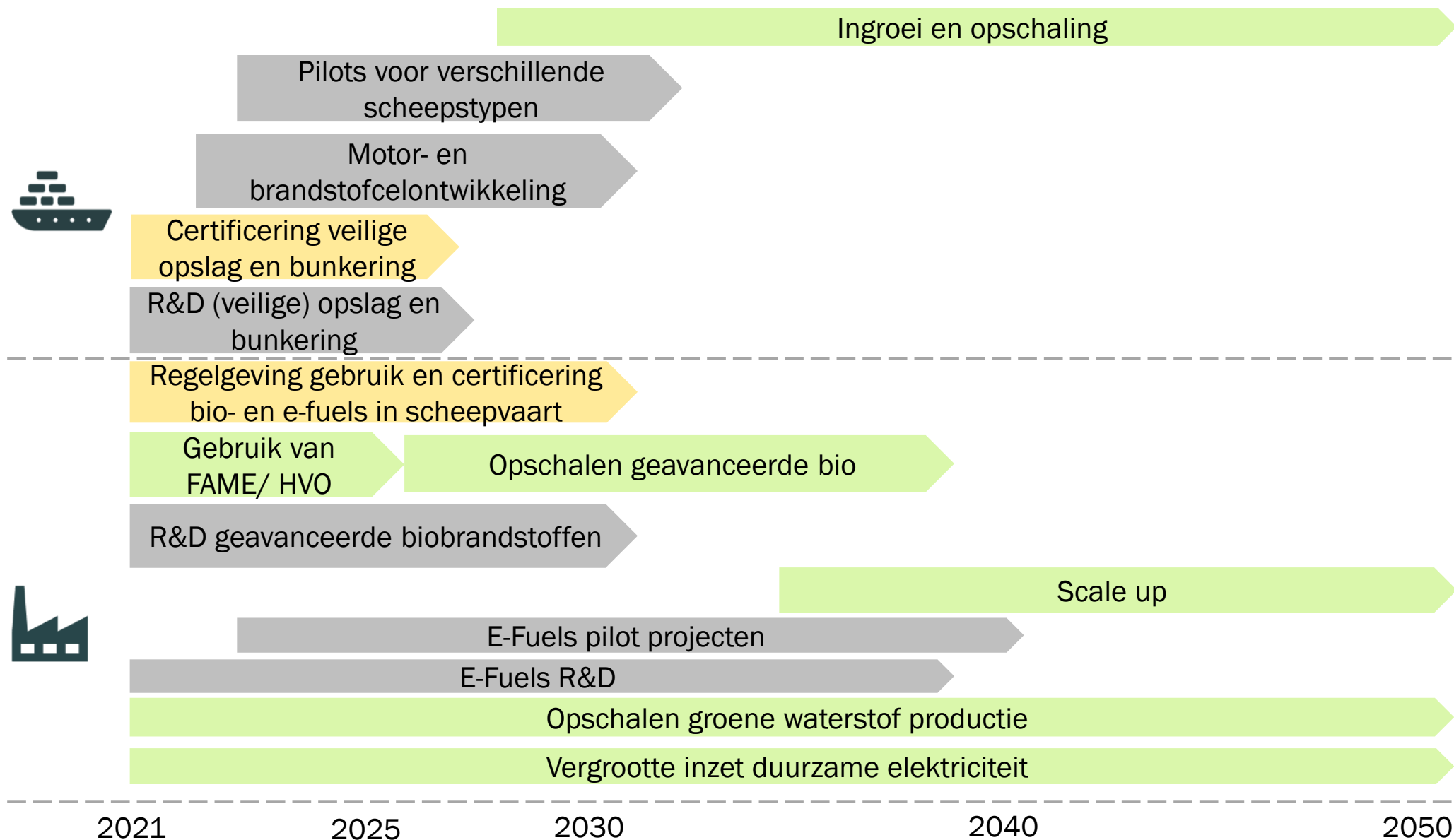
Aanbod duurzame brandstoffen is op lange termijn kritischer dan toepasbaar maken in schepen:

- › Het volume van UCO/dierlijk vet is zeer beperkt. Voor groei van gebruik van drop-in biobrandstoffen zijn andere (maatschappelijk acceptabele) herkomstbronnen noodzakelijk. Dit betekent dat met name moet worden ingezet op brandstofroutes (bio- en E-fuels) welke op lange termijn kansrijk zijn.
- › Groei van E-fuels zullen pas tot stand komen wanneer duurzame elektriciteit grootschalig beschikbaar is. Voor die tijd zijn wel grootschalige demo's nodig om de productietechniek marktrijp te maken.
- › Volgend uit het advies van de SER zouden bio- en E-brandstoffen gericht moeten worden ingezet in segmenten waar weinig alternatieven zijn. De zeevaart is één van de segmenten die hierin geprioritiseerd zou moeten worden.

No-regret maatregelen:

- › Productie alle duurzame brandstoffen/chemicaliën opstarten en stimuleren (hiervoor bestaan al grote markten).
- › Ervaring opdoen met verschillende energiedragers aan boord.
- › Beleid en regelgeving implementeren voor het stimuleren van gebruik van “groene energiedragers”

TRANSITIEPOOR VRAAG EN AANBOD



› INSTRUMENTEN VANUIT OVERHEID

INLEIDING

- › Interventie vanuit de overheid in een markt is gerechtvaardigd als er sprake is van marktfalen, ofwel het tekortschieten van de marktwerking van een goed of dienst waardoor vanuit welvaartsperspectief geen optimum wordt bereikt. In de context van energietransitie voor de zeevaart zijn twee oorzaken van marktfalen relevant:
 1. Er is sprake van *externaliteiten*, ofwel kosten die derden ondervinden van een economische activiteit en die niet in de kostenoverweging worden meegenomen. Specifiek gaat het hier om de kosten van klimaatverandering die niet in de transportprijs voor de scheepvaart wordt meegenomen. Ook bij het ontwikkelen van de oplossingsrichtingen zijn er externaliteiten waarbij rekening moet worden gehouden zoals luchtkwaliteit en veiligheid.
 2. Er is sprake van *onvolledige informatie* tussen verschillende partijen waardoor mogelijk de markt niet automatisch tot stand komt. De energietransitie kent veel verschillende facetten (zoals naar voren komt in dit document) waar bovendien nog veel onbekend is. Voor partijen is het hiermee erg risicovol om in ontwikkeling van duurzaamheidsopties te investeren
- › Overheden kunnen interveniëren via verschillende type instrumenten:
 - › regulering van prijs (minimum of maximum) of kwaliteit (bijvoorbeeld door middel van milieu- of veiligheidsnormen),
 - › het interveniëren via financiële instrumenten (belastingen of subsidies), of
 - › door het aanbieden via een publieke voorziening (zoals het aanleggen en onderhouden van wegen).

› **INSTRUMENTEN VANUIT OVERHEID**

REGULERING EN NORMERING

Regulering en normering van prijs (minimum of maximum) of kwaliteit

- › Normering van een maximale uitstoot (IMO 2030 en 2050 target, Europese Green Deal target, MARPOL Annex VI fuel sulfur limits).
- › Regulering rondom het inzichtelijk maken van de emissieprestatie van scheepsontwerp (EEDI) of operatie (EEOI). Hieraan kunnen normerende doelstellingen gekoppeld worden rondom maximale uitstoot
- › Regulering rondom minimale leveringsverplichting voor gewenste brandstofketens voor brandstofleveranciers (scheepvaart variant voor de RED II). Dit geeft goede sturing op gewenste biobrandstof-ketens (feedstocks), zoals biodiesel, biomethanol, biomethaan of RFNBO (E-fuels). Belangrijke randvoorwaarden hierbij zijn certificering van duurzaamheid bij biobrandstoffen en het aantonen en certificering van hernieuwbaarheid bij e-fuels.
- › Regelgeving rondom certificering en veiligheidseisen voor bunkerprocessen en de scheepsoperatie. Hiervoor kan worden aangesloten bij reeds lopende trajecten en gremia.
- › Normering beschikbaarheid alternatieve brandstoffen in havens (navolging regeling Alternative Fuels Infrastructure Directive voor beschikbaarheid LNG in zeehavens)

› INSTRUMENTEN VANUIT OVERHEID

REGULERING EN NORMERING - RANDVOORWAARDEN

- › Voor effectieve invulling van regulering- en normeringsinstrumenten in de scheepvaart zijn er een aantal randvoorwaarden:
 - › Het middel wordt op internationaal niveau ontwikkeld of ingezet (Europees, IMO). Hiermee wordt voorkomen dat er een ongelijk speelveld ontstaat en wordt verschuiving naar het buitenland voorkomen.
 - › Instrumenten worden langdurig (bijvoorbeeld 20 jaar) vastgesteld. Gezien de lange levensduur van schepen en scheepscomponenten is stabiel beleid zeer belangrijk.
 - › Verschillende stakeholders worden beïnvloed door verschillende instrumenten. Om ketenbreed een verandering te realiseren zal moeten worden ingezet op een mix van verschillende instrumenten.

Stakeholder	Voorbeelden van instrumenten
Brandstofleveranciers	RED type instrument/ FuelEU Maritime
Scheepseigenaren	EEOI/ CII
Scheepsbouwers, aandrijflijnleveranciers	EEDI/ EEXI
Havens, bunkerleveranciers	AFID Type instrument

› INSTRUMENTEN VANUIT OVERHEID

BELASTINGEN EN SUBSIDIES

Beprijzingsmaatregelen:

- › EU Emission Trading Scheme: In september 2020 stemde het Europees Parlement voor het voorstel van de Commissie om de maritieme sector op te nemen in het EU-emissiehandelssysteem vanaf 2023. De prijs voor het verhandelen van een ton CO₂ onder ETS kwam in mei 2021 voor het eerst uit boven de €50. Een hogere ETS prijs leidt tot een kleiner verschil in de kostprijs van fossiele brandstoffen en hernieuwbare varianten.
- › International Maritime Research Fund (IMRF): Rederijverenigingen hebben een voorstel ontwikkeld voor het oprichten van een R&D fonds voor duurzame scheepvaart dat wordt gefinancierd vanuit een toeslag op bunkerbrandstof.

Ondersteuning:

- › Ondersteuning ontwikkeling duurzame brandstofproductie: Diverse programma's ondersteunen de ontwikkeling en uitrol van geavanceerde biobrandstoffen en e-fuels. Dit gebeurt onder meer vanuit Europa (Horizon Europe, CEF) en vanuit nationale middelen (Groeifonds aanvraag "Groenvermogen van Nederland", Topsector Energie, SDE++ regeling voor productie ondersteuning van geavanceerde biobrandstoffen en e-fuels).
- › Innovaties nieuwe aandrijflijnen: Ondersteunen van R&D en het uitvoeren van pilots voor introductie van gebruik van alternatieve energiedragers en aandrijflijnen. Ook hiervoor zijn Europese programma's (Zero Emission Waterborne Transport programma onder Horizon Europe) en nationale programma's.

› INSTRUMENTEN VANUIT OVERHEID

PUBLIEKE VOORZIENINGEN

Voor ontwikkeling van de brandstoftransitie wordt slechts een beperkte rol voor publieke voorzieningen.

- › Launching customership: De overheid kan haar eigen inkoopkracht inzetten voor de ontwikkeling en toepassing van innovaties op het gebied van alternatieve energiedragers in de scheepvaart.
- › Eigen vaartuigen die onder beheer vallen van de Rijksrederij of Defensie: Revisie van bestaande vaartuigen of aanschaf van nieuwe vaartuigen kan worden ingezet om een schip in te zetten als pilot voor inzet van een alternatieve aandrijflijn. Dit wordt voorzien in het Maritieme Masterplan.
- › Aanbesteding nautische diensten: Bij aanbesteding van nautische diensten, zoals baggerwerkzaamheden of bouw van offshore objecten, kan inzet van alternatieve brandstoffen bevorderd worden door dit mee te nemen in de aanbestedingsprijs door hier een MKI-waarde aan te verbinden.