

ROADMAP

Brandstoftransitie in de Zeevaart



COLOFON

Procesregie en penvoerder:
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van
het **ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.**

Inhoudelijke sturing:
**Stuurgroep Roadmap Brandstoftransitie in de
Zeevaart.**

Bij vragen, neem contact op met Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland: 088 0424242

Uitgave juni 2024





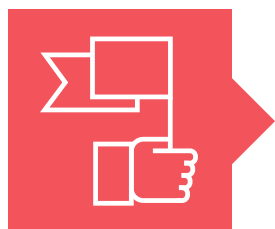
Management Samenvatting

7



1 Waarom deze Roadmap?

15



2 Nederland als koploper naar een klimaatneutrale zeevaart

19

2.1 De ambitie van de Nederlandse sector

20

2.2 Een kansrijke rol voor Nederland

20

2.3 Het doel

22



3 Een analyse van de uitdaging

23

3.1 Wat is momenteel de CO₂-emissie en het brandstofgebruik van de zeevaart en wat is de rol van Nederland hierin?

24

3.2 Wat is de benodigde hoeveelheid alternatieve energiedragers voor de zeevaart in Nederland?

25

3.3 Wat is de huidige stand van zaken van levering van alternatieve energiedragers?

26

3.4 Hoeveel schepen zijn momenteel geschikt voor gebruik van alternatieve energiedragers?

27

3.5 Hoe verhoudt zich de vraag naar alternatieve brandstoffen tot het beschikbare aanbod?

29

3.6 Hoe ziet de bredere context van de brandstoftransitie in de zeevaart eruit?

30

3.7 Wat zijn de verschillende opties voor de zeevaart

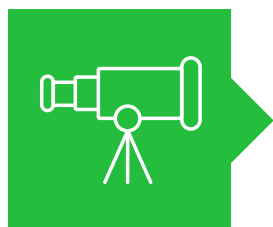
32



4	De complexiteit van de uitdaging ontrafeld, en handelingsperspectieven voor versnelling	37
4.1	De kip-ei impasse	38
4.2	Klimaatgerichte regelgeving	39
4.3	Beschikbaarheid van alternatieve energiedragers	43
4.4	Een business case voor alle partijen in de keten	45
4.5	Handelingsperspectief	48



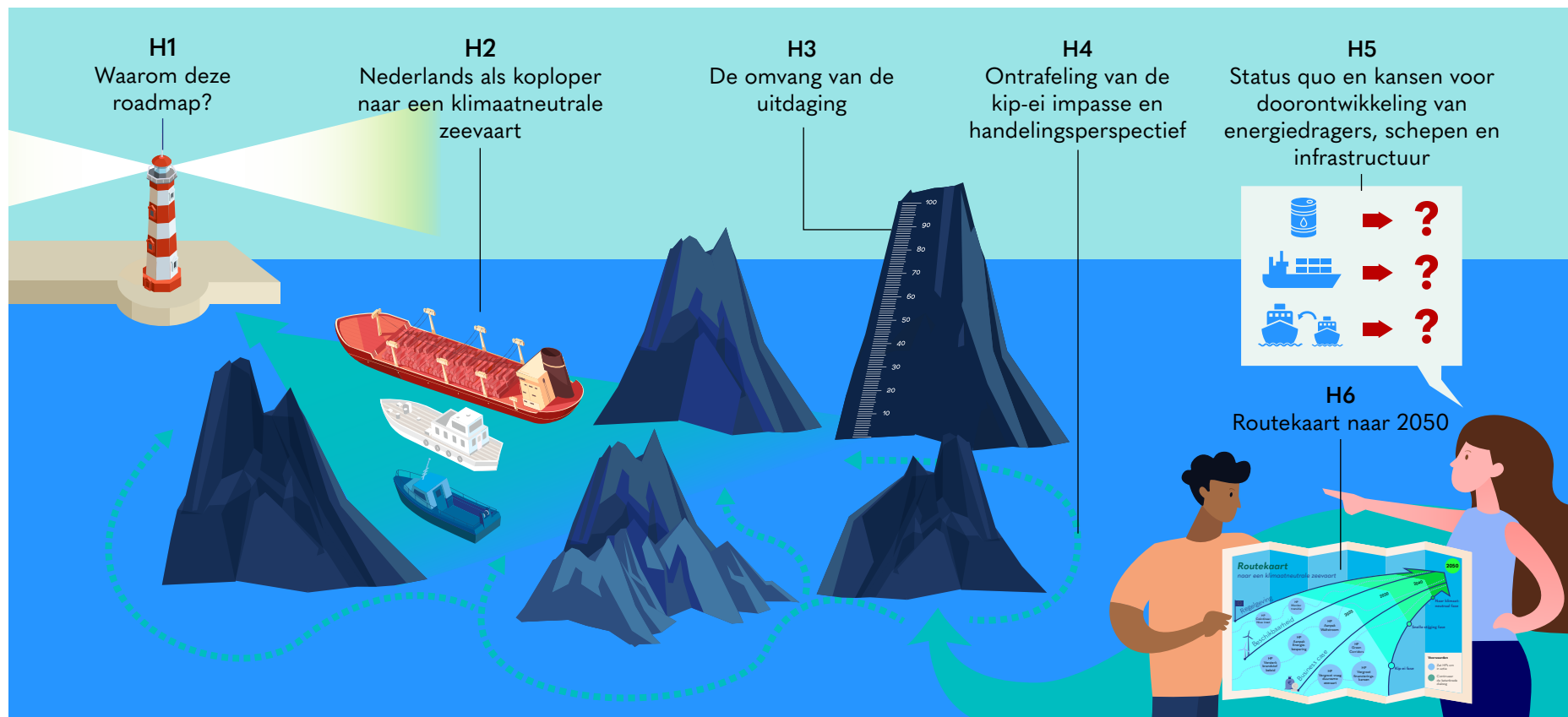
5	Status quo en kansen voor doorontwikkeling van energiedragers, schepen en infrastructuur	55
5.1	Introductie	56
5.2	Alternatieve energiedragers	56
5.3	Duurzame schepen	65
5.4	Energiebesparende maatregelen en CO ₂ reductie op het schip	83
5.5	Bunkerinfrastructuur voor alternatieve energiedragers	91



6	De route naar 2050	95
----------	---------------------------	-----------



Bijlage 1	Begrippenlijst en afkortingen	101
Bijlage 2	Kansentabel alternatieve energiedragers	107
Bijlage 3	Toelichting berekeningen ontwikkeling alternatieve energiedragers	133
Bijlage 4	Internationale beleidskaders	135



LEESWIJZER

Voor u ligt de Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart. In hoofdstuk 1 vindt u de aanleiding voor het opstellen van deze Roadmap. In hoofdstuk 2 staat de gezamenlijke ambitie opgenomen van de partijen die deze Roadmap hebben opgesteld: de markt, kennisinstellingen en de Rijksoverheid. Hoofdstuk 3 bevat een cijfermatige analyse van de opgave waar de zeevaart met de brandstoftransitie voor staat. In hoofdstuk 4 worden drie thema's uitgewerkt die cruciaal zijn voor het succesvolle verloop van de transitie: klimaatgerichte regelgeving, beschikbaarheid van energiedragers, en een business case voor alle partijen in de keten. Ook worden in dit hoofdstuk handelingsperspectieven geschetst, die aanknopingspunten bieden om knelpunten uit de weg

te ruimen en kansen te verzilveren. Hoofdstuk 5 brengt in beeld wat de status quo is in de ontwikkeling van alternatieve energiedragers, schepen en infrastructuur, en waar de mogelijkheden liggen voor doorontwikkeling. Dit hoofdstuk kent een hoger detailniveau dan de rest van de Roadmap. Hoofdstuk 6 omvat tenslotte de route die de Nederlandse marktpartijen, kennisinstellingen en overheid voor ogen heeft, om haar ambities waar te maken en gezamenlijk te versnellen naar een klimaatneutrale zeevaart.



Management Samenvatting

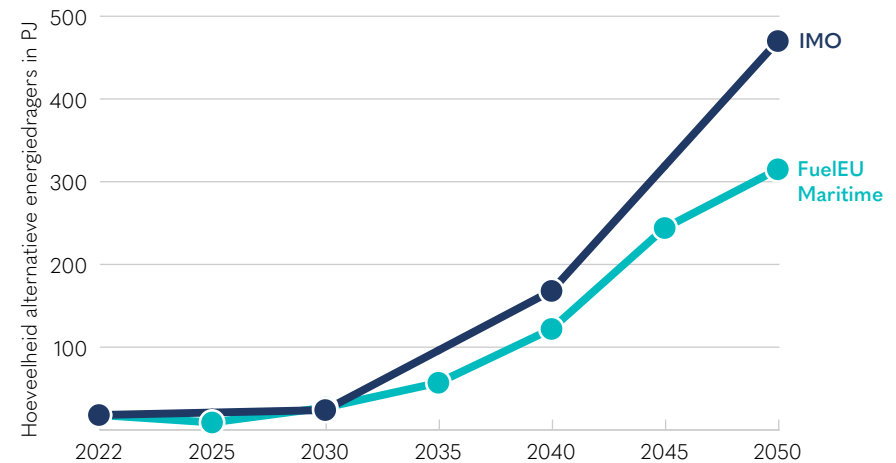


WAAROM DEZE ROADMAP?

Om verdere opwarming van de aarde te voorkomen moet de uitstoot van broeikasgassen omlaag. Dit geldt onverminderd voor de zeevaartsector, die circa 3% van de wereldwijde mens-gerelateerde emissies veroorzaakt. Recentelijk is internationale regelgeving vastgesteld, die het verlagen van uitstoot van de zeevaart moet afdwingen. In lijn met deze internationale eisen heeft Nederland een duidelijke doelstelling: een klimaatneutrale zeevaart in 2050. Zoals Figuur 1 laat zien, is er een snelle toename in het gebruik van alternatieve brandstoffen nodig om deze doelstelling te behalen. Energiebesparing is een belangrijk deel van de oplossing. Dit reduceert de uitstoot van broeikasgassen door een vermindering van het brandstofgebruik. Maar dan nog zullen alle overige volumes conventionele brandstoffen moeten worden vervangen door alternatieve energiedragers om tot een klimaatneutrale zeevaart te komen. Een snelle opschaling van alternatieve energiedragers is dus cruciaal voor de maritieme brandstoftransitie. Om de productie tijdig op gang te brengen, moet er in rap tempo een markt worden gecreëerd van vraag en aanbod. En de tijd is beperkt. Want de eisen uit regelgeving worden vanaf 2030 snel strenger. Bovendien gaan schepen lang mee: wat we nu bouwen bepaalt mede wat er in 2050 vaart. Dit betekent dat we de komende jaren grote stappen moeten zetten, of de klimaatdoelstelling blijft buiten bereik. Tegelijkertijd werken andere sectoren op hoog tempo aan het behalen van hun eigen klimaatdoelen, en leggen daarbij een steeds groter beslag op de schaarse energiedragers. De energie-zekerheid van de zeevaart staat onder druk. Actie vanuit ondernemers, kennisinstellingen en overheid is nu nodig. Doen we niks, dan bestaat er de reële kans dat de zeevaart voor deze brandstoftransitie, een onacceptabel hoge prijs betaalt.

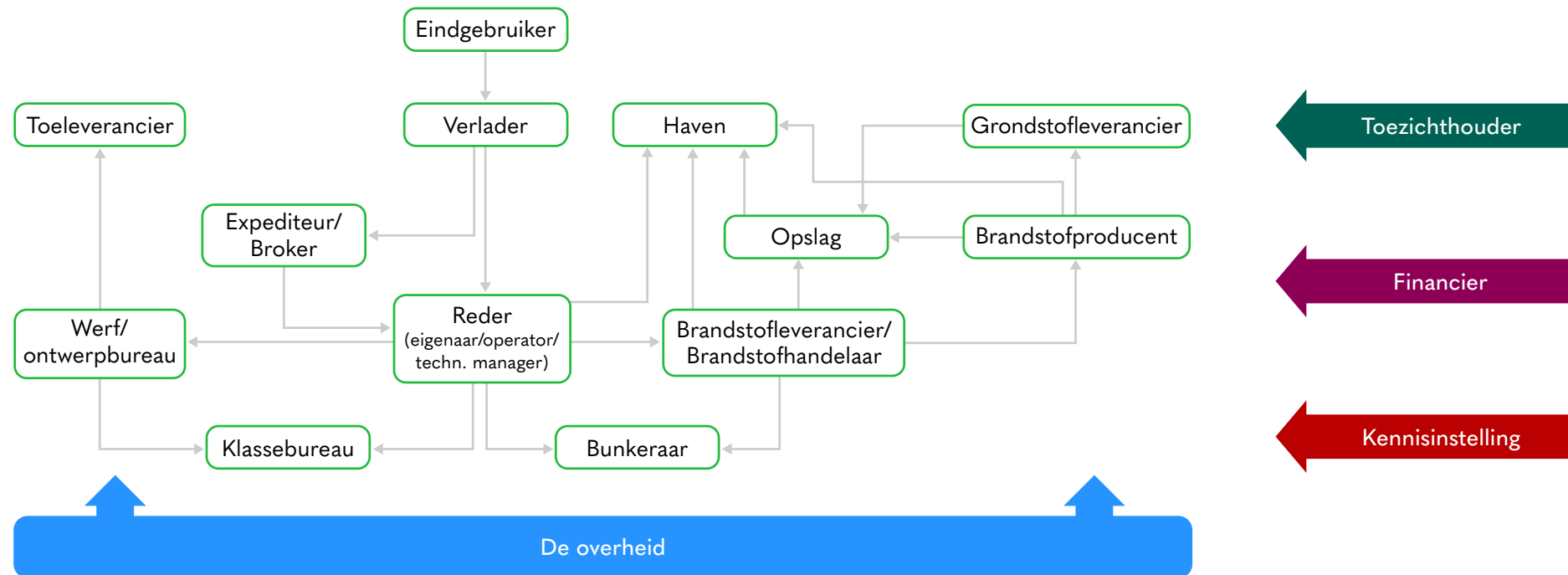


Figuur 1 Benodigde hoeveelheid alternatieve energiedragers in Nederland, met als uitgangspunt de 470 PJ die op dit moment jaarlijks in Nederland gebunkerd wordt. Afgaande op de huidige vastgestelde regelgeving mondiaal (klimaatdoelstelling IMO, blauw) en in Europa (FuelEU Maritime EU, rood). Bron: RVO.



Om de productie van energiedragers snel op te schalen, is het van belang dat het maritieme cluster, de brandstoffenketen en de grondstoffensector samenwerken. Met de ontwikkeling van de Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart heeft deze samenwerking gestalte gekregen. Er is geen ander instrument dat de brug tussen al deze partijen zo vergaand heeft geslagen. In het Roadmap traject is samengewerkt over de gehele breedte van de keten – inclusief havens, verladers en financiers –, en met kennisinstellingen en de Rijksoverheid. Het is deze groep organisaties inclusief de overheid, die wij in dit document “de Nederlandse sector” noemen. En samen staat de Nederlandse sector sterk. Want met de Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart is zij tot een selectie weloverwogen handelingsperspectieven gekomen: Calls to action die aanknopingspunten bieden om knelpunten uit de weg te ruimen en te versnellen. Aan de hand van een uitgebreide methode, stakeholderanalyse en een omvangrijke reeks werksessies zijn deze geïdentificeerd. Zodat de brandstoftransitie de zeevaart niet de kop kost, maar juist het verdienvermogen en de concurrentiepositie van ons bedrijfsleven versterkt. Want Nederlandse ondernemers zien volop kansen in de transitie. Laten we die verzilveren. Inzet op de geïdentificeerde handelingsperspectieven heeft het komende jaar voor alle betrokken partijen de hoogste prioriteit.

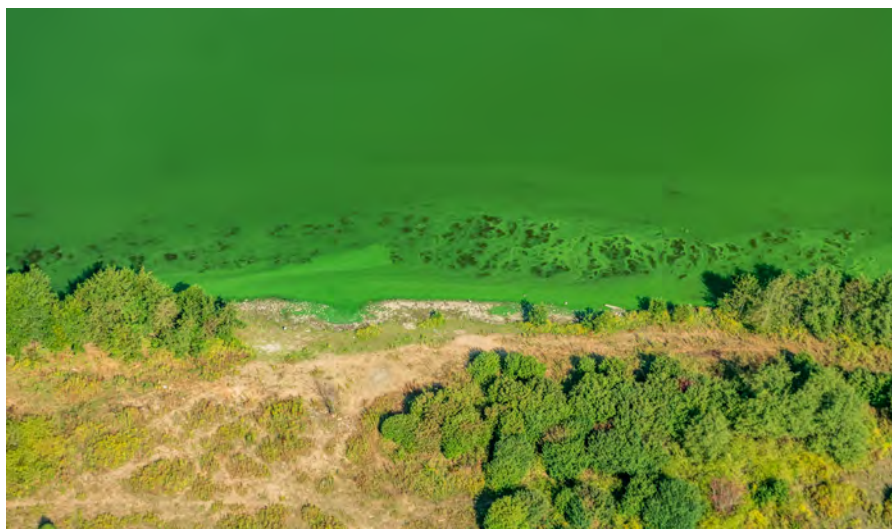
Figuur 2 Een schematische weergave van de waardeketens in de brandstoftransitie van de zeevaart. Pijlen gaan in de richting van geldstromen. Al deze organisaties gezamenlijk noemen wij in deze Roadmap: "de Nederlandse sector".



DE AMBITIE VAN NEDERLAND

De Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart omvat de visie van de Nederlandse sector op de internationale klimaatopgave van de zeevaart. En de ambitie die de sector heeft, is duidelijk: Daar waar mogelijk binnen de internationale kaders, kan en wil Nederland koploper zijn in de transitie. Met als doel: een klimaatneutrale zeevaart in 2050. Niet alleen als het gaat om de verduurzaming van de Nederlandse vloot. Maar ook als het gaat om de schepen die we bouwen, de energiedragers die we produceren en de energiedragers die we leveren aan de zeevaart. Want al deze ontwikkelingen zijn nodig om de transitie te kunnen voltrekken. De scope van de Roadmap is dan ook breed. Deze focust zich op de internationale bunker- en brandstoffenmarkt enerzijds, en

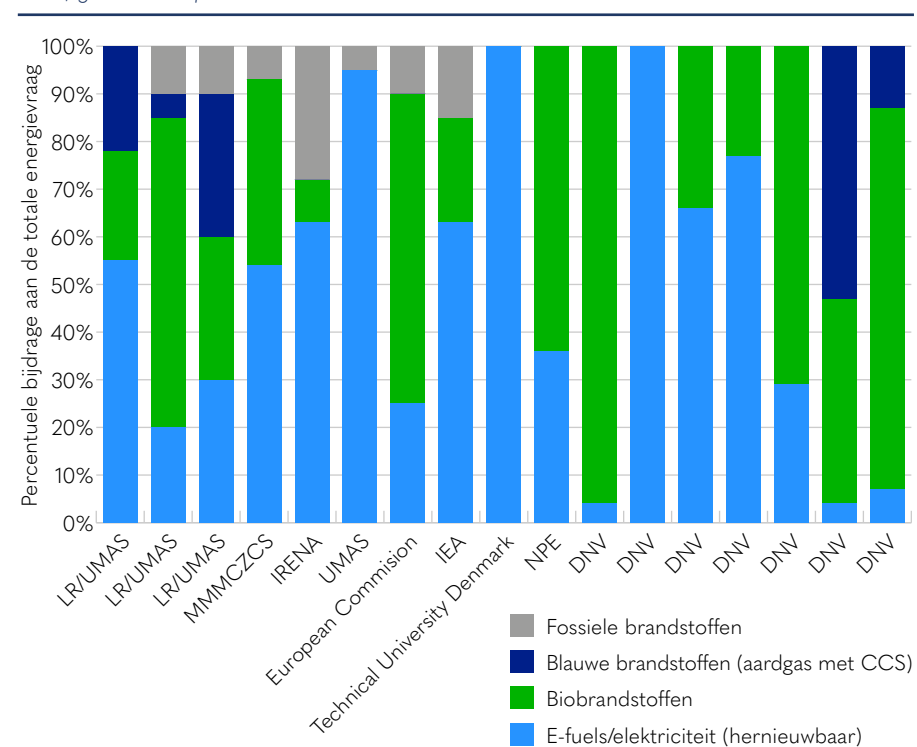
de Nederlandse vloot en maakindustrie anderzijds. Wringt dat? Nee. Ze versterken elkaar. Want waar het maritieme ecosysteem van specialistische niches als de offshore scheepvaart, zich uitstekend leent voor pilots en eerste vraagontwikkeling, biedt onze bunker- en brandstoffenindustrie de mogelijkheid om technieken en energiedragers op te schalen en internationaal uit te rollen. Hiermee ziet Nederland zich in een unieke positie om de transitie te versnellen. Door in te zetten op verduurzaming van strategische niches in samenhang met de hele keten, inclusief havengebieden, brandstofproducenten en leveranciers, kan Nederland haar concurrentievermogen vergroten.



PROBLEEMDEFINITIE

Het bedrijfsleven vraagt om houvast en richting. Hoe zal de brandstofmix van de zeevaart zich ontwikkelen tussen nu en 2050? En welke technieken zullen hierbij een rol spelen? Ondanks een belangrijke bijdrage door energiebesparing, zal het internationale instrumentarium de komende decennia een enorme groei van alternatieve energiedragers vragen als vervanging van de conventionele scheepsbrandstoffen. Als we nu niet starten met het opschalen van de brandstofproductie, zijn deze volumes straks onvoldoende beschikbaar of onbetaalbaar. Investerings moeten nu loskomen, en daarvoor is lange termijn zekerheid nodig. Maar met de kennis van nu duidelijkheid bieden over de rol van energiedragers en technieken richting 2050, is maar beperkt mogelijk. De Nederlandse sector verwacht niet dat er één winnende *fuel of the future* zal zijn. Waarschijnlijker is het dat de brandstofmix van de zeevaart zal bestaan uit een combinatie van verschillende opties. Ten eerste, vanwege de toenemende vraag om hernieuwbare elektriciteit en biograndstoffen in andere sectoren. Deze concurrentie maakt dat er serieus zal moeten worden gekeken naar het hele palet aan brandstofopties voor de zeevaart. En ten tweede, omdat de zeevaart uitermate divers van aard is. Scheepstypes laten zich niet eenduidig karakteriseren – niet qua omvang en ontwerp, en ook niet qua operationele eisen. Verduurzaming van zeeschepen is daarom elke keer maatwerk, en een standaardoplossing is nauwelijks te vinden.

Figuur 3 Verdeling van biobrandstoffen, e-fuels, blauwe brandstoffen en fossiele brandstoffen in 2050, gebaseerd op een selectie aan scenariostudies. Bron: RVO.

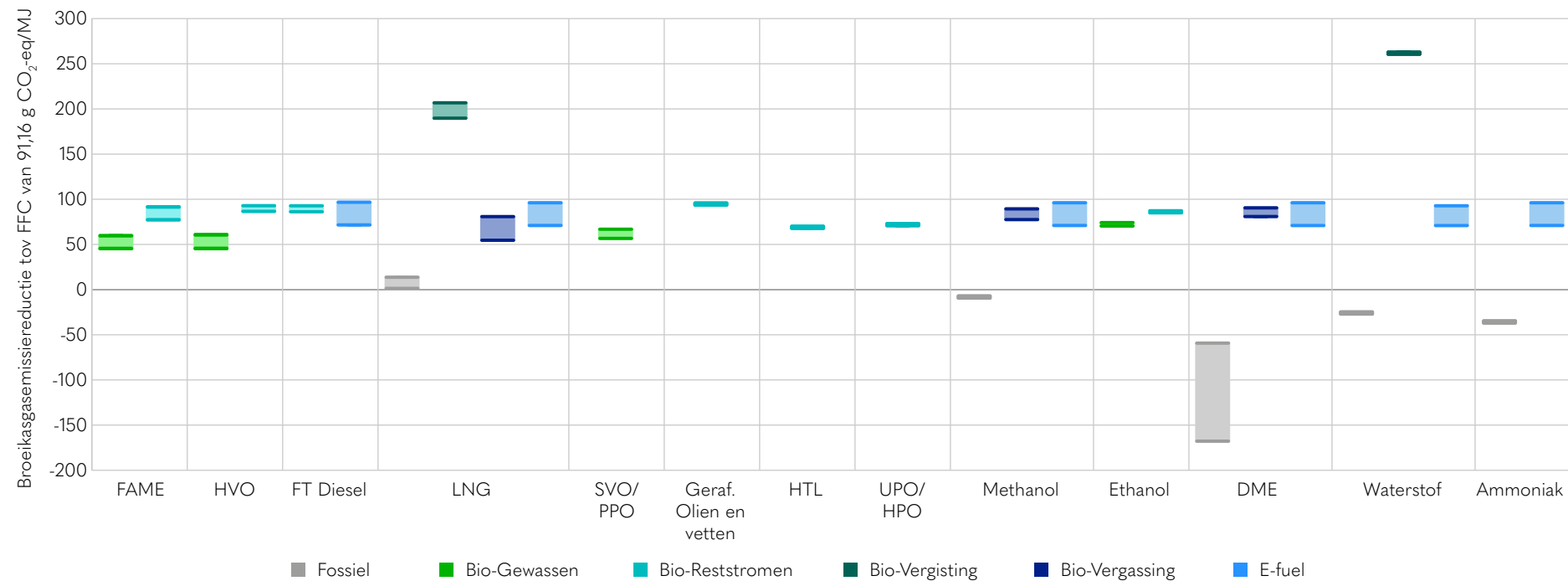


Welke energiedragers een rol zullen spelen in de uiteindelijke mix van energiedragers, en hoe die zich tot elkaar verhouden, valt nauwelijks in te schatten. Legio scenariostudies wijzen uit dat de onzekerheden té groot zijn om hier een eenduidige uitspraak over te doen (zie Figuur 3). Kan de Nederlandse overheid dan een keuze maken en sturen op een specifieke energiedrager of techniek? Nee, want de verduurzaming van de zeevaart is sterk onderhevig aan internationale ontwikkelingen en trends. Als Nederland voor A kiest, terwijl de rest van de wereld voor B kiest, is dat desastreuus. Directe elektrische aandrijving heeft vanuit klimaat oogpunt de voorkeur door de hoge ketenefficiëntie, mits grotendeels opgewekt uit hernieuwbare bronnen. Maar elektrificering is maar beperkt toepasbaar in de zeevaart. Meestal zal worden teruggegrepen op één van de vele mogelijke alternatieve brandstoffen. Hier is een breed palet aan opties denkbaar die allen hun voor- en nadelen kennen, en hun beperkingen in toe-

passingsbereik. Door de tijd heen kunnen er bovendien verschuivingen plaatsvinden naar energiedragers met een hogere reductie van broeikasgasemissies, naarmate

regelgeving strenger wordt. In Figuur 4 staat het CO₂ reducerend vermogen van verschillende alternatieve brandstoffen opgenomen.

Figuur 4 Well-To-Wake reductie van broeikasgasemissies voor verschillende typen brandstoffen, op basis van waarden uit FuelEU Maritime en de RED. De waarden kunnen in de praktijk hoger uitvallen, met name bij biobrandstoffen uit gewassen. Voor hernieuwbare e-fuels is als ondergrens 70% gehanteerd conform hun minimale broeikasgasreductie-eis in de RED. Negatieve percentages betekenen meer uitstoot van broeikasgassen dan conventionele scheepsbrandstoffen. Bron: RVO.



En de complexiteit van de transitie reikt verder dan de keuze voor energiedrager. Want de **beschikbaarheid** en **betaalbaarheid** van praktisch elke alternatieve energiedrager staat onder druk. De zeevaart heeft altijd weinig betaald voor haar brandstoffen. Zoals blijkt uit Figuur 5 liggen de huidige productiekosten van alternatieve brandstoffen vaak significant hoger, dan die van conventionele scheepsbrandstoffen. Internationale regelgeving die inwerkt op vraag en aanbod, is cruciaal om een regelgevingsomgeving te creëren waarin het prijsgat door de markt wordt geabsorbeerd, en om de kip-ei

impasse van vraag en aanbod te doorbreken. Regelgevende kaders zijn op dit moment nog onvoldoende effectief. Dit betekent dat duurzame zeevaartprojecten vaak niet van de grond komen. De onzekere prijsontwikkeling van alternatieve energiedragers is op dit moment funest voor de business case. Dit speelt niet alleen de bouw en exploitatie van duurzame schepen parten, maar als gevolg daarvan ook activiteiten elders in de keten. Bijvoorbeeld de realisatie van productiefaciliteiten, investeringen in infrastructuur en technologieontwikkeling van aandrijflijnen.

Internationale klimaatgerichte regelgeving is dus essentieel. Het feit dat nationale overheden maar beperkt invloed hebben op de internationale spelregels, vormt dan ook een belangrijke uitdaging. Bovendien moet de Nederlandse overheid vaak een vertaalslag maken van internationale kaders naar Nederlandse wetgeving. Dit zorgt voor extra complexiteit, met name wanneer de precieze invulling van internationale regels aan individuele lidstaten wordt overgelaten en er verschillen tussen landen kunnen ontstaan. Veranderingen in- en onduidelijkheid over nationale en internationale regelgeving kunnen een belemmering vormen voor investeringen, met name in de grondstoffen- en brandstoffensector. Tegelijkertijd zijn er ook voorbeelden van regelgeving die investeringen faciliteren. Denk aan beprijzing van broeikasgasemissies en stimulerend beleid voor overbrugging van de onrendabele top. En investeringen zijn hard nodig. Bijvoorbeeld om grondstoffenketens te mobiliseren en fabrieken neer te zetten voor de productie van biobrandstoffen. Om voldoende hernieuwbare elektriciteit te produceren uit wind en zon. En om elektrolyzers te bouwen en voldoende capaciteit te realiseren op het net.

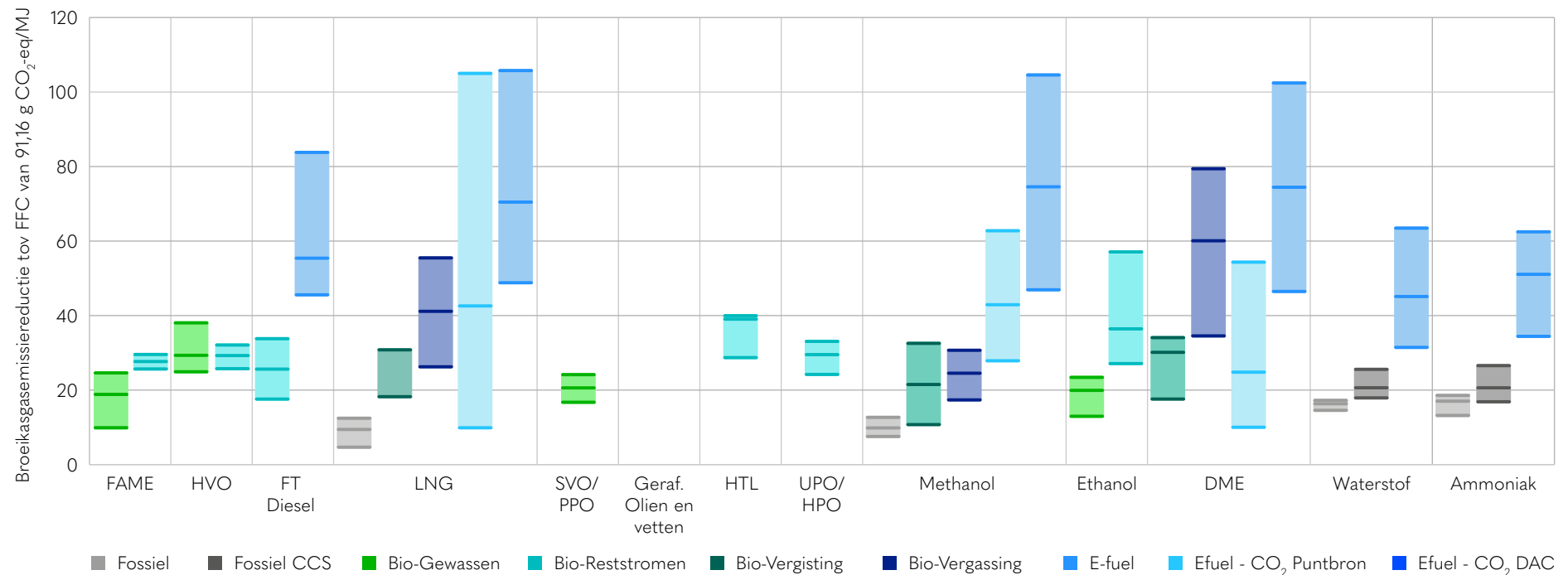
Maar komen investeringen voldoende los? Zolang een mondiaal gelijk speelveld ontbreekt, kunnen bedrijven de meerkosten van duurzame zeevaart niet zonder meer doorberekenen aan de klant zonder aan concurrentiepositie in te boeten. En een vrijwillige vraag naar duurzame maritieme diensten bestaat er nauwelijks. Publieke aanbestedingen sturen onvoldoende aan op verduurzaming. En ook vanuit de markt is er beperkte inzet op duurzaam zeetransport. Want hoewel veel bedrijven nu of binnenkort te maken krijgen met een Europese rapportageverplichting voor broeikasgasemissies over hun gehele keten, is het terugdringen van die emissies nog vrijblijvend. Daar waar de wens om te verduurzamen wél voldoende aanwezig is, werkt een gebrekkige transparantie in de logistieke keten belemmerend bij het doorberekenen van meerkosten aan de consument. Dit wordt versterkt door de sterke fragmentatie in de maritieme logistieke keten. Bovendien zijn mechanismes die het huidige gat in de business case kunnen opvangen, al dan niet financieel van aard, nog maar beperkt ontwikkeld. En arbeidskrachten die de nieuwe brandstoffen en technieken moeten ontwikkelen en toepassen zijn schaars.

Samengevat stuurt internationale regelgeving aan op verdere verduurzaming van de zeevaartsector. Ondernemers zijn de sleutel tot succes. Het bedrijfsleven ziet ook grote kansen in de transitie, bijvoorbeeld binnen de maakindustrie van innovatieve maritieme technologieën, het bunker- en opslagwezen en in de brandstofproductiesector. Het is zaak om deze kansen voor Nederlandse innovatie te verzilveren. Maar ondernemers hebben te maken met een groot aantal onzekerheden, die maken dat investeringen vaak achterblijven. Relevant zijn onder meer onzekerheden over de rol

van energiedragers en technieken in de transitie, over ontwikkelingen en veranderingen in nationaal en internationaal beleid, en over de beschikbaarheid en prijs van energiedragers. Hierdoor kunnen investeringsbeslissingen niet worden genomen. Zonder aanvullende actie hapert de transitie. En dat heeft direct zijn weerslag op Nederlandse ondernemers, omdat zij het risico lopen om niet compliant te kunnen zijn. En omdat zij de kansen die de transitie biedt, en die elders in de wereld wél gegrepen worden, dan in Nederland niet kunnen verzilveren.



Figuur 5 Huidige productiekosten van alternatieve energiedragers (€/GJ) met bandbreedte en gemiddelde waarde. Daarnaast conventionele scheepsbrandstoffen VLSFO in rood, en MGO in blauw. Productiekosten op basis van bestaande literatuur; voor fossiele VLSFO, MGO, LNG en methanol marktprijzen begin februari 2024. Bron: RVO.



Wat is het handelingsperspectief van Nederlandse partijen?

Met het oog op bovenstaande probleemdefinitie, is door de Nederlandse sector (ondernemers, overheid en kennisinstellingen) gezamenlijk een focus vastgesteld voor deze Roadmap. Met inachtneming van de complexiteit van de transitie, spitst deze Roadmap zich in hoofdzaak toe op drie cruciale thema's: klimaatgerichte regelgeving, beschikbaarheid van alternatieve energiedragers, en een business case voor alle partijen in de keten. Op deze drie thema's zijn door de betrokken partijen handelingsperspectieven geformuleerd die aanknopingspunten bieden om knelpunten uit de weg te ruimen en kansen te verzilveren. Deze handelingsperspectieven dienen omgezet te worden in actie, om regie te kunnen pakken in de transitie. De belangrijkste handelingsperspectieven die in 2024 vormgegeven dienen te worden zijn:

Klimaatgerichte regelgeving

- Intensiveer de coördinatie van de Nederlandse inzet op het internationale toneel, zowel vanuit de overheid als vanuit de sector. Het gaat hier om inzet in de regelgevende instanties zoals de IMO en de EU, maar ook om inzet in private en publiek-private samenwerkingsverbanden en overlegorganen.
- Ontwikkel een monitor van de transitie. Verken hoe deze het beste ontsloten kan worden zodat monitoringsdata voor iedereen beschikbaar is, bijvoorbeeld middels een dashboard. Transparantie en communicatie over de staat van de transitie en de *total cost of ownership* van verschillende energiedragers en technieken, is essentieel voor ondernemers die keuzes moeten maken en voor overheden in de ontwikkeling van beleid. In samenhang met monitoring kan vanuit deze Roadmap toegewerkt worden naar een periodieke update van inzichten en een concrete actie-agenda.

Beschikbaarheid van alternatieve energiedragers

- Versterk het Nederlandse grondstoffen- en brandstoffenbeleid, en zorg voor een heldere Nederlandse sturing op internationale brandstof-gerelateerde regelgeving. Helder en stabiel beleid is een randvoorwaarde om de beschikbaarheid en betaalbaarheid van energiedragers op te krikken. Hiervoor is niet alleen de inzet van de overheid, maar ook die van de industrie essentieel.
- Organiseer een aanpak voor de ontwikkeling en toepassing van energiebesparende maatregelen op het schip en in de keten. Energiebesparing is cruciaal voor het behalen van de klimaatdoelen. Onmisbaar hiervoor is samenwerking tussen ketenpartners om risico's te verdelen voor de ontwikkeling, installatie en toepassing van innovaties.
- Creëer een adequate aanpak rondom walstroom en laadvoorzieningen voor elektrisch varen. Om te borgen dat de elektriciteitsvoorziening voor zeeschepen op tijd op orde komt, is inzet nodig op uitbreiding van de netcapaciteit, congestie-management op decentraal niveau en een goede integratie van zeevaart bij de Nationale Agenda Laadinfrastructuur. Daarnaast is een heldere verdeling nodig van onderlinge verantwoordelijkheden, binnen het complexe speelveld van betrokken ondernemers en overheden.

Business case voor alle partijen in de keten

- Vergroot de vraag naar duurzame maritieme diensten. Dit kan enerzijds door marktpartijen door actiever op duurzaam transport te sturen, en anderzijds door verbetering van publieke tenderprocedures. Publieke en private partijen kunnen daarnaast samenwerken om de kansen die rapportageverplichtingen voor bedrijven met zich meebrengen, te benutten.
- Vergroot de financieringskansen van innovatieve projecten. Samenwerking in de keten is hierbij essentieel, waarbij de meerkosten en risico's verdeeld worden en alle schakels hun verantwoordelijkheid nemen om hier gezamenlijk in te dragen. Daarnaast moet onderzoek uitwijzen hoe prijsdemping voor energiedragers, innovatieve financieringsvormen en de-riskingsmechanismes voor investeringen kunnen bijdragen aan een business case voor de afbouw van fossiel en de inzet op alternatieve energiedragers.
- Werk samen over de keten om nu al broeikasgasemissies in de zeevaart te reduceren, bijvoorbeeld via Green Corridors. Benut hierbij optimaal het versterkende potentieel van de specialistische Nederlandse maritieme niches enerzijds, en de relevante internationale bunker- en productiepositie anderzijds.

Nederland als koploper naar een klimaatneutrale zeevaart

Bovenstaande handelingsperspectieven moeten worden omgezet in acties, wil de Nederlandse sector de kansen van de transitie kunnen verzilveren. **Spoedige opvolging van deze handelingsperspectieven** is essentieel om het vlieg wiel gaande te houden. En **continuering van de ketenbrede dialoog** is daarbij een cruciale randvoorwaarde. Om een koplopersrol te pakken en te excelleren in leiderschap, is een ketenbrede samenwerking cruciaal. Het ontwikkeltraject van de Roadmap heeft deze samenwerking vormgegeven en biedt de basis voor de volgende stap, in nauwe samenwerking met onder meer de sectoragenda maritieme maakindustrie, de Europese Green Deal en haar participatie in de IMO.

De Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart vormt een gezamenlijk en sectorbreed startpunt in de klimaatopgave van de zeevaart. Een 25 jarig traject dat de sector gezamenlijk ingaat. Niemand kan in de toekomst kijken. Technologische vooruitgang, ontwikkelingen in andere sectoren, geopolitieke beslissingen – er zal zich de komende jaren van alles voltrekken waar de effecten zich moeilijk van laten voorspellen. Met precisie aangeven wat er tussen nu en 2050 moet gebeuren om de brandstoftransitie in de zeevaart te laten slagen, is een utopie. Maar wat wel kan, en wat ook móét, is: gezamenlijk optreden, proactief handelen, effecten monitoren en waar nodig bijsturen. De Nederlandse sector heeft met deze Roadmap een duidelijke ambitie neergezet. Koploper in de transitie naar klimaatneutraliteit. De manier waarop de sector dat voor elkaar wil krijgen, is door sterke en continue inzet op bovenstaande lijnen. Waar in het in de kern op neer komt? Afspraken maken, onderzoek doen, en bovenal: samenwerken over de volle breedte van de keten. Tussen ondernemers, kennisinstellingen én de overheid. Want een transitie als deze doorlopen, dat doe je niet alleen.

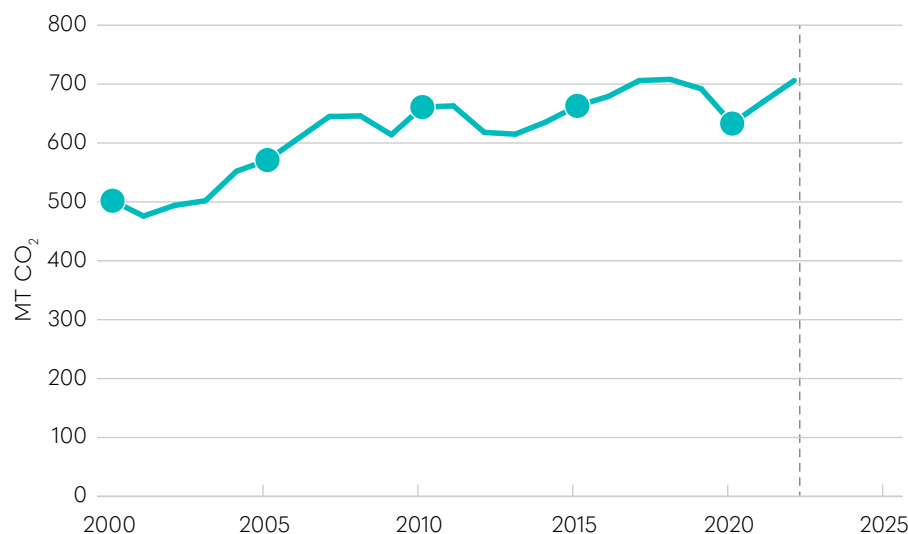
1

Waarom deze
Roadmap?



De druk op de zeevaartsector om verder te verduurzamen groeit. De uitstoot van broeikasgassen door zeeschepen is op het historisch hoogste punt, en zonder maatregelen zal deze hoogstwaarschijnlijk alleen maar verder stijgen. Daarom zijn in internationaal verband afspraken gemaakt om de uitstoot in de zeevaart terug te dringen. Want de zeevaartsector kan niet achterblijven in de mondiale verduurzamingsopgave. Het verbeteren van de klimaatprestaties van de zeevaart is een urgent en complex doel.

Figuur 6 CO₂ emissies van de internationale zeevaart. Bron: IEA¹.



Een klimaatneutrale zeevaart in 2050. Dit is de doelstelling van de Nederlandse sector. Een vergelijkbare doelstelling heeft de International Maritime Organisation (IMO) in de zomer van 2023 vastgelegd voor de mondiale zeevaart. Niet eerder zijn op wereldschaal zulke ambitieuze doelen vastgelegd voor de verduurzaming van een sector. De omschakeling van conventionele naar alternatieve energiedragers in de zeevaart is met recht een transitieopgave te noemen, die de komende decennia relevant zal blijven.

Waarom deze roadmap? Om de klimaatdoelen te halen moeten nieuwe technieken en alternatieve energiedragers in rap tempo worden doorontwikkeld en opgeschaald. Ondernemers moeten en willen innoveren. Dit brengt kansen met zich mee voor de Nederlandse sector, maar ook uitdagingen. Want de business case voor innovatieve projecten is vaak nog niet sluitend. Hoe zorgen we ervoor dat ondernemers de kansen die deze internationale transitie met zich meebrengt, kunnen verzilveren? En dat de zeevaartsector straks kan beschikken over voldoende alternatieve energiedragers en technieken, tegen een betaalbare prijs? Het antwoord op deze vragen ligt verscholen in een complex samenspel van betrokken actoren. De Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart heeft deze partijen bij elkaar gebracht.

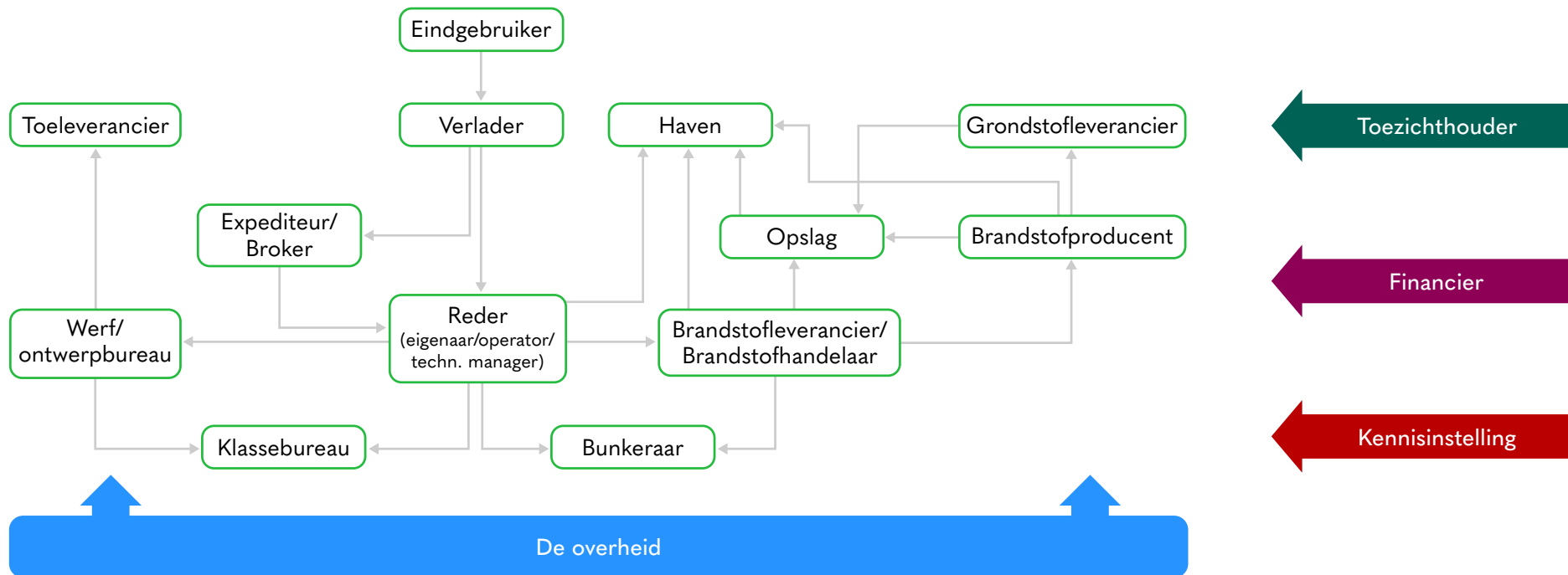
Samenwerking is cruciaal. Voor een snelle opschaling van alternatieve energiedragers is het essentieel dat het maritieme cluster, de brandstoffenketen en de grondstofsector samenwerken. In de ontwikkeling van de Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart heeft de samenwerking tussen deze sectoren intensief gestalte gekregen. Er is geen ander instrument dat deze brug zo vergaand heeft geslagen. Ook het gezamenlijk rondkrijgen van de business case in de logistieke keten vragen onmiddellijke aandacht en actie. In het Roadmap traject hebben is dan ook samengewerkt over de gehele breedte van de keten – inclusief havens, verladere en financiers -, en samen met kennisinstellingen en de Rijksoverheid. Het is deze groep organisaties inclusief de Rijksoverheid, die wij in dit document “de Nederlandse sector” noemen. En samen staat de Nederlandse sector sterk. Want met de Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart heeft zij geïdentificeerd welke vervolgstappen nu met spoed gezet moeten worden, om de noodzakelijke opschaling en inzet van energiedragers en technieken voor elkaar te krijgen.

De maritieme sector staat niet stil. De Roadmap is dan ook niet het enige initiatief op het gebied van de klimaatopgave van de zeevaart. Denk aan de sectoragenda maritieme maakindustrie, het daarop volgende Rijksregiebureau Maritieme Maakindustrie en het Maritiem Masterplan. Met deze initiatieven worden er in het maritieme cluster stappen gezet tot betere coördinatie van inzet voor een concurrerende en duurzame zeevaart en maritieme industrie. De Roadmap trekt de samenwerking breder. Door het maritieme cluster te verbinden met enkele minstens zo belangrijke ketens voor de transitie: De brandstoffensector, het havenwezen, de verladere en vele anderen. Een sectorbrede samenwerking die onmisbaar is voor een succesvol verloop van de transitie. De Roadmap bundelt de expertise en perspectieven van verschillende sectoren en bouwt voort op wat er al aan jarenlange ervaring en kennis in de sector ligt.

¹ Website IEA: [International shipping - IEA](#)

1

Figuur 7 Een schematische weergave van de waardeketens in de brandstoftransitie van de zeevaart. Pijlen gaan in de richting van geldstromen. Al deze organisaties gezamenlijk noemen wij in deze Roadmap: "de Nederlandse sector".





“Daar waar mogelijk binnen de internationale kaders, kan en wil Nederland koploper zijn in de transitie naar een klimaatneutrale zeevaart.”

2

Nederland als
koploper naar een
klimaatneutrale
zeevaart



2.1 DE AMBITIE VAN DE NEDERLANDSE SECTOR

De zeevaartsector staat voor een belangrijke uitdaging. De komende dertig jaar zal deze de transitie moeten maken van een sterk fossiel afhankelijke industrie naar een klimaatneutrale sector. De Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart omvat de visie van de Nederlandse sector op deze internationale opgave (zie kader). Vanuit verschillende partijen in de sector klonk daarbij een duidelijk geluid: Daar waar mogelijk binnen de internationale kaders, kan en wil Nederland koploper zijn in de transitie naar een klimaatneutrale zeevaart.

Zowel de zeevaartsector, de brandstofproductiesector als de bunkermarkt zijn bij uitstek internationaal van aard. Regelgeving voor de zeevaart wordt grotendeels opgesteld in internationaal verband en mondiale trends schetsen de kaders waarbinnen de brandstoftransitie in de zeevaart zich ontwikkelt. Nederlandse partijen moeten zich positioneren binnen dit internationale speelveld. En zij kunnen hier wel degelijk een actieve rol spelen. Waarom? Omdat Nederland een belangrijke speler is op het maritieme wereldtoneel. Onze maritieme maakindustrie bouwt schepen voor een breed scala aan internationale afnemers, onze reders opereren wereldwijd, en met onze zeehavens hebben wij één van de grootste bunkerposities ter wereld in handen. Bovendien heeft Nederland een sterke kennispositie, met kennisinstellingen van het hoogste niveau die aan partijen en overheden over de hele wereld hun diensten leveren. De Nederlandse positie in de internationale maritieme- en brandstoffensector biedt ons de mogelijkheid én de verantwoordelijkheid om positie te kiezen in deze transitie; om vaart te maken en onze nek uit te steken voor een versnelde route naar een klimaatneutrale en sterke maritieme sector.

En onze nek uitsteken, dat is nodig. Want de uitdagingen die de sector met de brandstoftransitie op zich af ziet komen, reiken verder dan het behalen van de klimaatdoelen. In een context van een brede mondiale energietransitie zal de zeevaart alles op alles moeten zetten om aanspraak te kunnen maken op de juiste brandstoffen, tegen een betaalbare prijs. De totale huidige energievraag van de zeevaart ligt rond de 280 Mtoe per jaar, en bijna 100% daarvan wordt op dit moment ingevuld met fossiele brandstoffen². Daarmee veroorzaakt de zeevaart ca. 2,5 tot 3% van de wereldwijde CO₂-emissies. Het optimaliseren van de energie-efficiëntie van de vloot kan bijdragen aan het reduceren van de energievraag. Daarom zet Nederland, complementair aan een overstap op klimaatneutrale brandstoffen, in op energiebesparende maatregelen

² DNV (2023): Maritime forecast to 2050. Figuur 1-1 en 1-4. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)

als onmisbaar onderdeel van de transitie naar klimaatneutraliteit. Desondanks zullen in de toekomst relevante volumes fossiele scheepsbrandstoffen moeten worden vervangen door duurzame alternatieven. En dit in de context van een mondiale klimaatopgave, waarin andere sectoren als luchtvaart, wegtransport en industrie zullen concurreren om de schaarse hernieuwbare alternatieven. Met stookolie als brandstof heeft de zeevaart lange tijd een lage brandstofprijs betaald ten opzichte van andere sectoren en bovendien zonder concurrentie. Dat gaat veranderen. De energiezekerheid van de zeevaart staat onder druk. Opschaling van alternatieve energiedragers voor de zeevaart is daarmee een urgente uitdaging, en één van de hoofdthema's in de Roadmap. Met een huidig bunkervolume dat overeenkomt met ca 470 PJ³ – zo'n kwart van het bunkervolume van Europa – is Nederland een relevante stakeholder in de internationale brandstoftransitie. Door koploperschap te pakken waar mogelijk, kan Nederland de transitie versnellen en zich sterk maken voor een duurzame en sterke zeevaartsector.

2.2 EEN KANSRIJKE ROL VOOR NEDERLAND

Ook Nederland zelf is gebaat bij een koplopersrol in de transitie. Ruim 6,5% van het Nederlandse BBP en 5,5% van de werkgelegenheid dankt Nederland aan het haven- en maritieme cluster⁴. De positie van het cluster is sterk, maar staat nu wel stevig onder druk. Dit gebeurt onder meer door concurrentie met bedrijven buiten Europa, met name China. Deze concurrentie speelt zich af in de maritieme maakindustrie en de rederijen. Ook de positie van Nederland als grote bunkermarkt kan door veranderende handelsstromen, maar ook door verandering van productielocaties van alternatieve brandstoffen snel veranderen. Onderzoek van het Haags Centrum voor Strategische Studies laat zien dat een sterke nationale maritieme sector noodzakelijk is om de belangen van Nederland als soevereine staat te kunnen beschermen en een waardevolle bijdrage te kunnen leveren aan Europese open strategische autonomie en economische weerbaarheid. Hiermee worden ongewenste afhankelijkheden van landen buiten Europa teruggedrongen. Een koplopersrol verzekert Nederland van een sterke concurrentiepositie, nu en in de toekomst.

³ Afgeleid uit PBL (2022): Klimaat- en Energieverkenning 2022. [Klimaat- en energieverkenning 2022 | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](#)

⁴ Maritieme-, Arbeidsmarkt- en Haven Monitor 2022. [Maritieme, Arbeidsmarkt en Haven Monitor 2022 - Nederland Maritiem Land](#)

In hoeverre bevindt Nederland zich al in deze kopgroep? Het antwoord op deze vraag is niet makkelijk in cijfers uit te drukken. Maar op verschillende cruciale punten beweegt Nederland zich zonder twijfel in de voorhoede. Zo is er in weinig andere landen een vergelijkbaar groot cluster aanwezig dat zich bezig houdt met de productie en levering van biobrandstoffen aan de zeevaart⁵. Vanuit de maakindustrie is Nederland koploper als het gaat om ontwerp en bouw van specialistische schepen en systemen voor aanleg en onderhoud van havens, vaarwegen, offshore infrastructuur en veiligheid op zee⁶. En middels Green Corridors zetten Nederlandse partijen concrete stappen in de transitie, onderschreven door onze ondertekening van de internationale Clydebank Declaration for Green Shipping Corridors⁷.

Nederlandse bedrijven zijn bij uitstek innovatief van aard en in grote mate ingesteld op samenwerking. Beide eigenschappen zijn essentieel in een transitie als deze. Dat onze scheepsbouwers en reders innovatief zijn en samenwerken, wordt geïllustreerd door het Maritiem Masterplan⁸ waarvan de aanvraag medio 2023 is toegekend door het Nationaal Groeifonds. De sterke inzet van het maritieme maakcluster blijkt daarnaast uit de sectoragenda maritieme maakindustrie⁷, die in 2023 is opgesteld. Ook de Nederlandse havens zijn actief in de klimaattransitie middels sterke internationale samenwerking, infrastructurele projecten en de ontwikkeling van een internationaal geharmoniseerd vocabulaire om het bunkeren van alternatieve energiedragers in de havens mogelijk te maken, middels de Port Readiness Levels. Het Rotterdamse raffinagecluster heeft de potentie om zich door te ontwikkelen tot productiecluster voor onder meer duurzame brandstoffen, en ook in andere havengebieden liggen ambities voor de productie van bijvoorbeeld groene waterstof. En dan beschikt Nederland nog over een sterke kennispositie door een combinatie van gerenommeerde kennisinstellingen en hoogwaardige technologische bedrijven. Dit zet ons niet alleen inhoudelijk op voorsprong, maar heeft ook al bewezen een sterke stem op te leveren aan de internationale onderhandelingstafel.

VAN WIE IS DE ROADMAP BRANDSTOFTRANSITIE IN DE ZEEVAART?

De Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart is opgesteld uit naam van de Nederlandse sector. In deze Roadmap bedoelen we met “Nederlandse sector”: ondernemers, kennisinstellingen én overheid. En ondernemers bedoelen we breed: Het gaat hierbij niet alleen om reders, scheepsbouwers, toeleveranciers en brandstofproducenten, maar ook om grondstoffenleveranciers, havens, opslagpartijen, verladers, financiers en vele anderen. Dit gehele netwerk van stakeholders is betrokken bij de transitie naar een klimaatneutrale zeevaart. De Roadmap is tot stand gekomen met een bijdrage van al deze partijen, en uit een dialoog tussen al deze partijen.

Hoewel de rol van de Nederlandse vloot in de mondiale CO₂ uitstoot beperkt is, is het toch relevant om ons in te zetten voor een duurzame Nederlandse vloot. Omdat deze kleinere markten en specifiekere scheepstypes zich uitermate goed lenen als proeftuin en voedingsbodem voor de doorontwikkeling van klimaatneutrale technieken en innovatieve business modellen. En omdat Nederlandse rederijen, werven, havens, brandstofproducenten en vele anderen bedrijven kansen zien in de transitie naar een klimaatneutrale zeevaart. Met de mogelijkheid voor dergelijke initiatieven op lokale schaal in combinatie met het significante bunkervolume op Europees niveau en de huidige voorloperspositie van de Rotterdamse haven in de levering van bio-blended scheepsbrandstoffen heeft Nederland een sterke uitgangspunt om de brandstoftransitie binnen de internationale context vorm te geven.

⁵ Zie bijvoorbeeld [News - Een kaart van productiecapaciteit biobrandstoffen en e-fuels in Nederland | 2022 \(hernieuwbarebrandstoffen.nl\)](#)

⁶ Sectoragenda Maritieme Maakindustrie, [No guts, no Hollands Glorie! - sectoragenda maritieme maakindustrie | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

⁷ Clydebank Declaration, [COP 26: Clydebank Declaration for green shipping corridors - GOV.UK \(www.gov.uk\)](#)

⁸ Maritiem Masterplan, <https://maritiemmasterplan.nl/>

2.3 HET DOEL

Het doel dat de Nederlandse sector in de Roadmap voor ogen heeft is duidelijk: een klimaatneutrale zeevaart in 2050. Met zeevaart bedoelen we alle type zeeschepen: van kleine havengebonden sleepboten en kustvaart tot intercontinentale oceaanstomers en alles ertussen in. Tijdens de ontwikkeling van de Roadmap is door de IMO een vergelijkbare ambitie vastgelegd; daarvoor al stond deze ambitie verankerd in Nederlands klimaatbeleid. Klimaatneutraal betekent voor ons: netto nul uitstoot van broeikasgasen over de keten (well-to-wake). Met als duidelijke stip op de horizon: geen energiedragers van fossiele herkomst in het eindbeeld van een klimaatneutrale zeevaart. Daarmee zal de overstap nodig zijn naar energiedragers uit alternatieve bronnen. Dit kunnen bijvoorbeeld biobrandstoffen zijn, of e-fuels die zijn geproduceerd op basis van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen, zoals wind en zon. Maar ook nucleaire aandrijving. Voor de definitie van hernieuwbare energie wordt aangesloten bij de definitie uit de Renewable Energy Directive (RED) van de Europese Unie.

Alhoewel energiedragers van fossiele bronnen geen plek hebben in het eindbeeld, kunnen zij wel een rol spelen als transitiebrandstof. Denk daarbij aan LNG in combinatie met On board Carbon Capture and Storage (OCCS). OCCS biedt onder meer een mogelijke oplossing voor het tijdelijke gebruik van fossiele LNG in de overgang naar bio-LNG en e-LNG. Andere voorbeelden van transitiebrandstoffen zijn blauwe waterstof en ammonia. Blauw betekent: geproduceerd uit aardgas, waarbij CO₂ is afgevangen en ondergronds wordt opgeslagen (of wordt hergebruikt als grondstof in andere productieketens). Blauwe waterstof en blauwe ammonia kunnen tijdelijk een rol spelen in de transitie, om uiteindelijk uitgefaseerd te worden ten behoeve van energiedragers uit hernieuwbare bronnen.

De IMO voert al ruim een decennium mondiaal beleid om de energie-efficiëntie van nieuwe en bestaande schepen te verbeteren. Deze maatregelen hebben al tot energiebesparing en CO₂ reductie geleid. In de Roadmap wordt het terugbrengen van de energiebehoefte van schepen gezien als relevant onderdeel van de transitie. Dit kan enerzijds door logistieke optimalisatie en toepassing van energiebesparende technieken, en anderzijds door waar mogelijk in te zetten op energiedragers en aandrijflijnen met een zo hoog mogelijke energie efficiëntie in de keten.

De Nederlandse sector verwacht dat de brandstofbehoefte van de zeevaart de komende decennia zal bestaan uit een mix van verschillende energiedragers: er is geen “winnende” oplossing die voor alle schepen en toepassingen het meest geschikt zal zijn en die onbeperkt beschikbaar zal zijn tegen een acceptabele prijs. De verwachting van een diversiteit aan opties, ook op de lange termijn, wordt onderschreven door de vele scenariostudies die hiervoor zijn uitgevoerd door verschillende instituten. Deze scenariostudies schetsen de ontwikkeling van de brandstofmix van de wereldvloot de komende dertig jaar, vanuit verschillende uitgangspunten (o.a. klimaatneutrale zeevaart in 2050) en met verschillende aannames over de beschikbaarheid en prijzen van grondstoffen en energiedragers. Gezien de onzekerheden in al deze factoren, zijn de variaties in de voorspelde brandstofaandelen voor 2050 significant⁹. De Roadmap zal dan ook geen uitspraak doen over DE brandstoffenmix in 2050, of bepaalde opties op voorhand uitsluiten. Wel kan de Roadmap op hoofdlijnen aangeven welke gemene delers er te destilleren zijn uit de verschillende scenariostudies, en welke stappen kunnen bijdragen aan een versneld gebruik van alternatieve energiedragers in de zeevaart.



⁹ Zie bijvoorbeeld Figuur 2 van [Enhanced modelling of maritime's future fuel mix - DNV](#)

3

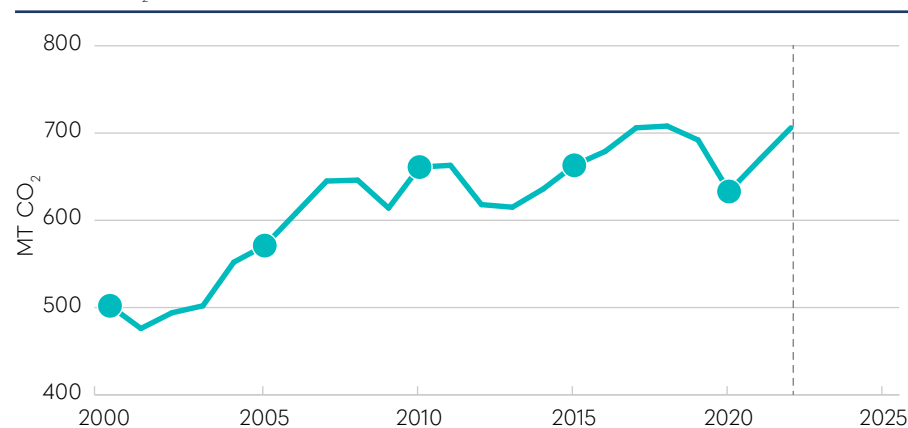
Een analyse van
de uitdaging



3.1 WAT IS MOMENTEEL DE CO₂-EMISSIE EN HET BRANDSTOFGEBRUIK VAN DE ZEEVAART EN WAT IS DE ROL VAN NEDERLAND HIERIN?

De internationale zeevaart veroorzaakt 2,5 à 3% van de mondiale CO₂-emissies¹⁰. Binnen Europa is dit 3 à 4%¹¹. In 2022 bedroeg de wereldwijde CO₂-uitstoot van internationale zeevaart ca. 700 Mton (megaton = 1 miljoen ton). Na een daling door de corona pandemie zijn we terug op het historisch hoogste niveau van 2017-2018¹². Zie [Figuur 6](#). De wereldwijde energievraag van de zeevaart bedraagt ca. 280 Mtoe (ruim 11.700 PJ) per jaar en vertegenwoordigt daarmee ca. 10% van de energievraag in de transportsector en ca. 2,7% van de totale mondiale energievraag^{13 14} (voor de EU geldt grofweg dezelfde percentages).

Figuur 8 CO₂ emissies van de zeevaart. Bron: IEA¹³.



¹⁰ IEA Bioenergy Task 39+40+45 (2023): Assessment of successes and lessons learned for biofuels deployment. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/08/IEABio_LLBF_WP4-Report_final.pdf

¹¹ Europese Commissie (2021): Commission Staff Working Document Impact Assessment Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. [EUR-Lex - 52021SC0635 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/lexUri.do?uri=CELEX:52021SC0635:EN:EUR-Lex)

¹² Website IEA: [International shipping - IEA](https://www.iea.org/shipping)

¹³ DNV (2023): Maritime forecast to 2050. <https://www.dnv.com/maritime/publications/maritime-forecast-2023/download-the-report.html>

¹⁴ DNV (2023): Biofuels in shipping – white paper. [Biofuels in Shipping - DNV](https://www.dnv.com/biofuels)

In Nederlandse havens wordt jaarlijks een hoeveelheid scheepsbrandstoffen aan de zeevaart geleverd van ca. 470 PJ. De uitstoot van broeikasgassen die vrijkomt door de verbranding van in Nederland verkochte bunkerbrandstoffen aan de zeevaart, bedraagt bijna 34 Mton CO₂-equivalenten¹⁵. Mondiaal gezien levert Nederland minder dan 5% van het wereldvolume aan bunkerbrandstoffen voor zeevaart. In de Europese Unie is Nederland echter een grote speler. Nederland heeft van alle havens in de EU het grootste aandeel geleverd bunkervolume; ongeveer een kwart¹⁶. Deze brandstoffen worden gebunkerd door nationaal én internationaal opererende schepen.

In het brandstofgebruik en dus ook in de CO₂-uitstoot van zeevaart op mondiaal en Europees niveau speelt de Nederlandse vloot een zeer beperkte rol. In de Europese CO₂-emissies van zeevaart die worden gerapporteerd onder de EU-MRV (schepen groter dan 5000 bruto tonnage) is het aandeel van de Nederlandse vloot ongeveer 4%. Wereldwijd gezien is dit percentage nog lager. Dit komt doordat de scheepstypes die wereldwijd veruit de meeste CO₂-uitstoot veroorzaken, namelijk containerschepen, bulk carriers en tankers¹⁷, geen deel uitmaken van de Nederlandse vloot. Desalniettemin zet ook de Nederlandse vloot in op verduurzaming, zie hoofdstuk 2.

De internationale zeevaart vaart momenteel bijna volledig op fossiele brandstoffen. Uit “business-as-usual” projecties van de International Maritime Organization (IMO) komt naar voren dat – in afwezigheid van regulering die effect heeft op de energie-efficiency of de koolstofintensiteit – de CO₂-emissies van internationale zeevaart een niveau zouden kunnen bereiken van 1.000 tot 1.500 miljoen ton CO₂ in 2050. Hiermee zou zeevaart uit kunnen komen op een hoeveelheid CO₂-emissies vergelijkbaar met het huidige hoogste niveau of zelfs 50% hoger¹⁸. De Europese Commissie raamt de groei van de Europese CO₂-emissies van internationale zeevaart op ruim 30% tussen 2015 en 2050 onder huidige trends en beleid. Een dergelijke ontwikkeling van de CO₂-uitstoot op lange termijn is niet in lijn met het doel om klimaatneutraal te worden in

¹⁵ PBL (2022): Klimaat- en Energieverkenning 2022. [Klimaat- en energieverkenning 2022 | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022)

¹⁶ PBL (2022): Klimaat- en Energieverkenning 2022. [Klimaat- en energieverkenning 2022 | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022)

¹⁷ Europese Commissie (2023): Fourth Annual Report from the European Commission on CO₂ Emissions from Maritime Transport (period 2018-2021). [swd_2023_54_en.pdf \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/lexUri.do?uri=CELEX:52023SC054:EN:EUR-Lex)

¹⁸ IMO (2020): Fourth IMO GHG Study. [Fourth IMO GHG Study 2020 - Full report and annexes.pdf](https://www.imo.org/en/2020/04/2020-ghg-study)

2050¹⁹. Om het scenario af te wenden waarin de mondiale CO₂-emissies van zeevaart blijven toenemen en om een trend naar substantiële *reductie* in gang te zetten, moeten dus maatregelen worden genomen. Zowel op Europees als mondiaal niveau is hiertoe regelgeving vastgesteld. Een overzicht van regelgeving staat opgenomen in [Bijlage 4: Internationale beleidskaders](#).

3.2 WAT IS DE BENODIGDE HOEVEELHEID ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS VOOR DE ZEEVAART IN NEDERLAND?

Welke hoeveelheden alternatieve energiedragers moeten de Nederlandse bunkerhavens kunnen leveren, en hoeveel moet dus worden geproduceerd, tussen nu en 2050, om te kunnen voldoen aan de gestelde doelen vanuit internationaal beleid? Voor deze kwantificering bekijken we de reductiedoelen van IMO²⁰ en de verplichtingen van de Europese FuelEU Maritime verordening²¹ (zie voor een nadere toelichting op internationaal beleid bijlage 10). We nemen hierbij aan dat de hoeveelheid energie die in Nederland aan de zeevaart wordt geleverd gelijk zal blijven tot 2050 en dat alle bunkerhavens in gelijke mate zullen bijdragen aan de doelen. Hoe bunkervolumes en -patronen echter in de toekomst zullen wijzigen als gevolg van aankomend internationaal beleid is onzeker en op voorhand moeilijk in te schatten²². Ditzelfde geldt voor de mogelijke impact van politieke en strategische keuzes door de Nederlands overheid en de Nederlandse sector.

¹⁹ Europese Commissie (2021): Commission Staff Working Document Impact Assessment Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. [EUR-Lex - 52021SC0635 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

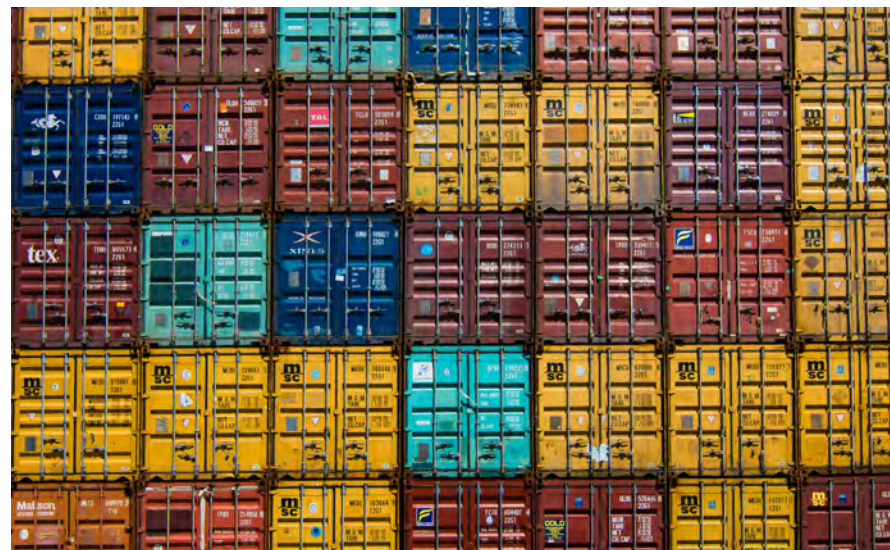
²⁰ IMO (2023): 2023 IMO GHG strategy on reduction of GHG emissions from ships. [2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships](#); De IMO doelen moeten nog verder worden uitgewerkt en er moeten nog instrumenten worden ontwikkeld om de doelen te bereiken. Voor deze analyse zijn daarom aannames gedaan over de interpretatie van de IMO doelen, zie voor een toelichting bijlage 4

²¹ Europese Commissie (2023): definitieve versie FuelEU Maritime verordening, 13 september 2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1805>

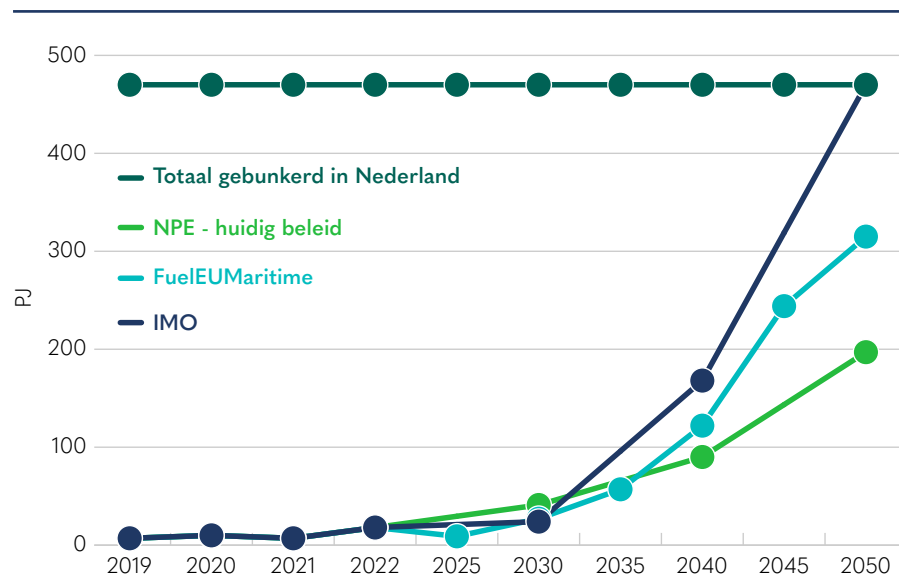
²² PBL (2022): Klimaat- en Energieverkenning 2022. [Klimaat- en energieverkenning 2022 | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](#)

Hieronder volgt eerst een algemene indicatie van het benodigde energie aan alternatieve energiedragers, zonder verdere invulling van de precieze brandstofmix. Vervolgens wordt [paragraaf 3.7](#) ingegaan op de mogelijke ontwikkeling van de brandstofmix en de rol van verschillende energiedragers. Hoewel Onboard Carbon Capture and Storage (OCCS) een belangrijke rol kan spelen in de brandstoftransitie als additionele technologie, zijn voor deze kwantificering omwille van de eenvoud geen aannames gedaan over de bijdrage die OCCS kan leveren.

Figuur 9 geeft een indruk van de benodigde energie aan alternatieve energiedragers die nodig zijn voor invulling van de doelen van IMO en de verplichtingen vanuit FuelEU Maritime tot 2050, uitgedrukt in PetaJoule (PJ), uitgaande van een constante energiehoeveelheid aan energiedragers ten opzichte van nu. De uitgangspunten en aannames bij deze figuur zijn opgenomen in Bijlage 3: Toelichting berekeningen ontwikkeling alternatieve energiedragers. De benodigde hoeveelheden die nodig zijn voor de beleidsdoelen zijn in de figuur afgezet tegen het totale bunkervolume, dat zoals gezegd als constant is aangenomen. Ter referentie is ook een lijn opgenomen die de benodigde hoeveelheden alternatieve energiedragers weergeeft zoals deze is meegenomen in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) voor zeevaart en die gebaseerd is op het destijds bestaande beleid. De doelen vanuit de jaarverplichting zijn in de figuur nog niet meegenomen omdat de besluitvorming hierover nog niet definitief is.



Figuur 9 Hoeveelheid alternatieve energiedragers (in PJ) nodig in het Nederlandse bunkervolume voor IMO en FuelEU Maritime doelen en het Nationaal Plan Energiesysteem (huidig beleid) tot 2050. Uitgangspunt is de 470 PJ die op dit moment jaarlijks in Nederland gebunkerd wordt. Afgaande op de huidige vastgestelde regelgeving mondiaal (klimaatdoelstelling IMO, blauw) en in Europa (FuelEU Maritime EU, rood). Bron: RVO.



De figuur laat zien dat voor de doelen op het pad van IMO naar “net zero” in 2050, vooral na 2030, een snelle stijging van het gebruik – en dus ook van de productie en levering - van alternatieve energiedragers nodig is. Ook voor het realiseren van de doelen van FuelEU Maritime is een versnelling nodig, met name na 2035. Om de doelen van IMO en verplichting van FuelEU Maritime in 2030 te halen is in Nederland een hoeveelheid alternatieve energiedragers nodig in orde 25 à 30 PJ. Dit geeft een eerste indicatie; dit kan hoger of lager uitvallen afhankelijk van de keuzes die scheepseigenaren gaan maken voor de brandstofmix voor hun vloot om aan de doelen te voldoen²³. Afhankelijk van de wijze van Nederlandse implementatie van de REDIII (niet

²³ [Zie Bijlage 3: Toelichting berekeningen ontwikkeling alternatieve energiedragers](#). Voor een toelichting hierop en voor een analyse van impacts van variaties, zie: Guidehouse (2023): Luchtvaart en zeevaart in de nieuwe jaarverplichting energie vervoer. [pdf \(overheid.nl\)](#)

meegenomen in de figuur) en de bijdrage die zeevaart daaraan moet leveren, kan de benodigde hoeveelheid voor Nederland in 2030 anders/hoger uitvallen.

In 2040 zijn voor de doelen van IMO en FuelEU Maritime hoeveelheden alternatieve energiedragers nodig in de bandbreedte van ca. 120-170 PJ. Voor een volledig klimaatneutrale zeevaart in 2050 moet het gehele bunkervolume worden ingevuld met alternatieve energiedragers (afgezien van eventueel OCCS aan boord), met een (keten)emissiereductie van (nagenoeg) 100%. Bij een gelijkblijvende energievraag zou dat in Nederland dus zo’n 470 PJ zijn. Op Europese en mondiale schaal zou dat nog een factor 4 respectievelijk 20 meer zijn.

Een belangrijke factor die in bovenstaande niet is meegenomen is dat vanaf 2024 de CO₂-emissies van zeevaart stapsgewijs onder het Europese CO₂-emissiehandelsstelsel, EU-ETS, komen te vallen. Dit heeft, naast een prijsverhogend effect, ook impact op de vraag naar alternatieve energiedragers van zeevaart op een bepaald moment in de tijd om CO₂-emissies te reduceren. Met het voorgenomen afbouwpad van het emissieplafond zullen er in 2039 geen emissierechten meer zijn ([zie Bijlage 4: Internationale beleidskaders](#)). De mogelijke effecten van EU-ETS op wat langere termijn zijn echter nog moeilijk in te schatten vanwege onzekerheid over onder andere de precieze vormgeving van EU-ETS tegen die tijd (tussentijdse herziening), de effecten in de komende jaren van het voorgenomen reductietraject van broeikasgasemissies via EU-ETS in de praktijk en de toekomstige rol van afvang, opslag en gebruik van CO₂ in de algehele brandstofmix voor zeevaart.

3.3 WAT IS DE HUIDIGE STAND VAN ZAKEN VAN LEVERING VAN ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS?

De afgelopen jaren is er een belangrijke groei te zien geweest van de inzet van biobrandstoffen in zeevaart. Andere hernieuwbare brandstoffen, zoals e-fuels, worden in de zeevaart nog niet of nauwelijks toegepast.

Specifiek in Nederland is het aandeel biobrandstoffen in de aan zeevaart geleverde brandstoffen de afgelopen jaren sterk gegroeid. Dit komt doordat biobrandstoffen die brandstofleveranciers aan zeevaart leveren in Nederland vrijwillig mogen meetellen voor de jaarverplichting hernieuwbare energie in vervoer, zonder dat deze leveran-

ciers zelf een verplichting hebben (dit heet een “opt-in”). Hiermee kunnen zij voor geleverde biobrandstoffen aan zeevaart Hernieuwbare Brandstof Eenheden (HBE's) verkrijgen, waardoor een haalbare business case ontstaat. Deze stimulans vanuit nationale regelgeving heeft ervoor gezorgd dat de afgelopen jaren aanzienlijke volumes biobrandstoffen werden geleverd aan zeevaart. In de periode 2019-2022 is de levering van biobrandstoffen aan zeevaart meer dan verdubbeld, van 7 PJ (1,5%) in 2019 tot 18 PJ (3,8%) in 2022²⁴, waarbij sinds 2021 alleen nog voor geavanceerde biobrandstoffen (op basis van Annex IX-A grondstoffen) HBE's mogen worden verkregen. Als de herziene jaarverplichting die in 2026 ingaat en waarin zeevaart een eigen verplichting krijgt, zo wordt ingericht dat het huidige geleverde volume gehandhaafd kan blijven, dan lijken de eerder genoemde benodigde hoeveelheden voor 2030 voor de doelen van IMO en FuelEU Maritime in de ordegrootte van 25 à 30 PJ haalbaar te zijn.

Na Singapore, vormt het ARA gebied de grootste bunkerhaven ter wereld. Als gevolg van de genoemde opt-in loopt de haven van Rotterdam wereldwijd voorop in de levering van biobrandstoffen aan zeevaart. In Rotterdam werd in 2023 zo'n 752.000 ton (ca. 32 PJ) bio-blended scheepsbrandstof verkocht. Dit is een hoeveelheid biobrandstof in totaal: het is niet bekend welke typen biobrandstof precies worden geleverd. Het precieze blend percentage in deze hoeveelheid is ook niet bekend, maar vaak is dit 20-30% biobrandstof; daarnaast is, afhankelijk van het type biobrandstof, ook pure biobrandstof, dus 100%, mogelijk. Singapore volgt met zo'n 150.000 ton (ruim 6 PJ). Hoewel de inzet van biobrandstoffen sterk toeneemt, is het aandeel hiervan in de mondiale brandstofmix beperkt: 0,1% in de brandstofmix voor schepen in de internationale handel. Wel is tussen 2021 en 2022 wereldwijd de levering van scheepsbrandstof met biobrandstof met meer dan 70% toegenomen²⁵. In 2023 werd in de haven van Rotterdam voor het eerst bio-methanol aan zeevaart geleverd, namelijk 750 ton²⁶.

Vanwege de bouw van infrastructuur voor de handel in- en productie van biobrandstoffen rond het ARA gebied in de laatste 10-15 jaar, en door de al bestaande olie-infrastructuur²⁷, heeft de haven van Rotterdam een sterke uitgangspositie voor de levering van bio-blended scheepsbrandstoffen. In Nederland zijn diverse productiefacilitei-

ten voor alternatieve brandstoffen operationeel en gepland²⁸. Nederland is Europa's grootste producent van HVO²⁹ en de vijfde grootste producent van biodiesel in de Europese Unie, die met een aandeel van 32% wereldleider is³⁰.

3.4 HOEVEEL SCHEPEN ZIJN MOMENTEEL GESCHIKT VOOR GEBRUIK VAN ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS?

Zoals eerder aangegeven wordt in de Rotterdamse haven sinds enkele jaren een aanzienlijke hoeveelheid bio-blended scheepsbrandstof gebunkerd. Scheepsbrandstoffen die een aandeel biobrandstof bevatten worden in bestaande schepen, zonder dat aanpassingen nodig zijn, en in de bestaande distributie- en bunkerinfrastructuur toegepast (“drop-in”). Daarnaast is de afgelopen jaren een ontwikkeling zichtbaar dat er steeds meer schepen in de vaart komen en in bestelling zijn die op een alternatieve energiedragers kunnen varen. Hoeveel dit er zijn in de Nederlandse vloot is niet bekend. Wereldwijd is momenteel 6,5% van de schepen in de vaart geschikt om te varen op alternatieve energiedragers (op basis van tonnage; op basis van het aantal schepen ligt dit aandeel lager). Zie Figuur 10. Van de nieuw bestelde schepen is dat ruim de helft. In totaal staan er wereldwijd bijna 1400 schepen in het orderboek die kunnen op varen op alternatieve energiedragers.

²⁴ PBL (2023): Klimaat- en Energieverkenning 2023. [Klimaat- en Energieverkenning 2023 | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](#)

²⁵ DNV (2023): Maritime forecast to 2050. [Maritime Forecast to 2050 - DNV - DNV](#)

²⁶ Port of Rotterdam (2023): [bunkersales-2021-2023_0.pdf \(portofrotterdam.com\)](#)

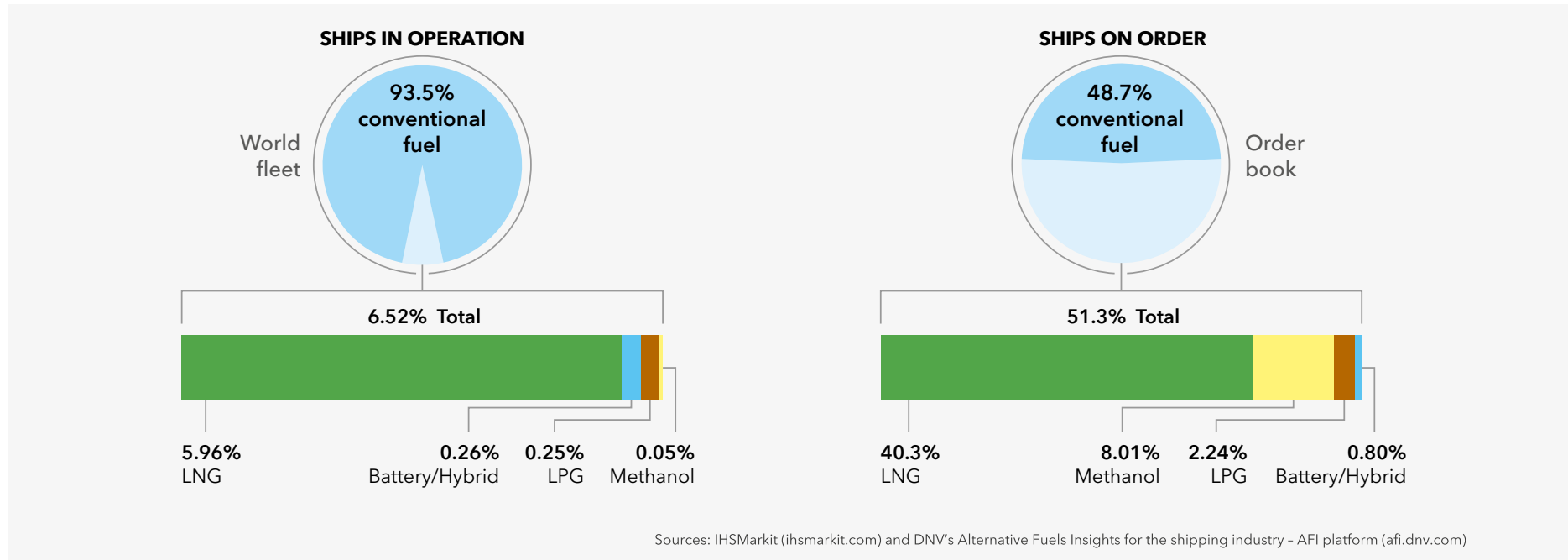
²⁷ CE Delft /HCSS: Decarbonising maritime bunkering in the Netherlands and the embargo on Russian oil. [Decarbonising maritime bunkering in the Netherlands and the embargo on Russian oil - CE Delft](#)

²⁸ Platform Hernieuwbare Brandstoffen (2022): Kaart van productiecapaciteit biobrandstoffen en e-fuels in Nederland. [News - Een kaart van productiecapaciteit biobrandstoffen en e-fuels in Nederland | 2022 \(hernieuwbarebrandstoffen.nl\)](#)

²⁹ EurObserv'ER (2023): RES in Transport barometer 2022. [RES in Transport barometer 2022 - EurObserv'ER \(eurobserv-er.org\)](#)

³⁰ CE Delft /HCSS: Decarbonising maritime bunkering in the Netherlands and the embargo on Russian oil. [Decarbonising maritime bunkering in the Netherlands and the embargo on Russian oil - CE Delft](#)

Figuur 10 Schepen in de vaart en schepen in het orderboek, gecategoriseerd op basis van de energiedrager waar ze op kunnen varen. Bron: DNV, Maritime Forecast 2050³⁴.



Van de ruim 2000 schepen in de vaart die alternatieve energiedragers kunnen gebruiken, bestaat ruim de helft uit grote schepen die op LNG kunnen varen. Het kan hierbij ook gaan om LNG schepen die op de boil-off van hun eigen lading varen of om dual-fuel schepen, die zowel op LNG als HFO kunnen varen, afhankelijk van het prijsverschil tussen beide brandstoffen. In eerste instantie zullen deze schepen vooral fossiele LNG gebruiken, maar voor een significante bijdrage aan CO₂-emissiereductie is een overstap naar hernieuwbare varianten van LNG en/of het gebruik van OCCS aan boord noodzakelijk.

De andere helft bestaat grotendeels uit kleine batterij-elektrische/hybride schepen en komen er steeds meer schepen in de vaart die geschikt zijn om te varen op methanol en LPG (vooral LPG tankers). Ook zijn er enkele waterstofscheepen in de vaart en besteld. Inmiddels is er ook een eerste schip dat gaat varen op ammoniak in bestelling.³¹ Verder zijn er op dit moment ongeveer 160 nucleaire vaartuigen (met name marineschepen).

³¹ [Hydrogen at sea | World's first ammonia-powered ships ordered by international liquid-fuels carrier | Hydrogen news and intelligence \(hydrogeninsight.com\)](#)

3.5 HOE VERHOUDT ZICH DE VRAAG NAAR ALTERNATIEVE BRANDSTOFFEN TOT HET BESCHIKBARE AANBOD?

Eerder werd al geanalyseerd welke impact de doelen van IMO en EU beleid hebben op het Nederlandse bunkervolume voor zeevaart. In deze paragraaf wordt gekeken naar hoe de benodigde hoeveelheid alternatieve energiedragers voor zeevaart zich verhoudt tot internationale productie en beschikbaarheid hiervan.

Voor het Nederlandse bunkervolume zou voor het behalen van de IMO en FuelEU Maritime doelen een hoeveelheid aan alternatieve energiedragers van 25 à 30 PJ nodig zijn in 2030 (zie Figuur 9). DNV schat in dat in 2030 wereldwijd zo'n 17 Mtoe, oftewel ruim 700 PJ, aan "carbon neutral fuels" nodig is voor zeevaart. DNV heeft ook de beschikbaarheid van alternatieve brandstoffen (dit betreft in deze studie biobrandstoffen, e-fuels en blauwe brandstoffen) ingeschat aan de hand van een analyse van bestaande en geplande productie-installaties, gericht op levering aan alle sectoren, en komt daarmee uit op een mogelijke wereldwijde productie van 44 tot 62 Mtoe in 2030 (ca. 1.850 tot 2.600 PJ). Dit zou betekenen dat in 2030 zeevaart 30% tot 40% van de wereldwijd geproduceerde hoeveelheden alternatieve brandstoffen nodig zou hebben³².

Gezien het beroep dat zeevaart zal doen op de totale mondiaal beschikbare hoeveelheid alternatieve energiedragers, hebben we naar alle waarschijnlijkheid een veelheid aan opties nodig om een klimaatneutrale zeevaart te kunnen realiseren in 2050. Hoe verhoudt zich nu de vraag naar alternatieve energiedragers van zeevaart tot de beschikbaarheid, als deze ingevuld zou worden met óf alleen biobrandstoffen óf alleen e-fuels (synthetische brandstoffen op basis van hernieuwbare elektriciteit, ook wel RFNBO's)? Dit wordt hieronder geschetst.

Biobrandstoffen

DNV schat de huidige mondiale productiecapaciteit van geavanceerde biobrandstoffen op ca. 11 Mtoe per jaar en verwacht dat deze kan doorgroeien naar zo'n 23 Mtoe per jaar in 2026. Uitgaande van de duurzaamheidseisen in lijn met die van de RED, schat DNV het wereldwijde duurzame en economische productiepotentieel van bio-

brandstoffen op 400 tot 600 Mtoe per jaar in 2030³³. Kijkend naar dit potentieel in 2030 dan kan invulling van de vraag vanuit zeevaart met duurzame biobrandstoffen haalbaar zijn. Dit vraagt echter zowel substantiële mobilisatie van biograndstoffen (NB voor productie van geavanceerde biobrandstoffen via thermochemische conversietechnieken is ook hernieuwbare waterstof nodig³⁴) als flinke opschaling van de productiecapaciteit voor biobrandstoffen.

De beschikbaarheid van biograndstoffen lijkt daarin geen beperkende factor te zijn: de Europese Commissie laat met modelprojecties zien dat de EU over voldoende eigen biograndstoffen beschikt om de benodigde biobrandstoffen te produceren voor de Europese maritieme sector voor het behalen van de doelen in 2030 en 2050³⁵. Imperial College raamt de beschikbaarheid in de EU en het Verenigd Koninkrijk van biograndstoffen voor productie van enkel geavanceerde biobrandstoffen (Annex IX-A/B in de RED) voor de transportsector op een bandbreedte van ca. 100 tot 260 Mtoe voor 2030 en 2050. Benutting van dit potentieel vereist echter wel additionele R&D, implementatie van verbeterde landbouw- en bosbouwpraktijken én de opbouw van aanvoerketens om deze biograndstoffen daadwerkelijk te kunnen mobiliseren³⁶.

De hierboven genoemde potentiëlen voor biograndstoffen van Imperial College vertalen zich in een productievolume voor enkel geavanceerde biobrandstoffen van 46 – 97 Mtoe voor 2030 en 71 – 176 Mtoe voor 2050³⁷. Ter vergelijking: het Platform

³³ DNV (2023): Biofuels in shipping – white paper. [Biofuels in Shipping - DNV](#) (NB DNV geeft aan wat lager uit te komen dan veel andere studies vanwege het hanteren van strenge duurzaamheidseisen).

³⁴ Imperial College London (2021): Sustainable biomass availability in the EU, to 2050. [Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf \(concaawe.eu\)](#)

³⁵ Europese Commissie (2021): Commission Staff Working Document Impact Assessment Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. [EUR-Lex - 52021SC0635 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#) (Tabel 34 en 35).

³⁶ Imperial College London (2021): Sustainable biomass availability in the EU, to 2050. [Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf \(concaawe.eu\)](#); Bij deze schattingen corresponderen de bandbreedtes met de laagste en hoogste scenario's voor biomassabeschikbaarheid. Hoewel de bandbreedtes voor 2030 en 2050 vergelijkbaar zijn is de verdeling over de verschillende typen biograndstoffen wel verschillend tussen 2030 en 2050. De potentiëlen in deze studie zijn gebaseerd op conservatieve aannames. Waarschijnlijk zijn de potentiëlen in de praktijk hoger omdat niet alle typen duurzame biograndstoffen, zoals algen, zijn meegenomen.

³⁷ Imperial College London (2021): Sustainable biomass availability in the EU, to 2050. [Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf \(concaawe.eu\)](#)

³² DNV (2023): Maritime forecast to 2050. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)

Hernieuwbare Brandstoffen berekende dat voor het behalen van het REDIII doel in 2030 voor hernieuwbare energie in de transportsector als geheel voor de EU27 ca. 59 Mtoe aan productie van hernieuwbare energiedragers nodig is³⁸. Het productiepotentieel voor geavanceerde biobrandstoffen in Europa kan hier dus een belangrijke bijdrage aan leveren.

Als zeevaart klimaatneutraal zou moeten zijn in 2050 met gebruik van alleen biobrandstoffen, dan zou volgens DNV wereldwijd jaarlijks 250 Mtoe (gebaseerd op het scenario van een klimaatneutrale zeevaart in 2050 met het grootste aandeel biobrandstoffen) aan duurzame biobrandstoffen nodig zijn. Aan de hand van geschat mondiaal productiepotentieel dat kan toenemen naar 500 tot 1300 Mtoe per jaar in 2050, zou zeevaart dan 20 tot 50% van het totale potentiële mondiale aanbod aan duurzame biobrandstoffen nodig hebben^{39,40}.

E-fuels

Naast biobrandstoffen worden e-fuels als belangrijke optie gezien in de brandstoftransitie van de zeevaart. Voor de productie van e-fuels zijn hernieuwbare elektriciteit, water en CO₂ (uit circulaire koolstofbronnen) of stikstof (voor e-ammoniak) nodig. Wat zou nu de impact zijn als het gehele Nederlandse bunkervolume voor zeevaart in 2050 ingevuld zou worden met e-fuels? Uitgaande van een hoeveelheid energie van ca. 470 PJ en een conversie-efficiëntie voor de productie van e-fuels van 38 à 45% (NB voor hernieuwbare waterstof is de conversie-efficiëntie hoger)⁴¹ zou hiervoor ruim 1000 à 1200 PJ aan hernieuwbare elektriciteit nodig zijn, ofwel zo'n 300 TWh. Als de gehele hoeveelheid in de EU gebunkerde energiedragers voor zeevaart in 2050 met e-fuels ingevuld zou moeten worden (bij gelijkblijvende energievraag) dan zou dit nog een factor vier hoger zijn, dus zo'n 1200 TWh. Ter vergelijking: de Europese Commissie raamt de totale Europese opwekking van hernieuwbare elektriciteit in 2050 op ca.

5200 TWh⁴² dus zeevaart zou dan een aanspraak doen op bijna een kwart hiervan. Om in de vraag van zeevaart te voorzien is gezien de grote hoeveelheid hernieuwbare elektriciteit waarschijnlijk import van e-fuels nodig uit landen met een groot potentieel voor de productie van hernieuwbare elektriciteit uit bijvoorbeeld wind- en zonne-energie. Naast uitbreiding van de productie van hernieuwbare elektriciteit, vraagt de opschaling van de productie van e-fuels ook de bouw van elektrolysecapaciteit om waterstof te produceren, van installaties om CO₂ af te vangen uit puntbronnen of uit de lucht (Direct Air Capture, DAC) en van productiefaciliteiten voor e-fuels⁴³.

3.6 HOE ZIET DE BREDERE CONTEXT VAN DE BRANDSTOFTRANSITIE IN DE ZEEVAART ERUIT?

De toekomstige vraag naar alternatieve energiedragers van zeevaart moet nadrukkelijk gezien worden in relatie tot de vraag naar grondstoffen en energiedragers vanuit andere economische sectoren, in transport en daarbuiten. Ook die sectoren moeten verduurzamen om de emissies van CO₂ te verminderen. De verduurzaming van onze energievoorziening als geheel staat centraal in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE).

Onderstaande figuur van het Sustainable Industry Lab geeft een beeld van de energievraag van alle economische sectoren in Nederland en de rol van zeevaart in dit geheel. De energie geleverd aan scheepvaart (internationaal, dus niet alleen aan Nederlandse schepen) vormt een belangrijk deel van de energievoorziening (hier 486 PJ). Opvallend is dat deze vraag naar scheepsbrandstoffen van dezelfde grootteorde is als de brandstoffen die worden geleverd aan binnenlands personen- en vrachtvervoer (238 PJ en 199 PJ). Naast de transportsector hebben de (petro)chemische en andere industrie en de gebouwde omgeving een groot aandeel in de energievraag in Nederland.

³⁸ Platform Hernieuwbare Brandstoffen (2022?). Presentatie. Cijfers gebaseerd op Studio GearUp 2021: Role of biodiesel in EU climate actions [PM referentie]

³⁹ DNV (2023): Maritime forecast to 2050. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)

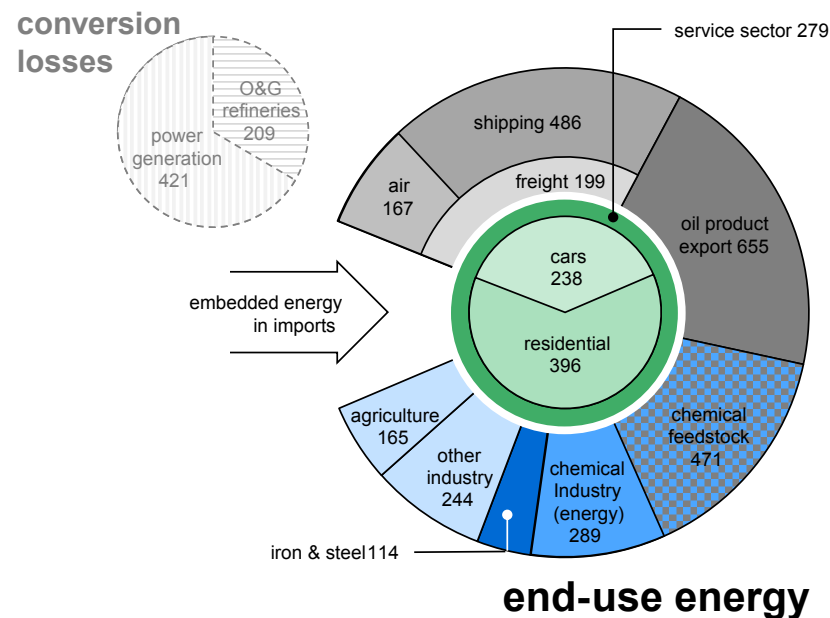
⁴⁰ DNV (2023): Biofuels in shipping – white paper. [Biofuels in Shipping - DNV](#)

⁴¹ Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2022). Energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit. [Energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit | Publicatie | Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid \(kimnet.nl\)](#)

⁴² Europese Commissie (2021): Commission Staff Working Document Impact Assessment Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. [EUR-Lex - 52021SC0635 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#) (gebaseerd op tabel 36).

⁴³ TNO, VoltaChem, Smartport (2020): E-fuels - Towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation.

Figuur 11 Energievraag van de verschillende economische sectoren (waarbij groen = persoonlijk energiegebruik en de dienstensector, blauw = energiegebruik van de industrie, grijs = olieproducten en chemische grondstoffen). Bron: Kramer⁴⁴.



In Nederland is de hoeveelheid energie die door de zeevaart gebunkerd wordt verhoudingsgewijs behoorlijk groot, iets minder dan de helft van de totale energievraag van de transportsector⁴⁵. De hoeveelheid energie is ook vele malen groter dan de nationale energievraag voor zeevaart. Binnen de totale energievraag in de Europese transportsector speelt maritieme bunkering echter een bescheiden rol met een aandeel van 11,6% en is wegvervoer veruit de belangrijkste sector, zie Figuur 12. Voor Nederland is de impact van de brandstoftransitie in de zeevaart dan ook relatief groot, vergeleken met de meeste andere Europese landen.

⁴⁴ Kramer (2022). Power, Hydrogen and Fuels in the Netherlands. Sustainable Industry Lab. Presentatie. [6287849d01f7961bd5bdbd45_22_0519_UU_Kramer.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/178490/6287849d01f7961bd5bdbd45_22_0519_UU_Kramer.pdf) (website-files.com)

⁴⁵ Knotter (2022): EU & Dutch Policy Overview "A briefing of where we are heading to. Presentatie. [62877a91de9f06a6bef7ccf8_22_0519_PHB_Knotter.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/178490/62877a91de9f06a6bef7ccf8_22_0519_PHB_Knotter.pdf) (website-files.com) (slide 44)

Net als de maritieme industrie zijn ook andere sectoren actief stappen aan het zetten in de klimaattransitie. Ook in deze markten is er onzekerheid over de rol van de verschillende energiedragers en de prijs en beschikbaarheid hiervan. De vraag om moleculen en elektriciteit uit andere sectoren concurreert met de behoeftes van de zeevaart. Maar er liggen ook kansen voor synergiën. De brede context van defossilisatie is essentieel voor de mogelijkheden voor de zeevaart. Enkele belangrijke ontwikkelingen liggen bij het wegtransport, de luchtvaart en de industrie.

Vanuit het wegtransport zijn in Europese regelgeving duidelijke doelen vastgesteld voor een route naar klimaatneutraliteit. In het personenverkeer ligt een grote rol voor elektrische rijden. Voor het zware wegverkeer is enige onzekerheid over de bijdrage van elektrisch, waterstof en andere duurzame energiedragers. De Nederlandse automotieve sector werkt aan verdere oplossingen in samenwerkingsverbanden als het Battery Competence cluster.

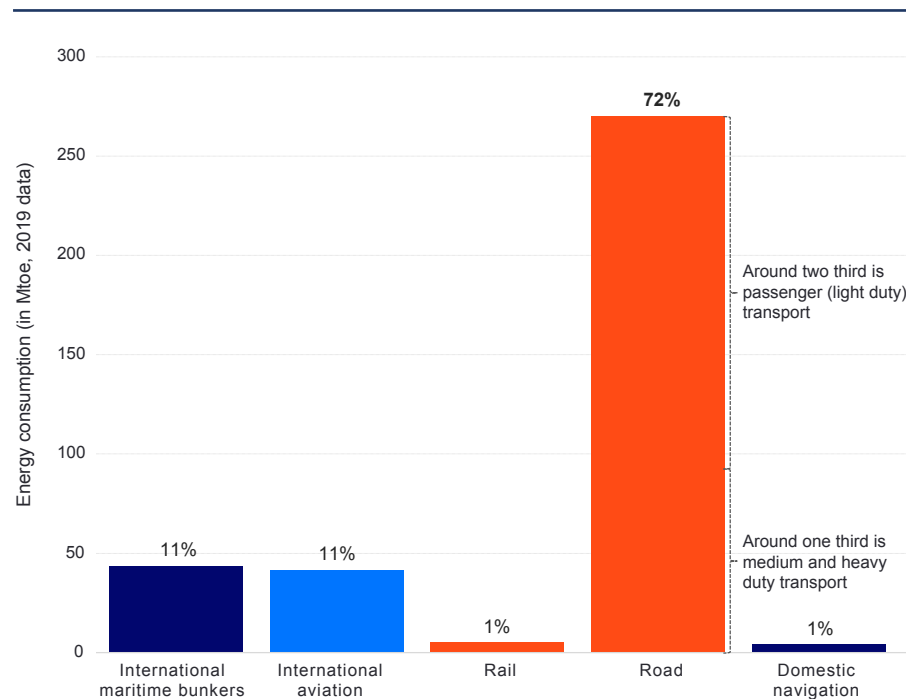
In de luchtvaart heeft de International Civil Aviation Organization (ICAO) een mondiale ambitie vastgesteld van netto nul koolstofemissies in 2050. Vanuit de EU is er daarnaast een ingroeipad vastgesteld voor een oplopende verplichting voor inzet van hernieuwbare brandstoffen (ReFuelEU_Aviation). Een duurzame vorm van kerosine blijft dominant. Voor kortere afstanden wordt ook naar andere oplossingen als het gebruik batterijen en waterstof gekeken. Dit gebeurt onder meer in het groeifondsproject Luchtvaart in transitie.

In de industrie wordt een belangrijke rol van elektrificatie verwacht, maar zijn andere duurzame energiedragers belangrijk als grondstof. Voor de lange termijn wordt hier een belangrijke rol gezien voor synthetische waterstof, ammoniak en methanol. Een belangrijk traject hiervoor is het groeifondsvoorstel groenvermogen. Hier worden investeringen gefaciliteerd rondom elektrolysecapaciteit van waterstof, maar ook gewerkt aan oplossingen voor koolstof- en stikstofgebaseerde industrie (met name methanol en ammoniak). In dit traject wordt ook (zij beknopt) een strategie ontwikkeld naar de rol van waterstof in verschillende Nederlandse sectoren.

De vraag vanuit wegtransport, luchtvaart en industrie naar duurzame energiedragers concurreert met de behoeftes uit de zeevaart. Voor de ontwikkeling van een markt voor duurzame brandstoffen lijkt er echter ook een belangrijke kans te liggen voor het bundelen van de vraag en het ontwikkelen van groene corridors voor meerdere eindmarkten. Zeker in de industrie zijn mogelijk dezelfde energiedragers als in de maritieme markt nodig.

Een ander thema in de transitie, dat meerdere sectoren raakt, is de krapte op de arbeidsmarkt. Voor de energietransitie in den breedte zijn veelal werknemers uit dezelfde beroepsgroepen nodig. In deze beroepen zijn nu al tekorten. Vanuit het maritiem masterplan en de sectoragenda maritieme maakindustrie worden initiatieven gestart voor het verbeteren van de aantrekkelijkheid van de sector. In andere sectoren zijn de uitdagingen vergelijkbaar en worden ook vergelijkbare human capital initiatieven gestart.

Figuur 12 Huidige energievraag van internationale maritieme bunkers voor de gehele EU in vergelijking met andere sectoren in transport. Bron: Knotter⁴⁶.



⁴⁶ Knotter (2022): EU & Dutch Policy Overview A briefing of where we are heading to. Presentatie. [62877a91de9f06a6bef7ccf8_22_0519_PHB_Knotter.pdf](https://www.website-files.com/62877a91de9f06a6bef7ccf8_22_0519_PHB_Knotter.pdf) (website-files.com) (slide 43)

3.7 WAT ZIJN DE VERSCHILLENDE OPTIES VOOR DE ZEEVAART

3.7.1 INLEIDING

Het is onzeker welke rol alle alternatieve energiedragers zullen spelen in de toekomstige energiemix voor een klimaatneutrale zeevaart in 2050. Dit wordt bepaald door een groot aantal factoren die ook elk hun eigen onzekerheden richting de toekomst kennen. Denk hierbij aan toekomstige productiekosten en prijzen van energiedragers en technologie- en beleidsontwikkelingen. Wat is nu de impact van die verschillende onzekerheden en kunnen we ondanks die onzekerheden toch iets zeggen over welke energiedragers waarschijnlijk een rol zullen spelen in 2050? Dit schetsen we hieronder aan de hand van een selectie⁴⁷ van bestaande scenariostudies. In deze studies hebben diverse partijen inschattingen gemaakt van de toekomstige energiemix voor zeevaart met behulp van rekenmodellen.

3.7.2 WAT ZEGGEN SCENARIOSTUDIES OVER DE TOEKOMSTIGE ENERGIEMIX VOOR ZEEVAART IN 2050?

Substantiële mogelijkheden voor energiebesparing in de zeevaart in 2050

Een eerste belangrijke factor voor de toekomstige energiemix is de verwachting over hoeveel energie er bespaard kan worden met verbeteringen in de energie-efficiëntie van zeevaart. Dit bepaalt immers hoe groot de resterende energievraag is die met

⁴⁷ Hierin zijn de volgende studies meegenomen:

- CE Delft (2022): Fit for 55 and 2030 milestones for maritime shipping. [CE_Delft_220125_Fit-for-55-and-2030-milestones-for-maritime-shipment_FINAL.pdf](#) met daarin studies van Lloyd's Register/UMAS (2019), MMMCZCS (2021), Technical University of Denmark (2021), IRENA (2021) en UMAS (2021).
- DNV (2022): Maritime forecast to 2050 – 2022 edition. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)
- Europese Commissie (2021): Commission Staff Working Document Impact Assessment Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. [EUR-Lex - 52021SC0635 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)
- IEA (2021): Net Zero by 2050; a roadmap for the global energy sector. [Net Zero by 2050 - Analysis - IEA](#)
- Nationaal Plan Energiesysteem (2023): Verdiepingsdocument C – Transitiepaden gebruikssectoren, Mobiliteit. Figuur 20. [file \(overheid.nl\)](#)

alternatieve energiedragers ingevuld moet worden. Inschattingen in bestaande studies van onder andere IMO, DNV en CE Delft geven aan dat een verbetering van de energie-efficiëntie in de orde van 30 à 40% tussen nu en 2050 realistisch lijkt te zijn⁴⁸. In paragraaf 5.4 wordt ingegaan op mogelijke technieken en maatregelen, die dit voor elkaar moeten gaan krijgen.

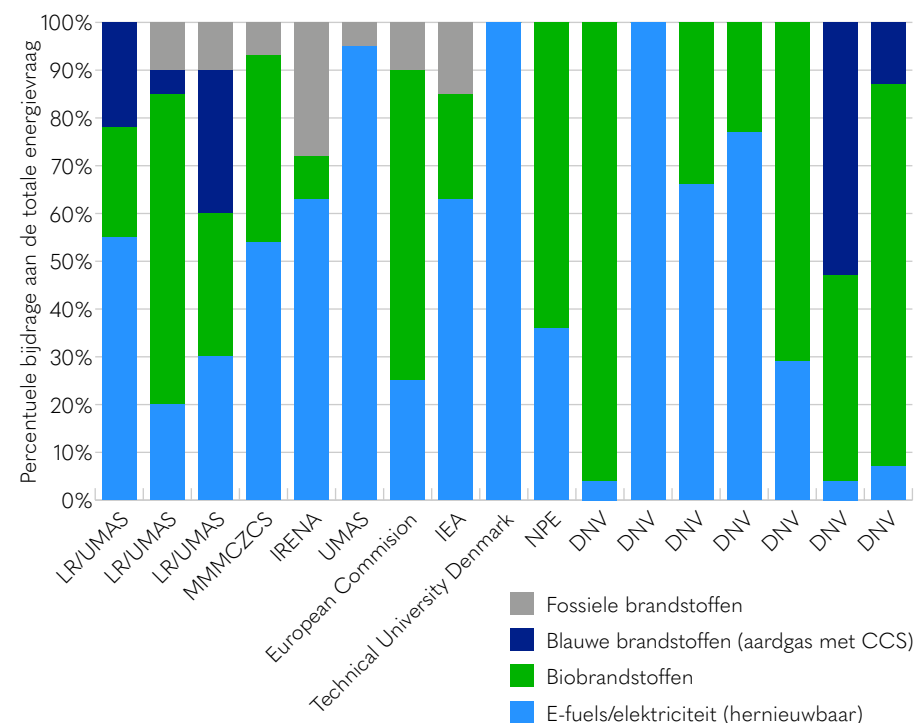


De rol van fossiele brandstoffen hangt af van wel of niet klimaatneutraal in 2050

De rol van fossiele brandstoffen in de toekomstige energiemix voor zeevaart wordt bepaald door het CO₂-reductiedoel voor 2050. In scenariostudies waarin het uitgangspunt een klimaatneutrale zeevaart is, zijn fossiele brandstoffen (zonder CCS) per definitie uitgefaseerd in 2050. Dit is bijvoorbeeld te zien in de klimaatneutrale scenario's van DNV. In het scenario van het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) waarin de restopgave ten opzichte van de prognose met huidig beleid is ingevuld om tot een klimaatneutrale zeevaart te komen, bestaat de energiemix in 2050 uit 64% biobrandstoffen, 33% e-fuels en 3% elektriciteit. In diverse scenariostudies is echter nog een aandeel fossiele brandstof te zien in de energiemix in 2050, zoals te zien is in Figuur 13.

⁴⁸ Planbureau voor de Leefomgeving (2024), [Klimaatneutrale zeescheepvaart in 2050 | Planbureau voor de Leefomgeving \(pbl.nl\)](#)

Figuur 13 Energiemix voor zeevaart in 2050 uitgesplitst per energiebron (fossiel, fossiel met CCS (blauw), biobrandstoffen en hernieuwbare e-fuels/elektriciteit) voor een selectie van scenario's (Y-as = %) (NB DNV scenario's met vergelijkbare uitgangspunten en energiemix zijn samen genomen en gemiddeld). Bron: RVO.



Diverse energiemix in 2050 in alle scenario's, grote rol voor hernieuwbare opties

In Figuur 13 is voor alle scenario's, die in deze analyse zijn bekeken, aangegeven hoe de energiemix in 2050 er globaal uit ziet. Hierbij maken we onderscheid tussen verschillende categorieën energiedragers op basis van de energiebron: e-fuels (inclusief elektriciteit), biobrandstoffen en fossiele brandstoffen met en zonder CCS (afvang en opslag van CO₂ tijdens de productie van de brandstof). Het algemene beeld is dat grote verschillen te zien zijn in de toekomstige energiemix.

Wat de scenario's echter gemeen hebben is dat ze allen een divers palet aan energiedragers laten zien in 2050. In bijna alle scenario's is in het eindbeeld een mix te zien van biobrandstoffen en e-fuels. Er is echter grote onzekerheid over de toekomstige aandelen van beiden: deze variëren in de scenario's tussen 0 tot (bijna) 100%. Ook over de rol van blauwe brandstoffen is het beeld heel divers. Veel scenario's voorzien geen of een beperkte rol voor blauwe brandstoffen in 2050, terwijl in sommige scenario's deze brandstoffen juist een groot aandeel hebben, variërend tussen ca. 22 en 53%.

SCENARIOSTUDIES

In scenariostudies voor zeevaart wordt aan de hand van verschillende sets van aannames ("scenario's") geanalyseerd hoe de energiemix zich de komende decennia verder zal ontwikkelen. Dit is gedaan met behulp van rekenmodellen. Er zijn allerlei typen scenario's mogelijk. In de studies, die zijn bekeken in de analyse voor de roadmap, gaat het om kwantitatieve scenario's waarbij gebruik is gemaakt van "back-casting". Hierbij wordt vooraf een gewenst eindpunt gedefinieerd, bijvoorbeeld een klimaatneutrale zeevaart in 2050. Aan de hand van verschillende scenario's - met daarin aannames over bijvoorbeeld brandstofkosten, CO₂-prijzen, beschikbaarheid van brandstoffen en schepen - wordt bekeken met welke energiemix onder welke omstandigheden dit eindbeeld waarschijnlijk zal worden ingevuld.

3.7.3 WELKE FACTOREN BEÏNVLOEDEN DE TOEKOMSTIGE ROL VAN VERSCHILLENDE ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS?

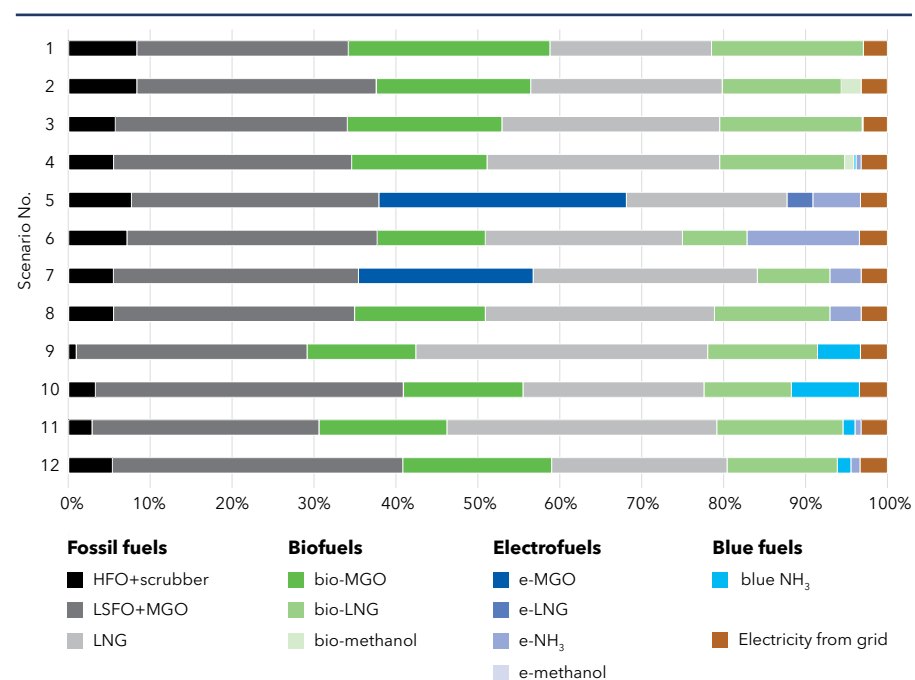
De energiemix wordt bepaald door kosten en beschikbaarheid van energiedragers

Welke factoren zijn het meest bepalend voor de rol die een specifieke energiedrager speelt in de energiemix voor zeevaart in 2050? De grootste impact hebben beschikbaarheid, kosten en potentiële broeikasgasemissiereductie ("well-to-wake") van de energiedragers. Vooral voor de opties die nog in ontwikkeling zijn, zoals e-fuels (hernieuwbare waterstof en daarvan afgeleide brandstoffen) en blauwe brandstoffen (fossiele brandstoffen met CCS), is de onzekerheid hierin groot. Scenario's hanteren daarom verschillende aannames over onder andere de beschikbaarheid en prijs van hernieuwbare elektriciteit, biomassa, CCS en de prijs van CO₂ (vaak wordt CO₂-be-

prijzing als sturend instrument gebruikt in een rekenmodel). Deze aannames en variaties daarin hebben dus ook een grote impact op de rol van een brandstof in de toekomstige energiemix (CE Delft, 2022).

In mindere mate zijn ook de diversiteit in scheepstypen, ladingtypen en vaarprofielen van invloed op de energiemix. De beschikbaarheid van schepen voor specifieke brandstoffen wordt in de diverse studies verschillend benaderd: als een voorwaarde die sowieso vervuld zal zijn óf juist als een mogelijke beperkende factor voor de ingroei van een brandstof.

Figuur 14 Energiemix voor de eerste 12 van de 24 scenario's van DNV voor een klimaatneutrale zeevaart in 2050⁴⁹.



Key: Ammonia (NH₃); biofuel (bio-); electrofuel (e-); fossil fuel with CCS (blue); heavy fuel oil (HFO); liquefied natural gas (LNG); low sulphur fuel oil (LSFO); marine gas oil (MGO)

⁴⁹ DNV (2022): Maritime forecast to 2050 – 2022 edition. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)

In Figuur 14 is de energiemix voor 2050 weergegeven voor de “100% decarbonisation” scenario’s van DNV (zie kader). De energiemix varieert enorm tussen de scenario’s. Alleen voor elektriciteit is in alle scenario’s een vergelijkbare rol weggelegd: tegen de 5%. Waterstof heeft DNV niet als aparte brandstof opgenomen in de scenario’s; waterstofdragers als e-methanol en e-ammoniak zijn wel meegenomen. Uit de scenario’s komt naar voren dat vooral dat beschikbaarheid en de kosten van de verschillende brandstoffen bepalend zijn voor de invulling van de toekomstige energiemix:

- Hoge beschikbaarheid van biomassa tegen gunstige prijzen zorgen voor een dominante rol voor biobrandstoffen; e-fuels en blauwe brandstoffen komen dan niet in de energiemix voor.
- Bij gelijke productiekosten voor biobrandstoffen worden vooral drop-in opties (bio-MGO, bio-LNG) toegepast. Bio-methanol, waarvoor aangepaste schepen nodig zijn, kan een grote rol krijgen als de productiekosten daarvan lager blijken te zijn.
- Bij een gunstige prijs van hernieuwbare elektriciteit komen e-fuels in de energiemix. Bij zeer lage prijzen domineren e-fuels de energiemix volledig; bij minder gunstige prijzen is er ook een grote rol weggelegd voor biobrandstoffen.
- Bij hoge kosten van niet-fossiele CO₂ als grondstof voor e-fuels (bijvoorbeeld door gebruik van Direct Air Capture) zullen koolstofhoudende e-fuels (e-MGO, e-LNG, e-methanol) veel duurder zijn dan e-ammoniak en is er een stimulans om te investeren en duurdere schepen, motoren en infrastructuur voor toepassing van ammoniak⁵⁰. Dit geldt ook bij lage beschikbaarheid van biomassa en dus van biogene CO₂ als grondstof voor e-fuels⁵¹.
- Bij gunstige prijzen voor fossiele en blauwe brandstoffen zullen deze opties een groot aandeel hebben in de energiemix. In de scenario’s wordt de rest van de energiemix ingevuld met biobrandstoffen, vanwege de aanname dat die goedkoper zullen zijn dan e-fuels.

⁵⁰ De diverse studies die zijn bekeken door CE Delft (2022) laten een divers beeld zien over de toekomstige rol van e-ammoniak. Sommige studies voorzien een grote rol tot wel bijna de helft van de energiemix, andere zien juist een zeer grote rol voor e-methanol geproduceerd uit hernieuwbare waterstof en biogene CO₂.

⁵¹ Dit blijkt uit dat de scenario’s met een 99% reductie ambitie van de Technische Universiteit Denemarken (2021) met een lage of middel beschikbaarheid van biomassa tegen bij geen enkele CO₂-prijs kunnen worden gerealiseerd. Dit komt vooral doordat er een tekort ontstaat aan alternatieve energiedragers door een te hoge elektriciteitsvraag in deze scenario’s (CE Delft, 2022).

Naast DNV wijzen ook andere studies op de grote invloed van onderlinge prijsverschillen tussen én binnen categorieën brandstoffen. Hierbij speelt de beschikbaarheid, en daarmee ook de prijs van biomassa een cruciale rol. Dit geldt niet alleen voor biobrandstoffen, maar ook voor e-fuels die gebruik maken van biogene CO₂ als grondstof. Ook komt in andere studies de prijs van hernieuwbare elektriciteit als belangrijke factor naar voren.

Specifiek voor ammoniak wordt in studies aangegeven dat de toekomstige rol sterk afhangt van de veiligheidsaspecten, en in hoeverre deze in de toekomst geregeld zullen zijn. Veel studies hanteren als aanname dat dit het geval zal zijn. Zo niet, dan wordt een grotere rol verwacht voor methanol, dat weliswaar duurder is maar gemakkelijker toepasbaar.

Net als het eindbeeld voor 2050 is ook de energiemix in de transitieperiode naar 2050 heel divers. E-fuels lijken pas op de langere termijn, na 2030-2035, op grote schaal beschikbaar te zijn. Tot die tijd laten scenariostudies een belangrijke rol zien voor drop-in biobrandstoffen, bio-methanol en blauwe brandstoffen. Sommige studies wijzen specifiek op een relevante rol voor UPO/HPO (pyrolyse-olie), blauwe ammoniak, LNG en bio-LNG in de transitieperiode. Of blauwe ammoniak een overgangsbrandstof blijft of opgevolgd zal worden door e-ammoniak hangt af van de opschalingsmogelijkheden en de broeikasgasprestatie van blauwe ammoniakproductie enerzijds, en van de prijs en de productiecapaciteit van hernieuwbare elektriciteit anderzijds⁵².

⁵² CE Delft (2022)

DE SCENARIO'S VAN DNV

In de "Maritime Forecast to 2050" uit 2022 heeft DNV een uitgebreide scenariostudie gedaan met 24 scenario's; 12 daarvan (scenario 13 tot en met 24) gaan uit van een eindbeeld van een klimaatneutrale zeevaart. Hierin worden op een systematische manier de verschillende mogelijke variaties in aannames gesimuleerd om te kijken wat het effect is op de energiemix.

DNV kijkt in de scenario's naar een selectie van brandstofopties (waterstof zit er bijvoorbeeld niet in). In de verschillende scenario's heeft steeds een bepaalde categorie brandstoffen – door DNV "brandstof familie" genoemd – een (groot) kostenvoordeel ten opzichte van de andere categorieën, namelijk biobrandstoffen (13 t/m 16), e-fuels (17 t/m 20) of fossiele/blauwe brandstoffen (21 t/m 22). Ook binnen de categorieën zijn vervolgens specifieke brandstoffen relatief goedkoper aangenomen dan andere. Welke dat zijn varieert per doorgerekend scenario. In onderstaande tabel zijn de uitgangspunten van DNV per scenario opgenomen.

Scenario	Brandstof familie variatie	Specifieke brandstofkosten variatie
13	Very low bio	
14	Very low bio	20% hogere kosten voor bio-MGO en bio-LNG tov bio-methanol
15	Low bio	
16	Low bio	20% hogere kosten voor bio-MGO en bio-LNG tov bio-methanol
17	Very low electro	
18	Very low electro	150% tot 200% hogere kosten voor e-MGO, e-LNG en e-methanol tov e-ammoniak
19	Low electro	
20	Low electro	150% tot 200% hogere kosten voor e-MGO, e-LNG en e-methanol tov e-ammoniak
21	Very low fossil and blue	
22	Very low fossil and blue	20% hogere kosten voor LNG
23	Low fossil and blue	
24	Low fossil and blue	20% LNG hogere kosten voor LNG

4

De complexiteit van de uitdaging ontrafeld, en handelingsperspectieven voor versnelling



4.1 DE KIP-EI IMPASSE

Om de transitie naar een klimaatneutrale zeevaart mogelijk te maken moeten er nieuwe diensten, producten en technologieën in de markt worden gezet. Een breed scala aan ondernemers uit verschillende sectoren is hierbij betrokken. Niet alleen uit de maritieme sector. Maar ook uit de brandstofproductiesector, het opslag- en havenwezen, de financiering en vele anderen. Om de innovatieve projecten van de grond te krijgen moet er sprake zijn van een haalbare business case voor alle partijen uit de keten. Verschillende factoren maken dat dit nu vaak nog niet het geval is. Onzekerheden leiden ertoe dat ondernemers geen strategische koers kunnen bepalen, en dat de business case van hun innovatieve projecten niet sluitend is.

Wat voor onzekerheden hebben we het dan over? Om er een paar te noemen: onzekerheden over de ontwikkeling en effecten van regelgeving, van politieke en maatschappelijke druk, van technologie ontwikkeling en van de arbeidsmarkt. Om de business case rond te krijgen moet de ondernemer de relevante onzekerheden ofwel kunnen wegnemen, ofwel hij of zij moet de risico's die met deze onzekerheden gepaard gaan, voldoende kunnen afdekken. Beide routes gaan vaak niet zonder slag of stoot. Als gevolg daarvan komen projecten niet altijd van de grond. Dit vormt een belemmering in het verloop van de transitie.

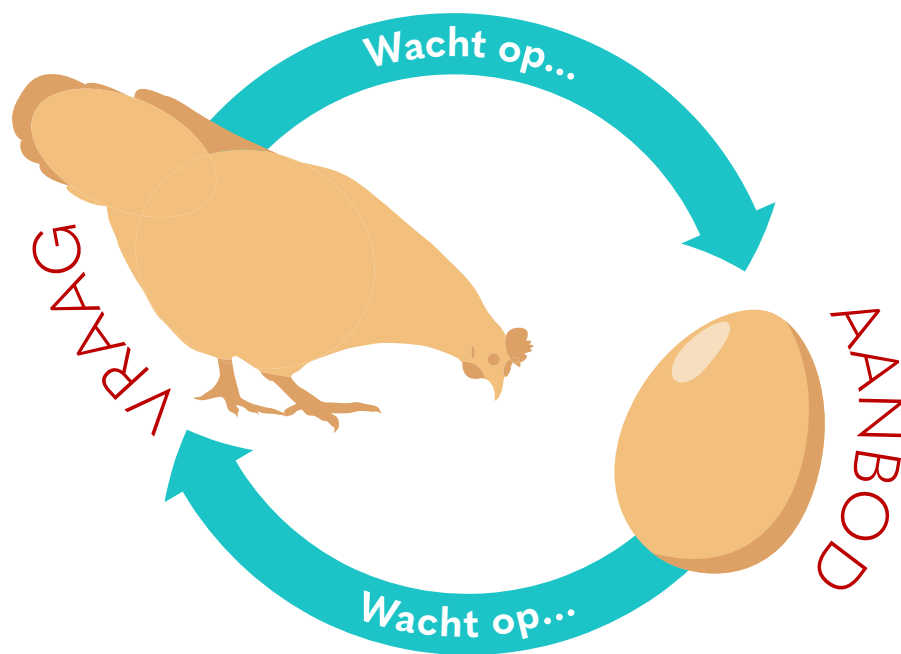
Van alle onzekerheden is de onzekere ontwikkeling in vraag en aanbod van alternatieve energiedragers, één van de meest cruciale. Niet voor niks is brandstofbeschikbaarheid door de sector als urgente uitdaging aangemerkt. Onzekerheid over de vraag naar alternatieve energiedragers remt zowel de productie als de realisatie van opslagfaciliteiten en infrastructuur. Op hun beurt belemmert het uitblijven van brandstofproductie en infrastructuur de vraag. Deze wisselwerking laat zich karakteriseren als een klassieke kip-ei verhouding – aanbod blijft uit want er is geen vraag, vraag blijft uit want er is geen aanbod. De kip-ei kwestie beïnvloedt niet alleen de investeringsbereidheid van reders, brandstofproducenten en havenbedrijven, maar direct of indirect ook van vele andere stakeholdergroepen in de keten. Denk aan toeleveranciers van scheepsonderdelen, grondstofproducenten, bunkeraars, brandstofhandelaren etc.

Het gebrek aan vraag en aanbod van energiedragers houdt zichzelf in stand. Deze spiraal zou worden doorbroken als het gebruik van alternatieve energiedragers concurrerend zou zijn ten opzichte van conventionele brandstoffen of als het gebruik of de productie verplicht wordt. Door compliance aan regelgeving ontstaat de vraag. En een toename in de vraag leidt tot aanbod. De overstap op alternatieve energiedragers zal waarschijnlijk wel leiden tot een stijging van de kosten voor de zeevaart. Maar de

sector verwacht dat de zeevaart deze extra kosten wel zal kunnen dragen, mits er mondiaal een gelijk speelveld is waarin de kosten voor alle partijen tegelijk toenemen. In dat geval worden de (meer)kosten uiteindelijk via de keten doorberekend aan de consument. Door internationale regelgeving op mondiaal niveau ontstaat zo'n gelijk speelveld. De bekostiging van klimaatneutrale technieken en brandstoffen wordt dan ook gezien als een tijdelijk probleem. Op voorhand valt echter moeilijk te voorspellen wanneer het keerpunt naar een markt gebaseerd op alternatieve energiedragers precies plaats zal vinden. Tot die tijd bestaat er een vicieuze cirkel van stakeholders die allemaal elkaars klant zijn, allemaal een business case moeten opbouwen, en geen van allen de risico's van een onzekere vraagontwikkeling kunnen of willen dragen.

De Nederlandse sector kan en wil niet wachten tot regelgeving de markt tot stand brengt. Nu inzetten op innovaties helpt de Nederlandse sector om een leidende positie in te nemen in de transitie naar klimaatneutraliteit. Bovendien zijn investeringen nu nodig, wil de zeevaartsector straks kunnen voldoen aan verplichtende regelgeving en kunnen beschikken over de mogelijk schaarse alternatieve energiedragers in een toekomstig speelveld van concurrerende sectoren met allen hun eigen verduurzamingsopgave. Dit betekent dat klimaatneutrale innovaties nu moeten worden doorontwikkeld en in de markt moeten worden gezet. Het rondkrijgen van de business case is daarbij een urgente uitdaging.

In de paragrafen hieronder wordt opeenvolgend ingegaan op een drietal thema's die door de Nederlandse sector als zeer urgent zijn aangemerkt: 1) het organiseren van stabiele, consistente en voldoende effectieve nationale en internationale regelgeving; 2) het opschalen van de productie van alternatieve energiedragers; en 3) het creëren van een sluitende business case voor alle partijen in de keten. Daarnaast worden in [paragraaf 4.5 handelingsperspectieven](#) geschetst, die aanknopingspunten bieden om knelpunten met betrekking tot deze thema's uit de weg te ruimen, en kansen te verzilveren. De focus op de drie thema's is tot stand gekomen aan de hand van een uitgebreide methode en een omvangrijk aantal werksessies. Er is een stakeholderanalyse uitgevoerd, er is met input van alle relevante belanghebbenden onderzocht welke onzekerheden doorwerken op welke onderlinge stakeholderrelaties, en er is in een setting met ketenbrede vertegenwoordiging prioritering aangebracht in het brede pallet aan geïdentificeerde onzekerheden. Uit dit alles is gevolgd dat de drie bovengenoemde thema's met de hoogste prioriteit inzet en actie vereisen, wil Nederland de brandstoftransitie van de zeevaart succesvol kunnen doorlopen. Hoe deze inzet en actie eruit moet zien, staat opgenomen in de handelingsperspectieven van paragraaf 4.5.



4.2 KLIMAATGERICHTE REGELGEVING

In juli 2023 heeft de International Maritime Organization (IMO) een nieuwe ambitie vastgelegd voor de zeevaart: een klimaatneutrale zeevaart in of rond 2050. Nooit eerder is op mondiale schaal voor één sector een dergelijk ambitieus klimaatdoel vastgesteld. De IMO doelen sturen een belangrijk signaal richting de markt: de overstap naar alternatieve energiedragers in de zeevaart komt eraan. Instrumenten die het behalen van deze doelen moeten borgen, zijn nog in ontwikkeling. Er is afgesproken dat maatregelen horende bij de nieuwe doelen uiterlijk in 2025 worden vastgesteld en in 2027 in werking treden. Het huidige IMO instrumentarium bevat relevante drivers voor energiebesparing, zoals de EEDI, EEXI en CII regelgeving (zie voor internationale beleidskaders, bijlage 10). Maar voor een route naar klimaatneutraliteit is meer nodig, namelijk de inzet van klimaatneutrale energiedragers. Totdat dit aanvullende IMO instrumentarium vastgesteld is, is aanvullend beleid wenselijk om de brandstoftransitie

op gang te krijgen.

De EU is op dit gebied koploper met haar Fit for 55 (FF55) pakket, dat de komende jaren op verschillende facetten van de markt in werking treedt om zo op te bouwen naar een ecosysteem waarin alternatieve, duurzame energiedragers concurrerend zijn met fossiele scheepsbrandstoffen. In FF55 wordt zowel ingespeeld op de vraag (FuelEU Maritime), het aanbod (herziening van de RED), ontmoediging van fossiele bronnen en verkleining van het prijsverschil met alternatieven (ETS) als minimale eisen aan de ontwikkeling van infrastructuur (AFIR). Recentelijk heeft de EU in haar nieuwe strategie voor 2040 bovendien opgenomen, dat het overweegt om energiedragers te reserveren voor de scheep- en luchtvaart: "Addressing barriers to the deployment of alternative low- and zero-emissions fuels (including e-fuels and advanced biofuels) in aviation and maritime and giving them priority access to these fuels over sectors that have access to other decarbonisation solutions, such as direct electrification, will enable these sectors to contribute to the EU's climate objectives and to the global climate agenda"⁵³.

De Europese FF55 is een krachtig middel, maar de impact is door haar regionale karakter beperkt: Europees beleid kan beperkt eisen stellen aan reductie van broeikasgasemissies en bunkeractiviteiten buiten Europa. Met het oog op een gelijk speelveld verdient een mondiale aanpak in alle gevallen de voorkeur. IMO is daarmee het preferente gremium als regelgevend orgaan.

Hieronder wordt een aantal aandachtspunten beschreven die relevant zijn met het oog op klimaatgerichte regelgeving. Dit zijn: 1) het behouden en versterken van de Nederlandse invloed in internationale gremia; 2) de roep om verduidelijking van Europese klimaatgerichte instrumenten; 3) het nut van nationaal organiseren wat internationaal niet kan; 4) stabiele, heldere en consistente regelgeving als randvoorwaarde voor de transitie; 5) human capital als absolute randvoorwaarde om uit beleid voortvloeiende activiteiten uitgevoerd te krijgen.

⁵³ European Commission, *Securing our future Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society*, [EUR-Lex - 52024DC0063 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)



Nederlandse invloed in internationale gremia

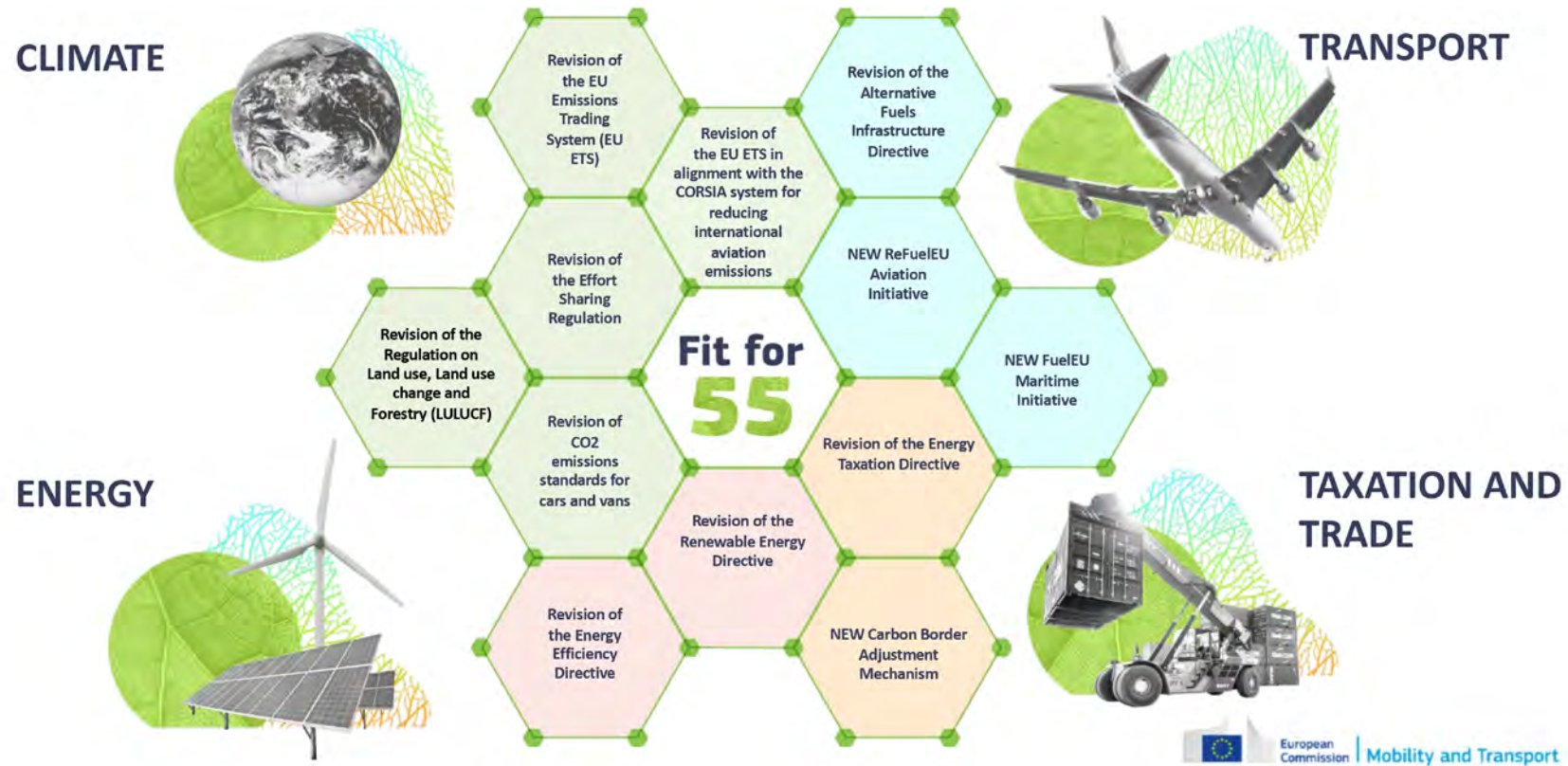
Omdat regelgeving bij voorkeur internationaal uitgerold moet worden, is het belangrijk om daarop te kunnen sturen door de Nederlandse invloed te behouden en te versterken. Zowel binnen de IMO, de EU als binnen andere internationale samenwerkingsverbanden. En zowel middels inzet van de overheid, de inzet van de marktpartijen en de inzet en positie van ons kenniscluster. Afstemming tussen de publieke en private stakeholders die bij de verschillende internationale gremia aangesloten zijn, is daarbij wenselijk.

Timing en grootte effect Europese instrumenten is nog onduidelijk

De sector geeft aan dat de markt al aan het anticiperen is op de inwerkingtreding van toekomstige EU en IMO regelgeving. Zo moeten rederijen vanaf 2024 CO₂-emissierechten inleveren voor hun CO₂-uitstoot (ETS), en zorg dragen voor een verminderde broeikasgasintensiteit van brandstoffen op schepen groter dan 5000 bruto tonnage

(FuelEU Maritime). Mogelijk wordt deze grens bij een herziening verlaagd. Daarnaast moeten brandstofleveranciers een verplicht aandeel hernieuwbare energie gaan leveren aan de zeevaart (REDIII). Mogelijk komt er ook nog een herziening van het accijnsstelsel (ETD), ten nadele van fossiele brandstoffen en ten gunste van energiedragers met een lage broeikasgasemissie. Het is nog onzeker wat de precieze effecten zullen zijn van de verschillende Europese instrumenten op het prijsverschil tussen fossiele en alternatieve energiedragers. Het is de vraag of het prijsniveau van CO₂-emissierechten bij het onderbrengen van zeevaart in het ETS systeem voldoende zal zijn om het prijsverschil op te heffen, en zo ja, wanneer dit het geval zal zijn. Daarmee is de business case van productie en toepassing van alternatieve energiedragers onzeker. Ook is het onzeker op welke termijn we deze effecten zullen gaan zien. De verwachting is dat FuelEU Maritime en ETS pas op de wat langere termijn echt effectief zullen zijn. De precieze timing en grootte van de impact is onderwerp van onderzoek bij verschillende instituten en organisaties.

Figuur 15 Overzicht van "Fit for 55" beleidsvoorstellen (juli 2021)



Nationaal organiseren wat niet internationaal kan

Op sommige punten volstaan internationale beleidskaders niet, of nog niet. Denk aan schepen kleiner dan 5000 bruto tonnage, die op dit moment nog niet vallen onder de eisen van FuelEU Maritime en ETS. Ook de IMO instrumenten die zich richten op de inzet van alternatieve energiedragers zullen zich in eerste instantie mogelijk richten op het grotere scheepssegment. Zeker voor de Nederlandse vloot, waar circa de helft van de schepen kleiner is dan 5000 bruto tonnage, is dit een gemiste stimulans voor verduurzaming en innovatie. Nederlandse reders willen graag innoveren. Zij zijn daarom gebaat bij het aanvullend sturen op en stimuleren en faciliteren van verduurzaming van onder meer de kleinere scheepssegmenten. Het is zaak om steeds te

onderzoeken wat er nationaal nog aanvullend geregeld kan worden, om zo bij te dragen aan het versnellen van de brandstoftransitie. Een voorbeeld van een Nederlandse aanpak is het vrijwillig laten meetellen van biobrandstoffen geleverd aan zeevaart in de systematiek Hernieuwbare Energie voor Vervoer, waardoor hiervoor hernieuwbare brandstofeenheden (HBE's) kunnen worden verkregen⁵⁴. Dit is een relevante stimulans voor het gebruik van biobrandstoffen in de zeevaart.

⁵⁴ De HBE systematiek staat toegelicht op de website van de Nederlandse Emissieautoriteit. [Marktmechanisme hernieuwbare Energie voor Vervoer en HBE's](#) | Nederlandse Emissieautoriteit

Stabiele, heldere en consistente regelgeving is een randvoorwaarde

Regelgeving kan zowel een kans als een bedreiging vormen voor de brandstoftransitie. Vanwege de Europese verplichtingen, moeten alle onderdelen van de keten voor alternatieve energiedragers – productie, infrastructuur en toepassing op schepen - de komende jaren verder opgeschaald worden. Stabiele, heldere en consistente regelgeving is een randvoorwaarde voor de bereidheid van partijen om daarin te investeren. Dit betekent daarmee ook dat waar huidige of toekomstige regelgeving afwezig, onduidelijk, conflicterend of onnodig complex of beperkend is, dit een belangrijke belemmering vormt voor het doen van deze investeringen en dus voor ontwikkeling en opschaling van alle schakels in de waardeketen.

Enkele punten waarop aanscherping en verduidelijking gewenst is:

- In de visie van de sector zijn er diverse verschillen en onduidelijkheden binnen en tussen Europese instrumenten waar het de telling van broeikasgasemissies betreft. Zo gebruiken ETS en EU-MRV een tank-to-wake (TTW) benadering, daar waar FuelEU Maritime en de REDIII een well-to-wake (WTW) benadering kennen. Mogelijk worden ETS en EU-MRV hier in de toekomst op herzien. Ook binnen de IMO worden zowel WTW als TTW benaderingen gehanteerd, en is nog niet helder welke benadering in toekomstige instrumenten zal worden gekozen.
- Onzekerheid over de (ver)plaatsing van grondstoffen op Annex IX-A of IX-B van de RED en de limiet op Annex IX-B grondstoffen belemmert investering in- en opschaling van productiecapaciteit en ketens. Marktpartijen geven aan dat dit kan worden verbeterd a) Door verruiming van de limiet op Annex IX-B grondstoffen bij significante toevoegingen van grondstoffen aan Annex IX-B, en b) Door het behouden van volwassen technieken op de Annex IX-A lijst, in plaats van verplaatsing naar Annex IX-B zodra de techniek volwassen is.
- Onduidelijkheid over de mogelijkheden en beperkingen van massabalans in het Europese aardgasnet. Marktpartijen constateren dat mechanismen als ‘mass balancing over the EU gas grid’ en ‘virtual liquefaction’ (virtuele vervloeijing) in Nederland soms niet zijn toegestaan, waar dat door de Europese regelgeving (Implementing Regulation (EU) 2022/996U) wel wordt toegestaan en waar dat in andere landen (zoals België, Spanje, Italië en de UK) al in de praktijk wordt toegepast. Volgens hen is aanpassing in de Nederlandse regelgeving nodig (Besluit en Regeling Energie Vervoer), omdat in Nederland gevestigde bedrijven anders geen rol kunnen spelen in deze markten.
- Zoals hierboven benoemd, leiden ontwikkelingen in Europese en internationale (IMO) regelgeving tot onzekerheden. Zo is de timing en grootte van de impact van het Europese FF55 pakket onduidelijk, en staat nog niet vast welke wijzigingen bij komende herzieningen worden doorgevoerd – denk aan het mogelijk verlagen

van de 5000 bruto tonnage grens in ETS en FuelEU Maritime. Daarnaast wordt de komende jaren onder de IMO gewerkt aan een instrumentarium dat moet toezien op het behalen van een klimaatneutrale zeevaart in of rond 2050. Hoe het IMO instrumentarium eruit zal zien, en of bestaande IMO en EU instrumenten als gevolg hiervan zullen worden gewijzigd, is nog niet bekend.

Human Capital

Niet direct gerelateerd aan klimaatgerichte regelgeving maar wel essentieel voor het kunnen uitvoeren van alle hieruit voortvloeiende implicaties voor ondernemers, is de beschikbaarheid over voldoende en kundig (of competent) opgeleid personeel. Human Capital is een cruciaal element in de transitie. Zeker nu er een nieuwe lichter technieken en brandstoffen in opkomst is binnen de zeevaart, die de nodige eisen stellen aan arbeidskrachten. Bijvoorbeeld omdat ze complex zijn in het gebruik, of gepaard gaan met stevige veiligheidsvoorschriften. De beschikbaarheid voor de maritieme sector en voldoende competentie van de mensen naast de techniek, is een noodzakelijke randvoorwaarde wil de techniek een rol kunnen spelen in de transitie.

Een tekort aan personeel wordt overal in de keten gevoeld. Bij motorproducenten, die mensen tekort komen in de R&D, de productie en in hun service netwerk wereldwijd. Motorfabrikanten geven aan de mensen niet te hebben om voor alle mogelijke energiedragers en vermogensranges, motoren te ontwikkelen. Human Capital is ook een groot thema bij rederijen. Mooie technische oplossingen kunnen grote impact hebben op het benodigde opleidingsniveau van de bemanning en op onderhoudsvoorschriften. Het internationale speelveld van de zeevaart maakt de opgave extra complex. Zeker ook voor rederijen, wiens bemanning aan boord vaak elders in de wereld wordt ingehuurd. Hoe zorg je dat je de crew van niet-westers personeel op het juiste kennisniveau krijgt? De maritieme sector kan hier leren van andere sectoren. Want daar waar energiedragers als methanol en ammoniak nieuwkomers zijn als bunkerbrandstoffen voor zeeschepen, zijn het bekende chemicaliën voor de chemische industrie. Als het gaat om het kennisniveau van personeel en het gedrag van mensen, kan kennis worden gehaald uit de chemische industrie. Andersom kan het ook een bewuste overweging zijn om in te zetten op een minder complexe technologie, om handling te vereenvoudigen en in investeringen in nieuwe technologieën die arbeid besparen, waardoor op termijn de arbeidsproductiviteit stijgt.

Personeelstekorten spelen zeker niet alleen binnen het maritieme cluster. In de havens is goed opgeleid personeel onmisbaar als nieuwe energiedragers op steeds grotere schaal getransporteerd en gebunkerd worden – energiedragers met soms explosieve en toxische kenmerken. Klassebureaus, toezichthouders, vergunningverleners en

andere overheidsorganisaties hebben allen te maken met personeelstekorten. En ook in andere sectoren zoals de industrie vertragen personeelstekorten de energietransitie. Binnen de Topsectoren is er een Human Capital programma⁵⁵ dat erop gericht is arbeidskrachten voor de betreffende sectoren te bevorderen. Dit programma zet in op *Learning Communities*. In deze communities werken bedrijven, onderwijsinstellingen en onderzoeksinstellingen samen. Eén van deze learning communities is die van het Maritiem Masterplan⁵⁶. Hier worden studenten en werknemers ondersteund en opgeleid voor het omgaan met digitalisering en de onder het masterplan ontwikkelde technieken. Onder de Topsector Energie bestaat daarnaast een Human Capital Agenda, met een jaarplan voor 2024⁵⁷. Hierin wordt aangesloten bij onder meer het Actieplan Groene en Digitale Banen van het ministerie van EZK⁵⁸. In dit actieplan van februari 2023 worden meerdere factoren benoemd die de oorzaak zijn van het personeelstekort in de technische sector. Onder meer worden genoemd vergrijzing, weglek gedurende de loopbaan (overstap naar een andere sector) en het uitblijven van verbeterde lonen en arbeidsvoorwaarden. De Human Capital Council van Nederland Maritiem Land⁵⁹ schrijft de tekorten in het maritieme toe aan vergrijzing enerzijds, en een teruglopende instroom van studenten in de maritieme en technische opleidingen anderzijds. Het imago van de sector blijft een uitdaging.

Er lopen verschillende initiatieven die zich inzetten voor het verbeteren van personeelsbeschikbaarheid op de verschillende schakels in de keten. Op dit moment is niet bekend wat de precieze omvang is van de uitdaging op Human Capital gebied, binnen de scope van de maritieme transitie naar klimaatneutraliteit. In het Maritiem masterplan wordt voor 2030 een tekort van 6000 arbeidskrachten geschat voor het maritieme cluster. Hoe groot deel hiervan gepaard gaat met belemmeringen van de brandstoftransitie in de zeevaart, en hoe groot de tekorten zijn voor de andere relevante clusters zoals de brandstoffenketen en het havenwezen, is niet bekend. Een beter beeld van de uitdaging is noodzakelijk om gericht acties te kunnen definiëren. Dergelijke acties zouden daarbij moeten aansluiten bij lopende initiatieven.

⁵⁵ [Human Capital bij Topsectoren | Topsectoren](#)

⁵⁶ Maritiem Masterplan. [Het Maritiem Masterplan - masterplan](#)

⁵⁷ [Naamloos \(topsectorenergie.nl\)](#)

⁵⁸ [Kamerbrief Actieplan Groene en Digitale Banen, overheid.nl](#)

⁵⁹ Human Capital Council, Nederland Maritiem Land, Op koers naar 2030.

4.3 BESCHIKBAARHEID VAN ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS

De beschikbaarheid en betaalbaarheid van alternatieve energiedragers is een belangrijke voorwaarde in de transitie. De centrale opgave hierbij is het zekerstellen van voldoende volumes tegen acceptabele en beter voorspelbare prijzen. Onder meer omdat de zeevaart met stookolie lange tijd een lage brandstofprijs heeft betaald, zonder concurrentie van andere sectoren, raakt de transitie naar duurdere en mogelijk schaarse alternatieven aan de energiezekerheid van de sector. Een lange termijn geografische beschikbaarheid is essentieel voor rederijen om over te stappen op het gebruik van alternatieve energiedragers.

Een zestal aandachtspunten met betrekking tot de beschikbaarheid van energiedragers wordt hieronder beschreven: 1) inzicht in de brandstofvraag; 2) vraagontwikkeling voor alternatieve energiedragers; 3) aantrekkelijkheid van de zeevaart als markt; 4) standaardisering en certificering van brandstoffen; 5) een liquide markt voor alternatieve energiedragers; 6) beschikbaarheid van grondstoffen.

Inzicht in de brandstofvraag

De investeringsbereidheid van brandstofproducenten en andere schakels in de waardeketen wordt belemmerd door onzekerheden over de ontwikkeling van de brandstofvraag voor zeeschepen, zowel qua volumeontwikkeling als qua verdeling over de verschillende alternatieve energiedragers. In de Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart wordt aandacht besteed aan de verwachte vraagontwikkeling richting 2050. Zoals beschreven onder hoofdstuk 2, verwacht de Nederlandse sector dat de zeevaart de komende decennia gebruik zal maken van een mix van verschillende energiedragers. Een variëteit aan internationale onderzoeksinstituten hebben de mogelijke ontwikkeling van de brandstofmix in de wereldvloot onderzocht. In elke studie worden verschillende uitgangspunten gehanteerd en aannames gedaan, bijvoorbeeld over de beschikbaarheid en prijzen van energiedragers. Gezien de onzekerheden in al deze factoren, zijn de variaties in de voorspelde brandstofaandelen voor 2050 significant⁶⁰. In [paragraaf 3.7](#) wordt geschetst welke gemene delers er te destilleren zijn uit de verschillende scenario studies.

⁶⁰ Zie bijvoorbeeld Figuur 2 van [Enhanced modelling of maritime's future fuel mix - DNV](#)

Vraagontwikkeling voor alternatieve energiedragers

De verwachting is dat de productie van energiedragers verder op gang komt bij voldoende vraag. Deze is er op dit moment nog onvoldoende. Klimaatgerichte regelgeving stuurt hier de komende jaren steeds sterker op aan. Op dit moment zijn de eisen echter vaak nog onvoldoende om de vraagvolumes te creëren die leiden tot investeringen in productie. Er is slechts een beperkte vrijwillige vraag vanuit een groep koplopers, en er is nog te weinig verplichte vraag gestuurd door regelgeving. Vraagbundeling kan opschaling versnellen. Door vraagbundeling kan voldoende afname worden gegarandeerd om de productie van een energiedrager rendabel te maken. Denk bij vraagbundeling aan coöperaties tussen reders en/of lading eigenaren, maar ook aan een koppeling van de zeevaart met andere eindmarkten die behoefte hebben aan dezelfde producten, zoals de chemische industrie.

Aantrekkelijkheid van de zeevaart als markt

De zeevaart is slechts een van de vele sectoren die aanspraak zal willen maken op de alternatieve energiedragers. Klassiek gezien is het de sector die het minste voor haar brandstoffen betaalt. Dit betekent dat zelfs als de vraag vanuit de zeevaartsector stijgt, dit nog niet per definitie een incentive is voor brandstofproducenten om voor de zeevaart te gaan produceren. De marges in andere sectoren, zoals de luchtvaart, kunnen velen malen hoger liggen en daarmee een aantrekkelijker markt vormen voor producenten. Bovendien zijn er op dit moment enkel indirecte verplichtingen op de brandstofketen om te leveren, geen directe, al komt hier verandering in ([zie paragraaf 3.2](#)).

Standaardisering en certificering van brandstoffen

Standaardisering en certificering van brandstoffen zijn randvoorwaarden voor opschaling. Door middel van standaardisering van brandstoffen via kwaliteitsnormen (technische specificaties) kunnen alternatieve energiedragers beter verhandeld- en dus ook opgeschaald worden. Op deze manier worden prijzen uniformer en transparanter (commodity). Voor veel brandstoffen, denk aan methanol, is nog niet bekend aan welke technische specificaties zij voor toepassing in de zeevaart moeten voldoen. Daarnaast zullen brandstofnormen zoals ISO 8217 moeten worden aangepast op het gebruik van- en blenden van alternatieve energiedragers.

Certificering van duurzaamheidsaspecten en broeikasgasemissiereducties voor de energiedragers is tevens een belangrijk aandachtspunt (zie ook paragraaf 3.4). Hoe kunnen brandstofleveranciers en gebruikers van biobrandstoffen aantonen dat ze een duurzame biobrandstof hebben geleverd / gebunkerd? Middels certificering krijgen inkopers van de brandstoffen een garantie van de duurzaamheid van de brandstof.

Een liquide markt voor alternatieve energiedragers

De grote onzekerheid in de ontwikkeling van brandstofprijzen, is een belemmerende factor in de transitie. Zowel in de business case van de reder als in die van de brandstofproducent, als van andere partijen in de keten. Met betrekking tot de betaalbaarheid en prijsstabiliteit van de brandstoffen, zou een opzet van commodities schaalvoordelen met zich meebrengen. Uniforme mondiale prijzen, die zekerheid bieden voor producent en gebruiker. Op dit moment worden prijzen vaak bilateraal afgesproken in ad hoc contracten tussen reder en brandstofleverancier. Commodities kunnen verhandeld worden en bieden de mogelijkheid om een markt voor de energiedragers te ontwikkelen, die investeerders aantrekt. Het optuigen van een internationale commodities markt wordt gezien als een belangrijke mogelijkheid om de beschikbaarheid en betaalbaarheid van brandstoffen te verbeteren. De Hydrogen Bank⁶¹ is een voorbeeld van een systeem dat probeert de markt aan te zwengelen. Mogelijk kunnen voor andere alternatieve energiedragers soortgelijke systemen van meerwaarde zijn.

Beschikbaarheid van grondstoffen

De beschikbaarheid van grondstoffen voor alternatieve energiedragers is niet vanzelfsprekend. De uitdagingen verschillen voor biograndstoffen en grondstoffen met hernieuwbare energie en circulaire koolstof als bron.

De beschikbaarheid van biograndstoffen kent twee facetten. Enerzijds wordt de beschikbaarheid sterk beïnvloed door regelgeving. Aandachtspunten hieromtrent hebben met name betrekking op de Annex IXA en IXB van de RED, zoals beschreven in [paragraaf 3.2](#). Daarnaast is relevant de fysieke beschikbaarheid van de grondstoffen. Wat kan er technisch en economisch gezien geproduceerd, ingezameld en gemobiliseerd worden? De geografische versnippering van veel grondstoffen vormt een uitdaging bij het opzetten van de logistieke ketens. De beschikbaarheid kan opschalen door bundeling van grondstoffen die voor meerdere productieprocessen en dus toepassingen kunnen worden gebruikt. Commodity vorming middels standaardisering en certificering van grondstoffen en intermediaire producten, ondersteunt hierbij.

Voor hernieuwbare elektriciteit als bron is een relevante afweging: in hoeverre willen en kunnen we deze zelf opwekken binnen Nederland en binnen Europa, en in hoeverre willen we de energiedragers importeren? De geografische verdeling van wind en zon wereldwijd maakt Europa niet automatisch de meest optimale keuze voor energieopwekking. Dit is een strategische keuze met een sterk geopolitieke component.

⁶¹ [EUR-Lex - 52023DC0156 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

Op dit moment wordt er in de sector breed debat gevoerd over de optimale balans tussen import en eigen productie van (bunker)brandstoffen- en de implicaties hiervan voor de sector. Bijvoorbeeld wordt in het Nationaal Plan Energiesysteem⁶² gekeken naar het bredere vraagstuk van omvorming van onze energievoorziening naar één die gebruik maakt van hernieuwbare elektriciteit, circulaire koolstof en biobrandstoffen. Naast de opwekking van hernieuwbare elektriciteit, is ook de distributie ervan over het elektriciteitsnet een cruciale uitdaging. Netcongestie brengt de stroomvoorziening voor walstroom en batterij elektrisch laden in gevaar.

4.4 EEN BUSINESS CASE VOOR ALLE PARTIJEN IN DE KETEN

Een centraal thema in de transitie is het rondkrijgen van de business case voor alle partijen in de keten. Een gezonde business case is een voorwaarde voor grootschalige uitrol van klimaatneutrale brandstoffen en daarbij behorende technologieën. Op dit moment zitten we in een overgangsfase waarin alternatieve energiedragers vaak nog niet kunnen concurreren met conventionele scheepsbrandstoffen. Maar Nederlandse partijen kunnen en willen niet wachten tot de markt door regelgeving of maatschappelijke druk op gang komt. Nu inzetten op innovaties helpt de Nederlandse sector om een leidende positie in te nemen in de transitie naar klimaatneutraliteit. Bovendien zijn investeringen nu nodig, wil de zeevaartsector straks kunnen voldoen aan verplichtende regelgeving en kunnen beschikken over de mogelijk schaarse alternatieve energiedragers.

De grote vraag is dan ook: hoe kunnen ondernemers in deze overgangsfase van de transitie en ondanks alle onzekerheden de kip-ei spiraal doorbreken en een sluitende business case creëren voor het gebruik van klimaatneutrale energiedragers en technieken in de zeevaart? Financiële ondersteuning vanuit de overheid kan hierin helpen. Maar puur op overheidsondersteuning kan de transitie niet varen. Er is meer nodig om de kip-ei spiraal te doorbreken. Een drietal mogelijke denkrichtingen wordt hieronder toegelicht: 1. Samenwerking in de keten; 2. Betalingsbereidheid van de eindgebruiker; 3. Innovaties in financiering.

Samenwerking in de keten

Zoals hier boven werd genoemd is een grote variëteit aan stakeholdergroepen betrokken bij de transitie naar een klimaatneutrale zeevaart. Deze partijen zijn op verschillende vlakken direct of indirect van elkaar afhankelijk. Door deze wederzijdse en complexe afhankelijkheden is samenwerking in de keten essentieel om de transitie verder op gang te krijgen. Zeker ook als het gaat om het rondkrijgen van de business case. Een klimaatneutraal schip is op dit moment op zichzelf nog nauwelijks financierbaar – de investering kent teveel technische, commerciële en restwaarde risico's. Niet in de minste plaats door de onzekere en hoge brandstofprijzen. Een business model is op dit moment dan ook niet mogelijk zonder samenwerking in de keten, waarbij de risico's (contractueel) worden verdeeld onder de partijen. De onzekere brandstofprijzen leiden ook tot risico's in de business case van brandstofproducenten. Investeringen in nieuwe productiefaciliteiten blijven mede daardoor uit. Goede afspraken tussen de verschillende ketenpartijen over een risicoverdeling die recht doet aan ieders inbreng, zijn een voorwaarde voor het verkrijgen van financiering. Lange termijn contracten helpen daarbij. Verschillende projecten hebben aangetoond dat samenwerking mogelijk is en tot mooie resultaten kan leiden.

Uit de sector blijkt ook dat partijen zich upstream en downstream gaan bewegen in de keten, om zeker te zijn van voldoende aanbod van de door hun benodigde producten en diensten. Denk aan reders die zelf zorg gaan dragen voor de productie van hun beoogde energiedrager, bijvoorbeeld zelfstandig of middels een coöperatie.

Verwaarden van CO₂ reductie in de keten

Naast het verdelen van risico's is ook het verwaarden van behaalde CO₂ reductie in de keten een aandachtspunt. Onder meer door regelgeving als de Corporate Sustainability Reporting Directive (zie volgende item), krijgt de lading eigenaar een steeds grotere verantwoordelijkheid om aan te sturen en te betalen voor duurzaam transport van zijn of haar goederen. Een reder kan dat transport wil verzorgen, bijvoorbeeld door een schip te laten varen op een alternatieve energiedrager met een lagere broeikasgasemissie. Maar het toekennen van de behaalde CO₂ reductie aan de lading eigenaar kan lastig zijn. In de zeevaart is het namelijk gangbaar dat één schip lading vervoert van meerdere lading eigenaren. Verladers geven dan ook aan dat het lastig is om zeker te weten of de duurzame brandstof die is aangeschaft, zich ook daadwerkelijk bevindt in het juiste schip. Waardoor zij de reductie niet kunnen claimen in het kader van vrijwillige of verplichte verduurzamingsdoelen. Daarmee valt de incentive om te investeren in het groene transport weg. Een transparante en verifieerbare bewijsvoering kan daarnaast een voorwaarde zijn, willen klanten van verladers bereid zijn om voor CO₂ reductie te betalen. De vraag is dus: Hoe kan de CO₂ reductie worden toegekend aan

⁶² Nationaal Plan Energiesysteem | Rapport | Rijksoverheid.nl

het bedrijf dat in de reductie heeft geïnvesteerd? Hieronder een tweetal opties.

- Carbon insetting. Via dit systeem betalen bedrijven voor emissiereductie in transport, maar dit hoeft niet hun eigen transport te zijn. Er wordt dus daadwerkelijk reductie van broeikasgasemissies gerealiseerd, maar in een andere logistieke keten. Dit biedt voordelen omdat emissiereductie wordt behaald, ook als dit in de eigen keten moeilijk te realiseren is.
- De CO₂ reductie van een schip dat vaart op alternatieve energiedragers kan worden toegewezen aan een specifieke container of ladingstroom. Nauwe ketensamenwerking kan hierbij helpen. Een transparante en verifieerbare bewijsvoering kan daarnaast een voorwaarde zijn, willen klanten van verladers bereid zijn om voor CO₂ reductie te betalen. Het alloceren van CO₂ reductie aan een specifieke lading, kan onderdeel uitmaken van het business model van een rederij. Denk hierbij aan het Eco-Delivery systeem van Maersk, waarbij klanten kunnen betalen voor een schoner vervoer van hun producten. Op deze manier kan schoon zeetransport makkelijker in de markt te worden gezet.

Betalingsbereidheid van de eindgebruiker

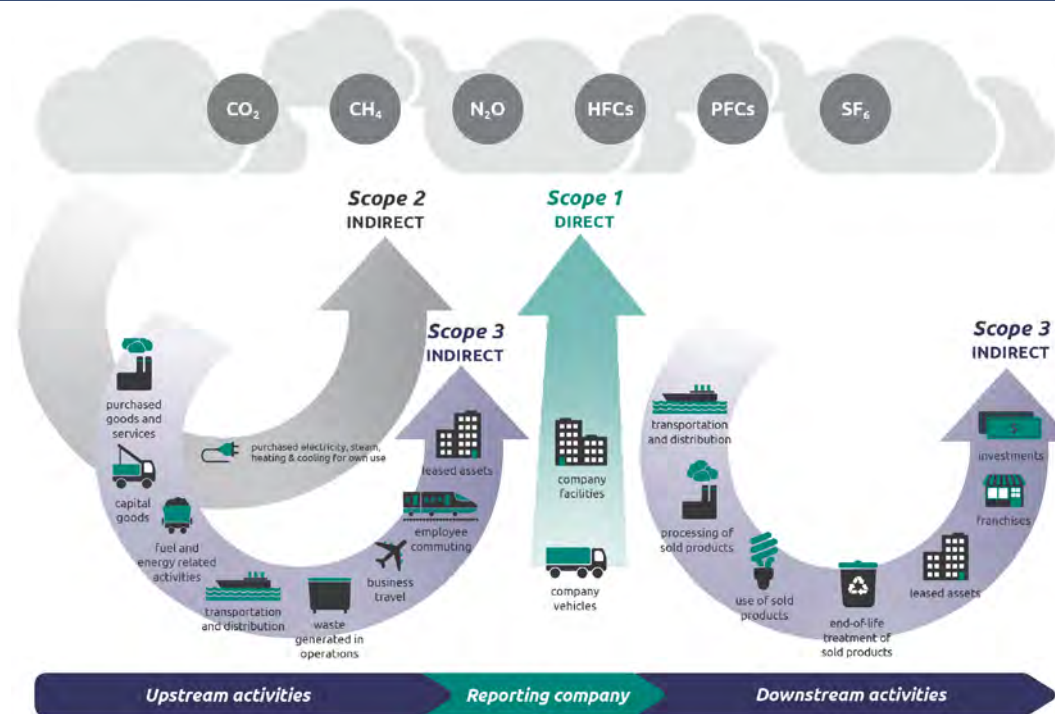
Specifieke niches van de markt zijn op dit moment al financieel interessant voor verduurzaming in de zeevaart. Dit heeft alles te maken met de betalingsbereidheid van de eindgebruiker. Door de ooghalen zijn er een aantal type projecten waarbij deze betalingsbereidheid er is, zodat de business case rondkomt: 1) Zeetransport voor ladingeigenaren wiens activiteiten zichtbaar zijn voor de consument. Het gaat hier met name om partijen die hun producten of diensten (semi-)direct leveren aan de consument. Denk aan kledingmerken, meubelfabrikanten, voedselmerken en cruiseoperators. 2) Activiteiten in het kader van publieke aanbestedingen; 3) Projecten die moeten voldoen aan eisen over broeikasgasemissies op de plaats van bestemming, zoals cruiseschepen in de Noorse fjorden. Dergelijke eisen zorgen voor een lokaal gelijk speelveld (zie ook paragraaf 4.2).

Inzetten op dergelijke niches biedt perspectief voor het creëren van een markt vraag. Daarbij is het wel van belang dat hetgeen ontwikkeld wordt een bijdrage levert aan het transitiepad naar een klimaatneutrale zeevaart. Green corridors worden daarnaast gezien als zinvolle manieren om het gebruik van alternatieve energiedragers versneld te laten landen in de markt, door gelijktijdig vraag, aanbod en infrastructuur op te zetten met de betrokken partijen in de keten.

Een ontwikkeling in de Europese regelgeving wordt door de sector gezien als mogelijke toekomstige driver voor de betalingsbereidheid van maritieme klanten. De in 2022 aangenomen Europese *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD) verplicht bedrijven met meer dan 250 medewerkers, 40 miljoen euro omzet of 20 miljoen euro balanskapitaal om per 2025 te rapporteren over hun CO₂-uitstoot (beursgenoteerde bedrijven per 2024). Anders dan haar voorloper, de *Non-Financial Reporting Directive*, dienen bedrijven daarbij ook hun zogenaamde scope-3 uitstoot in kaart te brengen (zie Figuur 15). Dit zijn de emissies van broeikasgassen stroomopwaarts en stroomafwaarts in de keten. Een bedrijf moet rapporteren over alle CO₂ uitstoot in de keten. De opname van scope 3-emissies is relevant voor de zeevaartsector, omdat zeetransport vaak onderdeel uitmaakt van scope 3 activiteiten. De inwerkingstelling van de CSRD betekent dat een schip een waarde krijgt voor bedrijven, die een manier zoeken om hun scope 3 emissies naar beneden te krijgen en dus hun waardeketen te vergroenen. De CSRD biedt volgens de sector belangrijk perspectief in de transitie. De CSRD brengt op het moment alleen een rapportage verplichting met zich mee voor bedrijven. De verwachting is dat er uiteindelijk ook verplichte reductiedoelstellingen komen.

Een specifieke groep bedrijven die onder de CSRD zal moeten rapporteren zijn de werven. Het leeuwendeel van hun scope 3 emissies, bestaat uit de uitstoot van de schepen die zij bouwen over hun totale levensduur. Dit kan een belangrijke incentive worden voor werven om de emissies van hun schepen naar beneden te krijgen.

Figuur 16 Scope 1, scope 2 en scope 3 Bron: Greenhouse Gas Protocol⁶³.



Ontwikkelingen in financiering

De financiering van innovatieve zeeschepen vergt een combinatie van privaat en publiek kapitaal. En alhoewel er volgens de sector kapitaal genoeg is, ondervindt de Nederlandse sector een tekort aan private banken en investeerders die zich richten op de zeevaartsector. Dit aantal is weliswaar gestabiliseerd, maar blijft laag. Reders geven daarnaast aan klem te zitten. Zij kunnen geen financiering krijgen voor een conventioneel schip, omdat ze daarmee niet voldoen aan eisen die financiers stellen aan de duurzaamheid van een schip. Bijvoorbeeld via de Poseidon Principles – criteria die door sommige banken gehanteerd worden en die inzicht geven in de uitstoot van de door een financier gefinancierde vloot. Tegelijkertijd krijgen innovatieve, schonere

ontwerpen ook geen financiering omdat de risico's groot zijn en de business case nog niet sluitend is met de kosten van alternatieve brandstoffen. Een deel van de moeilijkheid bij de financiering van een innovatief schip, zit hem daarnaast in de definitie van een schoon schip. Voor financiers is niet per definitie duidelijk hoe een schip presteert op het gebied van broeikasgasemissies.

Scheepswerven ervaren bij de bouw van duurzame schepen ook hinder op financieringsvlak. De risico's van de bouw van deze nieuwe schepen én het presteren van de nieuwe (en dus vaak nog niet volledig uitontwikkelde) technologie aan boord wordt in de contracten vaak alleen bij de werf gelegd. Dit heeft impact op de bereidwilligheid van financiers. In de in 2023 opgestelde sectoragenda maritieme maakindustrie wordt expliciet aandacht besteed aan deze financieringsaspecten. Een van de zaken die daarin bekeken worden zijn de vormgeving van nieuwe financieringsconstructies. Denk daarbij bijvoorbeeld aan een portfoliofinanciering.

⁶³ Greenhouse Gas Protocol, [Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf](https://ghgprotocol.org) (ghgprotocol.org).

4.5 HANDELINGSPERSPECTIEF

4.5.1 INTRODUCTIE

Het versnellen van de transitie en doorbreken van de kip-ei impasse, is een urgente en complexe uitdaging. In bovenstaande paragrafen zijn de meest essentiële factoren benoemd die van invloed zijn op de opgave. Bij al deze thema's ziet de Nederlandse sector ook perspectief. Perspectief om knelpunten weg te nemen door samenwerking te versterken, afspraken te maken of onderzoek te doen. In het ontwikkeltraject van de Roadmap zijn voor de door de Nederlandse sector als meest urgent aangewezen thema's – klimaatgerichte regelgeving, brandstofbeschikbaarheid en business case – *handelingsperspectieven* geformuleerd. Handelingsperspectieven zijn aanknopingspunten voor vervolgstappen. Vervolgstappen die noodzakelijk zijn om de doelen en de ambitie van de sector waar te maken.

Onderstaand staan alle geformuleerde handelingsperspectieven opgenomen. **Spoedige opvolging van deze handelingsperspectieven** is essentieel om het vliegwiel gaande te houden en over te gaan tot actie. En **continuering van de ketenbrede dialoog** is daarbij een cruciale randvoorwaarde. Zonder deze dialoog, die tijdens het Roadmap traject veelvuldig als grote meerwaarde is benoemd, kan samenwerking op de complexe geïdentificeerde thema's niet slagen. Het evalueren en aanscherpen van de genoemde handelingsperspectieven zijn ook onderdeel van de continue dialoog. De meerwaarde van deze perspectieven stijgt met ieder jaar dat dit proces wordt doorlopen.

In onderstaand figuur staan alle handelingsperspectieven samengevat weergegeven in een impact-urgentie matrix. De uitwerking van de handelingsperspectieven volgt in de paragrafen daaronder. Elk handelingsperspectief is ingedeeld in één van de kwadranten in de matrix, op basis van:

- Impact: hoe belangrijk is dit handelingsperspectief voor het verloop van de transitie? Bij een hoge impact, leidt uitstel van actie op dit thema tot een reële kans dat klimaatdoelen niet gehaald worden, of tegen een onacceptabel hoge prijs.
- Urgentie: Hoe snel moet dit tot actie worden overgegaan? Is dat binnen 1 jaar? Of binnen 3 jaar?

De grootste inzet is nodig op de handelingsperspectieven uit kwadrant 1: deze hebben een grote impact, en zijn hoog urgent. Zonder proactieve uitvoering van de grote impact onderwerpen komt het behalen van de transitiedoelen ernstig onder druk te staan.

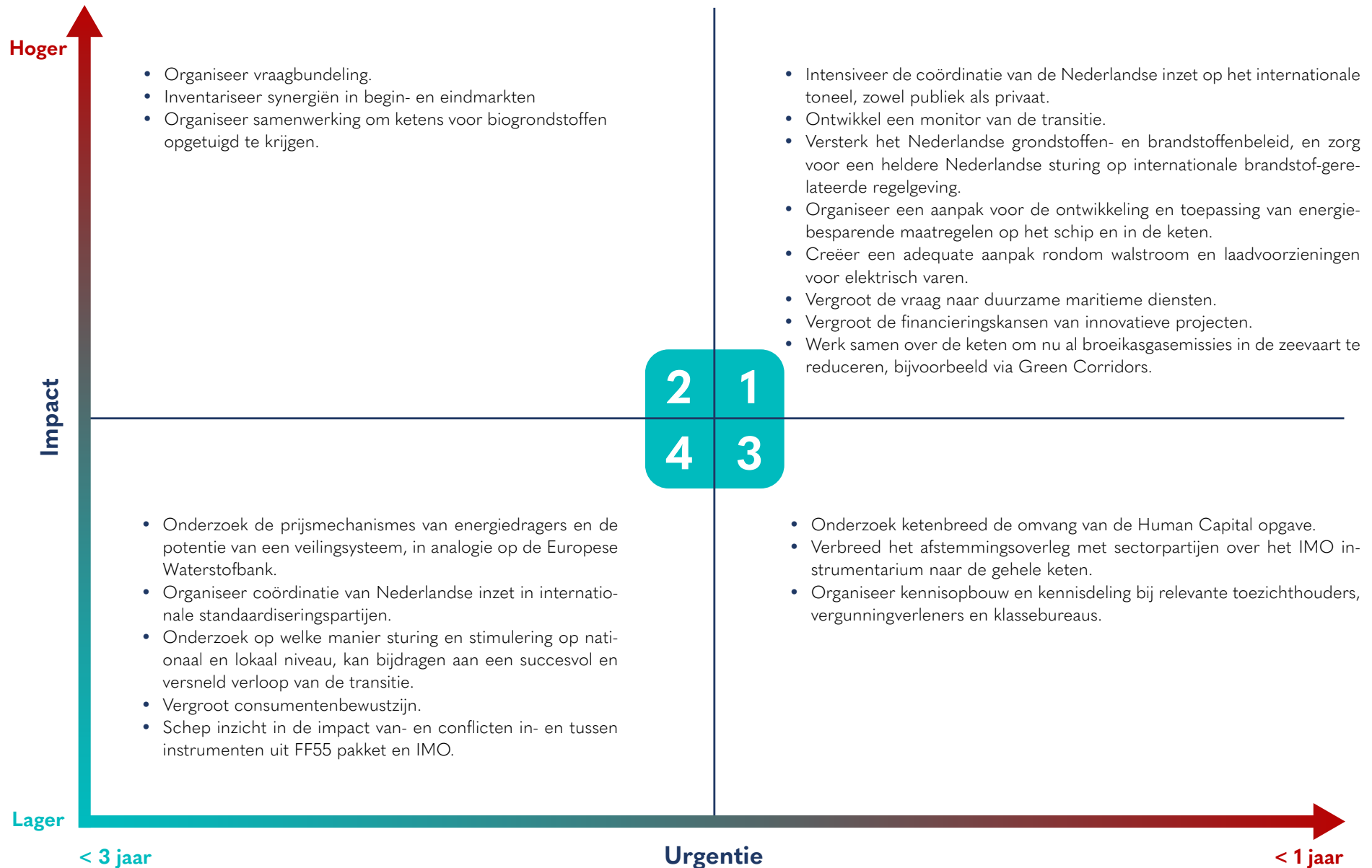
De geïdentificeerde handelingsperspectieven zullen onderlinge afhankelijkheden kennen. Sommige handelingsperspectieven kunnen input vormen op anderen, of mogelijk zelfs randvoorwaardelijk zijn. Deze afhankelijkheden en volgorde van uitvoering dient in ogenschouw te worden genomen op het moment dat opvolging van de handelingsperspectieven in gang wordt gezet.

In de uitwerking van de handelingsperspectieven wordt onderscheid gemaakt tussen drie types:

- **Directe handvaten voor ondernemers.** Deze handelingsperspectieven bieden handvaten of moeten leiden tot handvaten voor marktpartijen die aan de slag moeten of willen met het reduceren van broeikasgasemissies.
- **Onderzoek & analyse.** Handelingsperspectieven die door onderzoek of analyse duidelijkheid genereren over een specifiek thema.
- **Samenwerken en afspraken maken.** Handelingsperspectieven die aansturen op samenwerking en het maken van afspraken tussen stakeholders.



4



4.5.2 KWADRANT 1: HOGE IMPACT, HOOGURGENT (<1 JAAR)

Klimaatgerichte regelgeving

Handelingsperspectief: Intensiveer de coördinatie van de Nederlandse inzet op het internationale toneel, zowel vanuit de overheid als vanuit de sector.

Verken welke Nederlandse stakeholders invloed hebben op welke plekken in het internationale speelveld. Het gaat daarbij om inzet in de regelgevende instanties zoals de IMO en de EU, maar ook om inzet in private en publiek-private samenwerkingsverbanden en overlegorganen. Analyseer benodigde mensen en middelen om de Nederlandse invloed internationaal te behouden en versterken, en toets dit met de bestaande rollen en taken. Identificeer hiaten en kansen voor het vergroten van impact door effectieve afstemming tussen Nederlandse partijen. Het betrekken van relevante publieke en private organisaties over de volle breedte van de keten is hierbij essentieel.

Wie: Marktpartijen ketenbreed, kennisinstellingen, Rijksoverheid.

Wanneer: Governance gereed binnen 1 jaar.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

Handelingsperspectief: Ontwikkel een monitor van de transitie.

Transparantie en communicatie over de staat van de transitie en de *total cost of ownership* van verschillende energiedragers en technieken, is essentieel voor ondernemers die keuzes moeten maken en voor overheden in de ontwikkeling van beleid. Ontwikkel daarom een monitor van de transitie. Verken hoe deze het beste ontsloten kan worden zodat monitoringsdata voor iedereen beschikbaar is, bijvoorbeeld middels een dashboard. Andere aspecten die aan bod kunnen komen zijn bijvoorbeeld: huidige eisen in regelgeving (percentages veranderen per jaar); de verhouding van realisatie ten opzichte van deze regels en de totale doelstelling van klimaatneutraliteit; productiecapaciteit en gebunkerde volumes voor de verschillende alternatieve energiedragers; aantallen schepen in de Nederlandse vloot die op deze energiedragers kunnen varen. Definities over termen als 'methanol-ready' moeten daarvoor worden opgesteld. In samenhang met monitoring kan vanuit deze Roadmap toegewerkt worden naar een periodieke update van inzichten en een concrete actie-agenda.

Wie: Marktpartijen ketenbreed, kennisinstellingen, Rijksoverheid.

Wanneer: Governance gereed binnen 1 jaar.

Wat: Directe handvaten voor ondernemers.

Beschikbaarheid van alternatieve energiedragers

Handelingsperspectief: Versterk het Nederlandse grondstoffen- en brandstof-beleid, en zorg voor een heldere Nederlandse sturing op internationale brandstof-gerelateerde regelgeving.

De beschikbaarheid en betaalbaarheid van energiedragers is één van de meest urgente uitdagingen in de klimaatopgave van de zeevaart. De grondstoffen- en brandstoffensector ervaart belemmeringen vanuit beleid bij het doen van investeringen, bijvoorbeeld met betrekking tot de grondstoffenlijst in Annex IX A en B van de RED, en regels rondom massabalans. Helder en stabiel beleid is een absolute randvoorwaarde om de beschikbaarheid en betaalbaarheid van energiedragers op te krikken. Hiervoor is niet alleen de inzet van de overheid, maar ook die van de industrie essentieel.

Wie: Brandstofleveranciers en -producenten, grondstoffenleveranciers en -producenten, Rijksoverheid.

Wanneer: Per direct.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

Handelingsperspectief: Organiseer een aanpak voor de ontwikkeling en toepassing van energiebesparende maatregelen op het schip en in de keten.

Energiebesparing is cruciaal voor het behalen van de klimaatdoelen. Inzet op versnelde ontwikkeling en toepassing van deze maatregelen is noodzakelijk. Onmisbaar hiervoor is samenwerking tussen ketenpartners om risico's te verdelen voor de ontwikkeling, installatie en toepassing van innovaties.

Wie: Scheepsbouwers, reders, verladers.

Wanneer: Per direct.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

Handelingsperspectief: Creëer een adequate aanpak rondom walstroom en laadvoorzieningen voor elektrisch varen.

De uitdagingen rondom het elektrificeren van de zeevaart zijn groot. Om te borgen dat havens de EU doelstelling voor walstroom halen, en dat de elektriciteitsvoorziening voor elektrisch varen op tijd op orde komt, is een effectieve aanpak nodig. Belangrijk aandachtspunt is een oplossing voor netcongestie. Uitbreiding van de netcapaciteit, congestiemanagement op decentraal niveau en een goede integratie bij de Nationale Agenda Laadinfrastructuur zijn hiervoor gewenst. Bij de Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL) werken overheden, kennisinstellingen en netbeheerders samen werken aan het realiseren van voldoende laadinfrastructuur voor mobiliteit. Daarnaast is er structurering in de complexiteit van actoren nodig die betrokken zijn bij de realisatie van de infrastructuur. Een aanpak dient

duidelijkheid te scheppen in onderlinge verantwoordelijkheden en dient samenwerking te stroomlijnen.

Wie: Havens, lagere overheden, netbeheerders, Rijksoverheid.

Wanneer: Per direct.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

Business Case voor alle partijen in de keten

Handelingsperspectief: Vergroot de vraag naar duurzame maritieme diensten.

Dit kan door als marktpartijen actiever te sturen op duurzaam transport. CO₂ verwaarding in de keten maakt het mogelijk om de meerkosten van duurzaam transport door te verrekenen in de keten. Doordat CO₂ reductie wordt toegewezen aan een specifieke lading op een specifiek schip, of door gebruik te maken van carbon insetting (ook ondergebracht in Sammi). Een administratief systeem dat bunkervolumes volgt tot aan het schip is nodig om dit eerste uit te kunnen voeren. Clean Fuel Contracts is een systeem dat beoogd hierin te voorzien. Dit systeem wordt op dit moment ontwikkeld door de sector⁶⁴. Tot slot wordt de vaststelling van de Europese Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) door de sector gezien als belangrijke toekomstige driver voor de betalingsbereidheid van maritieme klanten, omdat bedrijven worden verplicht te rapporteren over hun scope 3 uitstoot: de emissies van broeikasgassen stroomopwaarts en stroomafwaarts in de keten. Publieke en private partijen kunnen daarnaast samenwerken om de kansen die rapportageverplichtingen voor bedrijven met zich meebrengen, te benutten. Een andere weg is via verbetering van publieke tenderprocedures. Duurzame, innovatieve projecten worden nu onvoldoende gegund. Aanbestedingstrajecten moeten onder meer worden verbeterd met het oog op het stellen van de juiste klimaatgerichte eisen en voldoende lange contractduur. Een lage kwaliteit van de offerte-uitvraag in combinatie met een star budget, leidt daarnaast tot risico's voor de inschrijvende partij - dit wordt opgepakt onder Sammi Actie 1.1.

Wie: Verladers, reders, brandstofleveranciers en -producenten, grondstoffenleveranciers en -producenten, financiers, kennisinstellingen, Rijksoverheid.

Wanneer: Governance gereed binnen 1 jaar.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

Handelingsperspectief: Vergroot de financieringskansen van innovatieve projecten.

De business case van een innovatief project voor duurzame zeevaart komt vaak nog niet rond. Dit geldt bijvoorbeeld bij scheepsbouw maar ook bij de bouw van brandstofproductiefaciliteiten. Samenwerking in de keten is hierbij essentieel, waarbij de meerkosten en risico's verdeeld worden en alle schakels hun verantwoordelijkheid nemen om hier gezamenlijk in te dragen. Daarnaast moet onderzoek uitwijzen hoe prijsdemping voor energiedragers, innovatieve financieringsvormen en de-risicomechanismen voor investeringen kunnen bijdragen aan een business case voor de afbouw van fossiel en de inzet op alternatieve energiedragers. Onderzoek naar prijsdemping voor energiedragers, wordt voorzien onder actielijn 8.2 van de sectoragenda maritieme maakindustrie (Vanaf nu: **Sammi**). Ook het vergroten van de-risk en financieringsmogelijkheden wordt opgepakt onder Sammi met het oog op scheepsbouw (actielijn 6a&b, 7a&b); een bredere scope met onder meer de brandstofproductiesector en haven- en opslagsector is noodzakelijk.

Wie: Marktpartijen ketenbreed, kennisinstellingen, Rijksoverheid.

Wanneer: Per direct.

Wat: Samenwerken en afspraken maken, directe handvaten voor ondernemers, onderzoek & analyse.

Handelingsperspectief: Werk samen over de keten om nu al broeikasgasemissies in de zeevaart te reduceren, bijvoorbeeld via Green Corridors.

Green Corridors leiden tot een stabiele markt van vraag en aanbod. Ze zorgen ervoor voor dat kritische infrastructuur wordt aangelegd waardoor kosten omlaag gaan, en ze zorgen voor een verzekerde brandstofvraag wat kan bijdragen aan opschaling van de productie van energiedragers. Benut hierbij optimaal het versterkende potentieel van de specialistische Nederlandse maritieme niches enerzijds, en de relevante internationale bunker- en productiepositie anderzijds. Door als Nederland in te zetten op verduurzaming van strategische niches in samenhang met de hele keten, inclusief havengebieden, brandstofproducenten en leveranciers, kan Nederland haar concurrentievermogen vergroten.

Wie: Havens, reders, verladers, brandstofproducenten, brandstofleveranciers, opslagbedrijven.

Wanneer: Per direct.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

⁶⁴ Zie voor een haalbaarheidsstudie [Microsoft Word - 20_0831_PDB_Eindrapport Haalbaarheid Clean Fuel Contracts.docx \(platformduurzamebiobrandstoffen.nl\)](#)

4.5.3 KWADRANT 2: HOGE IMPACT, URGENT (<3 JAAR)

Handelingsperspectief: Organiseer vraagbundeling.

Vraagbundeling kan aan de kant van energiedragers en aan scheepszijde. Dit kan zorgen voor kostendaling en opschaling van de productie van alternatieve energiedragers versnellen. Bijvoorbeeld via coöperaties, inkoopallianties of een Joint Venture. Een voorbeeld van verladers die gezamenlijk inkopen is het ZEMBA initiatief van het Aspen Institute. Vraagbundeling kan plaatsvinden over sectoren heen, en over grenzen heen. Breng van een brede selectie aan producenten en leveranciers in kaart onder welke voorwaarden zij zouden overwegen te investeren in productie voor de zeevaart. Neem hierin de huidige grote spelers mee, en ook de opkomende partijen. Hoe groot moet de volumevraag bijvoorbeeld zijn, wat moet de marktprijs zijn?

Wie: Reders, verladers, brandstofproducenten, andere sectoren.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Samenwerken en afspraken maken, directe handvaten voor ondernemers, onderzoek & analyse.

Handelingsperspectief: Inventariseer synergiën in begin- en eindmarkten

Inventariseer wat de synergiën zijn tussen de zeevaart en andere eindmarkten van het productieproces. Om zo te komen tot het vergroten van de vraag. Denk aan de chemische industrie of de landbouw. Een sterker normerend kader voor dergelijke sectoren, kan het opschalen van productieketens versnellen. Inventariseer naast synergiën in eindmarkten ook synergiën tussen grondstoffen voor een productieproces. De ontwikkeling van biomaterialen en bio-energie biedt synergie door componenten met hoge en lage toegevoegde waarde met elkaar te combineren.

Wie: Brandstofleveranciers en -producenten, grondstoffenleveranciers en -producenten, kennisinstellingen.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Onderzoek & analyse.

Handelingsperspectief: Organiseer samenwerking om ketens voor biograndstoffen opgetuigd te krijgen.

Er is een breed pallet aan mogelijke grondstoffen voor de productie van biobrandstoffen. Samenwerking is noodzakelijk om ketens voor deze potentiële grondstoffen op te tuigen. Denk aan samenwerking tussen producenten, startups/scaleups (voor nieuwe technologie) en boeren. Denk ook aan samenwerking rondom het opstellen van een duurzaamheidskader voor biogewassen uit tussengewassen. Met een duidelijk duurzaamheidskader voor tussengewassen kan de landbouw en

industrie aan de slag om de productie van dergelijke grondstoffen te vergroten.

Wie: Brandstofleveranciers en -producenten, grondstoffenleveranciers en -producenten, kennisinstellingen.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

4.5.4 KWADRANT 3: RELEVANTE IMPACT, HOOGURGENT (<1 JAAR)

Handelingsperspectief: Onderzoek ketenbreed de omvang van de Human Capital opgave.

Gebrek aan voldoende opgeleid personeel is een knelpunt dat sectorbreed speelt en beperkend werkt in de transitie. Met ketenbreed bedoelen we onder meer in de maritieme sector, de brandstoffensector, het havenwezen en bij toezichthouders. Onderzoek hoe groot de sectorbrede opgave op dit punt is. Zoek hierbij aansluiting bij de sectoragenda maritieme maakindustrie, het Maritiem Masterplan en de Topsectoren. Volg de onderzoekstap op met een actie-agenda om te komen tot oplossingen.

Wie: Marktpartijen ketenbreed, kennisinstellingen, onderwijsinstellingen, Rijksoverheid.

Wanneer: Binnen een jaar.

Wat: Onderzoek & analyse.

Handelingsperspectief: Organiseer kennisopbouw en kennisdeling bij relevante toezichthouders, vergunningverleners en klassebureaus.

Voor een snelle en soepele vergunningverlening en handhaving is voldoende kennis bij relevante overheidsorganisaties noodzakelijk. Daarnaast is kennisopbouw essentieel bij het uitvoeren van risico gebaseerde certificeringsprocessen. Hiervoor is zowel inhoudelijke expertise als procesexpertise noodzakelijk. Er dient op systematische wijze kennis en ervaring te worden opgedaan in het effectief doorlopen van deze trajecten, mogelijk vanuit een speciaal hiervoor bestemde task force.

Wie: Klassebureaus, toezichthouders en vergunningverleners (gemeentes, provincies, veiligheidsregio's), Rijksoverheid.

Wanneer: Binnen een jaar.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

Handelingsperspectief: Verbreed het afstemmingsoverleg met sectorpartijen over het IMO instrumentarium naar de gehele keten.

De IMO heeft een ambitie vastgelegd van een klimaatneutrale zeevaart op of rond 2050. Hoe het instrumentarium eruit komt te zien is relevant voor marktpartijen

over de gehele keten. De Nederlandse inzet ten aanzien van het beoogde instrumentarium wordt ontwikkeld, maar transparantie hierover voor alle partijen in de keten ontbreekt. Versterk de positie van Nederland in de IMO onderhandelingen en de bijbehorende Europese route, door het reeds bestaande afstemmingsoverleg met sectorpartijen naar deze gehele keten te verbreden. Analyseer proactief wat de impact van het beoogde instrumentarium voor de verschillende stakeholdergroepen kan zijn, ga hierover in gesprek en speel hierop in.

Wie: Marktpartijen ketenbreed, Rijksoverheid.

Wanneer: Binnen een jaar.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

4.5.5 KWADRANT 4: RELEVANTE IMPACT, URGENT (<3 JAAR)

Handelingsperspectief: Onderzoek de prijsmechanismes van energiedragers en de potentie van een veiligheidsysteem, in analogie op de Europese Waterstofbank.

De onzekere ontwikkeling van brandstofbeschikbaarheid en brandstofprijzen is een cruciaal knelpunt in de transitie. Het optuigen van een internationale commodities markt is nodig om hier verbetering in aan te brengen. Onderzoek de mechanismes die de prijs van energiedragers bepalen. Daarnaast kan gedacht worden aan een systeem om de markt aan te zwengelen, zoals de Europese Waterstofbank⁶⁵. Onderzoek de effectiviteit van een dergelijk systeem en de mogelijkheid om iets soortgelijks op te zetten voor andere energiedragers, in internationaal verband.

Wie: Brandstofproducenten, brandstofleveranciers, financiers, kennisinstellingen, Rijksoverheid.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Onderzoek & analyse.

Handelingsperspectief: Organiseer coördinatie van Nederlandse inzet in internationale standaardiseringspartijen.

Standaardisering en certificering van brandstoffen zijn randvoorwaarden voor opschaling. Door middel van standaardisering van brandstoffen via kwaliteitsnormen (technische specificaties) kunnen alternatieve energiedragers beter verhandeld- en dus ook opgeschaald worden. En middels certificering krijgen inkopers van de brandstoffen, zoals verladers, een garantie van de duurzaamheid van de brandstof. Technische standaarden en tracking systemen voor certificering worden bij voorkeur internationaal ontwikkeld. De inzet van Nederland kan daarom

het beste gericht worden op voldoende inzet om hier internationaal op aan te haken. Het gaat hierbij onder andere om doorontwikkeling van de ISO 8217 norm en het opstellen van losstaande specificaties gericht op specifieke alternatieve energiedragers. Het Nederlandse werk aan een norm voor FAME wordt bij voorkeur ook doorgezet naar internationaal verband. Daarmee is het van belang dat er in Nederland voldoende kennis en capaciteit is en blijft. Bijvoorbeeld in NEN verband. En daarnaast door deelname aan IMO en EU commissies die deze standaarden doorzetten. Zinvol om deze coördinatie te linken aan de meer brede coördinatie van Nederlandse inzet internationaal.

Wie: Brandstofproducenten, motorontwikkelaars, Rijksoverheid.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Samenwerken en afspraken maken.

Handelingsperspectief: Onderzoek op welke manier sturing en stimulering op nationaal en lokaal niveau, kan bijdragen aan een succesvol en versneld verloop van de transitie.

Op sommige punten volstaan internationale beleidskaders niet, of nog niet. Op andere punten is de beleidsmix juist uitermate effectief. Het is zaak om steeds te onderzoeken wat er nationaal al gebeurt, en wat er aanvullend nog geregeld kan worden, om voor de verschillende segmenten in de zeevaart bij te dragen aan het versnellen van de brandstoftransitie. Bij gebrek aan internationale regelgeving kan er bijvoorbeeld een lokaal gelijk speelveld worden gecreëerd in een relatief afgeschermd markt. Want daar waar concurrentie beperkt is kunnen via flankerend beleid, convenanten of normering, doelen worden gesteld die innovaties binnen deze kleinere markt van de grond doen komen. Andere mogelijkheden zijn bijvoorbeeld het stimuleren van verduurzaming door het instellen van port incentives in havens. Sectorpartijen zien daarnaast concrete kansen door de inkomsten uit ETS gelden nationaal terug te laten stromen naar de zeevaart, en door naast een inzet op duurzame scheepsbouw, ook de productie van alternatieve energiedragers te stimuleren, bijvoorbeeld door toevoeging van waterstof en methanol aan de huidige SDE++ regeling. Denk ook aan praktische zaken zoals aan het verminderen van onduidelijkheden voor de sector, het verbeteren van de uitvoerbaarheid, en het snel kunnen bespreken en oplossen van knelpunten.

Wie: Rijksoverheid, havens, lagere overheden.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Onderzoek & analyse.

⁶⁵ De Europese Waterstofbank, [EUR-Lex - 52023DC0156 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

Handelingsperspectief: Vergroot consumentenbewustzijn.

De betalingsbereidheid van eindgebruikers is een cruciaal element in het rondkrijgen van de business case voor zeetransport met minder netto uitstoot. Enerzijds kunnen marktpartijen klanten proactief informeren over het zeetransport dat plaatsvindt bij het aanvoeren van hun product. En over de impact van bijbehorende emissies op het klimaat. Anderzijds kan in het algemeen worden ingezet op het vergroten van consumentenbewustzijn.

Wie: Verladers, Rijksoverheid.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Directe handvaten voor ondernemers, samenwerken en afspraken maken.

Handelingsperspectief: Schep inzicht in de impact van- en conflicten in- en tussen instrumenten uit FF55 pakket en IMO.

Het vergroten van de transparantie over regelgeving en de naleving ervan. Hoe zit regelgeving in elkaar, wie moet waaraan voldoen en hoe? Onderzoek en monitor hoe de instrumenten met elkaar samenwerken en wat de effecten ervan zijn. Inventariseer welke onduidelijkheden, conflicten en witte vlekken er prioritair zijn binnen de regelgeving, en werk toe naar een oplossing. Een relevant aandachtspunt is bijvoorbeeld de grens van 5000 bruto tonnage bij schepen, willen deze onder de eisen vallen van FuelEU Maritime en ETS.

Wie: Kennisinstellingen, Rijksoverheid.

Wanneer: Binnen drie jaar.

Wat: Onderzoek & analyse.

“ De motor is niet het probleem. De technologie ontwikkelt snel en zodra de vraag ontstaat, kunnen de meeste motoren voor nieuwe energiedragers wel worden ontwikkeld.”

5

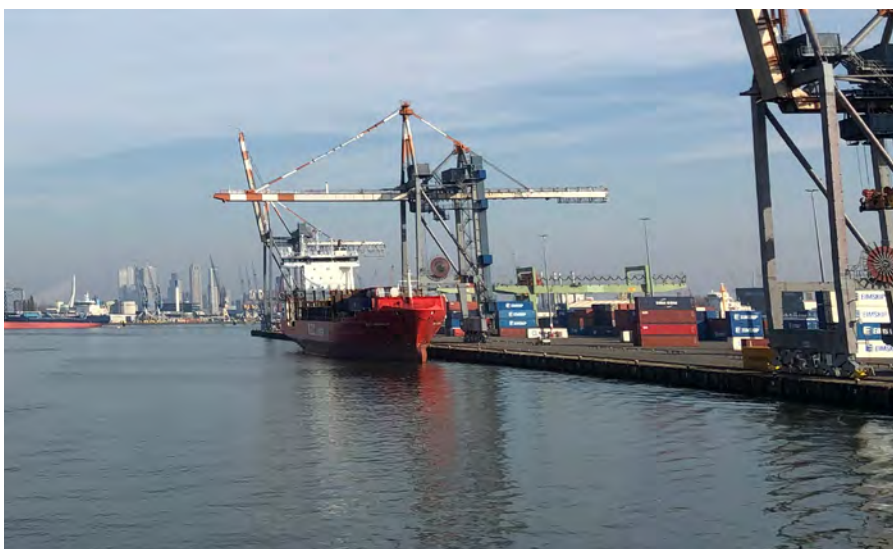
Status quo en kansen
voor doorontwikkeling
van energiedragers,
schepen en
infrastructuur



5.1 INTRODUCTIE

De Nederlandse sector verwacht dat de brandstofbehoefte van de zeevaart de komende decennia zal bestaan uit een mix van verschillende energiedragers. Er zal geen sprake zijn van één enkele maritieme *fuel of the future*. Op dit moment is er een breed pallet aan mogelijke alternatieve energiedragers die een rol kunnen spelen in de route van zeevaart naar netto nul. In paragraaf 5.2 van dit hoofdstuk worden deze verschillende opties onder de loep genomen. Daarbij is geen voorselectie gemaakt; vrijwel alle opties worden beschreven. Per energiedrager wordt voor een breed scala aan aspecten geduid wat de kansen zijn en waar de uitdagingen liggen. En met name: op welke punten nog doorontwikkeling nodig is, voordat de energiedrager op grote schaal toepasbaar is in de zeevaart. Naast energiedragers worden uitdagingen en ontwikkelkansen rondom duurzame scheepsbouw beschreven, in [paragraaf 5.3](#). [Paragraaf 5.4](#) gaat in op energiebesparende maatregelen op het schip en onboard carbon capture. Tot slot wordt in [paragraaf 5.5](#) ingegaan op de realisatie van bunkerinfrastructuur.

Het is belangrijk om te benadrukken dat dit hoofdstuk van de Roadmap inzicht geeft in de status quo. Dat wil zeggen: de Roadmap geeft weer hoe bovenstaande energiedragers en technieken op dit moment scoren op alle verschillende thema's. En in hoeverre er op dit moment nog doorontwikkeling nodig is.



In onderstaande paragrafen staan tabellen opgenomen, die op gecompriëerde wijze informatie verschaffen over de verschillende energiedragers, voor een aantal facetten. Deze tabellen zijn een vereenvoudigde versie van de kansentabel en bevatten informatie per deelonderwerp. Bij sommige deelonderwerpen is de informatie uit de kansentabel in een figuur gepresenteerd. De volledige kansentabel is opgenomen in Bijlage 2: Kansentabel. Hierin wordt per cel ook tekst en uitleg gegeven over de diverse facetten. Een toelichting op de tabellen is ook in de bijlage te vinden.

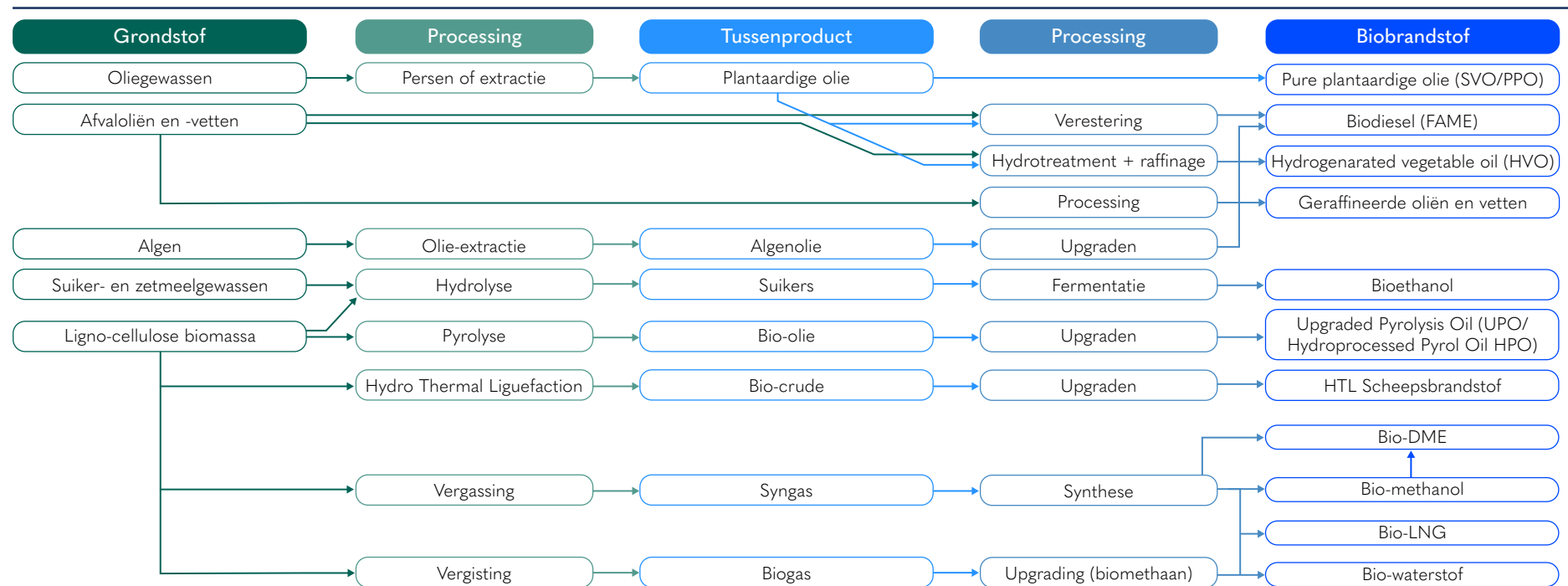
5.2 ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS

5.2.1 BESCHIKBAARHEID EN OPSCHAALBAARHEID VAN ENERGIEDRAGERS

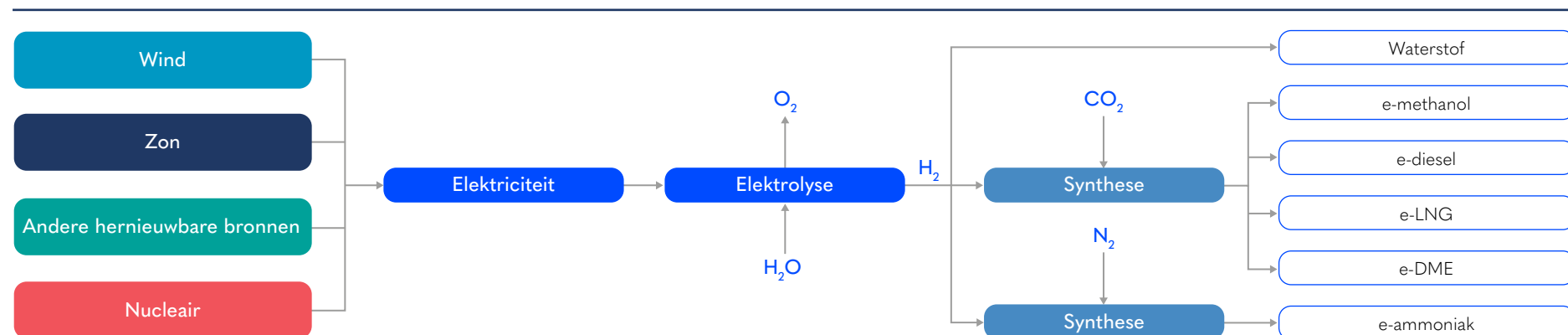
De mogelijke toekomstige beschikbaarheid van energiedragers bepaalt in grote mate of deze een rol krijgt in de transitie naar klimaatneutrale zeevaart. Uiteraard moet een energiedrager ook technisch toe te passen zijn op het schip. Toch worden ontwikkeling in de technologie en een aangepast scheepsontwerp niet gezien als de grootste bottleneck in de brandstoftransitie. Beschikbaarheid en prijs lijkt de belangrijkste factor die bepaalt wat de toekomstige rol wordt van een bepaalde energiedrager, samen met broeikasgasuitstoot over de keten. Neem ter illustratie drop-in biobrandstoffen, zoals FAME en HVO, die nu al worden ingezet in schepen. Drop-in biobrandstoffen zijn compatibel met bestaande scheepsmotoren en (vrijwel) zonder aanpassingen inzetbaar. Deze brandstoffen worden voornamelijk geproduceerd uit grondstoffen met een beperkte beschikbaarheid en waarvoor concurrentie bestaat vanuit andere sectoren. Daarom kijkt de zeevaart ook met interesse naar andere opties, zoals (hernieuwbare varianten van) methanol, waterstof, LNG en ammoniak. Ook al zijn voor toepassing van deze brandstoffen soms verregaande aanpassingen aan het schip noodzakelijk.

Huidige en toekomstige beschikbaarheid en opschaalbaarheid zijn dus kernthema's in de kansrijkheid van alternatieve energiedragers. De verwachte opschaalbaarheid van alternatieve energiedragers staat weergegeven in [Tabel 1](#). In deze tabel staat voor ieder van de energiedragers benoemd in hoeverre opschaling naar de toekomst toe mogelijk is. Dit hangt samen met de beschikbaarheid van de grondstoffen, waar de energiedrager uit wordt gemaakt, en de mogelijkheden voor opschaling van de productiecapaciteit.

Figuur 17 Versimpeld overzicht van productieroutes voor biobrandstoffen.



Figuur 18 Versimpeld overzicht van productieroutes voor e-fuels.



Tabel 1 Productie en beschikbaarheid van grondstoffen en energiedragers

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			WTW broeikasgas-emissie-reductie Duurzaamheid	Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL		
FAME	Bio Voedsel/voeder					
	Bio Annex IX-B					
	Bio Annex IX-A					
HVO	Bio Voedsel/voeder					
	Bio Annex IX-B					
	Bio Annex IX-A					
Fischer-Tropsch diesel	Bio Annex IX-A					
	E-fuel					
LNG	Fossiel					
	Bio vergisting					
	Bio vergassing					
	E-fuel					
LNG - OCCS	Zie LNG route					
SVO/PPO	Bio Voedsel/voeder					
Geraffineerde afvaloliën en -vetten	Bio Annex IX-B					
	Bio Annex IX-A					
HTL	Bio Annex IX-A					
UPO/HPO	Bio Annex IX-A					
Methanol	Fossiel					
	Bio vergisting					
	Bio vergassing					
	E-fuel					
Ethanol	Bio voedsel/voeder					
	Bio IX-A					
DME	Fossiel					
	Bio vergassing/bioMeOH					
	E-fuel					
Waterstof	Fossiel (grijs)					
	Fossiel (blauw)					
	Bio vergisting					
	Bio vergassing					
	E-fuel					
Ammoniak	Fossiel (grijs)					
	Fossiel (blauw)					
	E-fuel					
Elektrisch						
Nuclear						

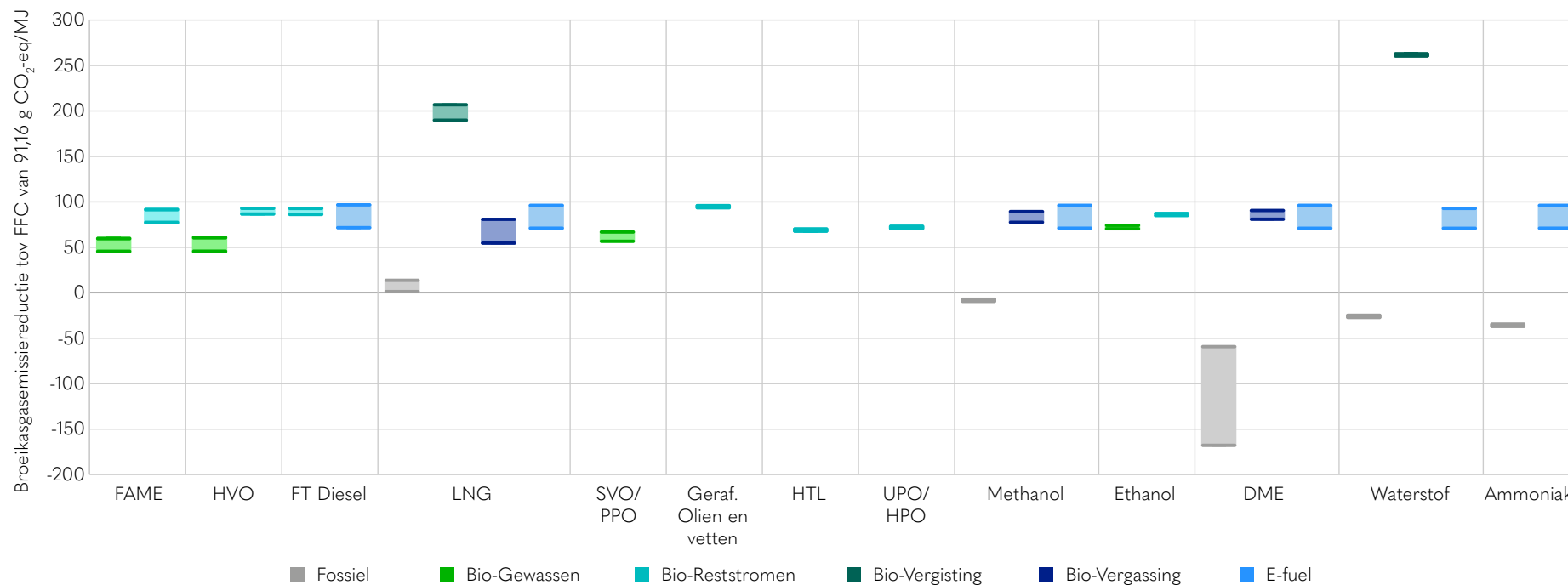
5.2.2 WTW BROEIKASGASREDUCTIE

Naast beschikbaarheid en opschaalbaarheid van alternatieve energiedragers, is ook de mate waarin een energiedrager de emissies van broeikasgassen in de keten ("well-to-wake" broeikasgasreductie, vanaf nu: "WTW broeikasgasreductie") reduceert bepalend voor de kansrijkheid van de toepassing van de energiedrager. De potentiële WTW-broeikasgasreductie bepaalt in welke mate de energiedrager bijdraagt aan de reductiedoelen, zoals van FuelEU Maritime en de REDIII. Dit heeft ook directe impact op de financiële waarde van de energiedrager en dus op de business case voor toepassing ervan. Tussen nu en 2050 worden de reductiedoelen uit regelgeving steeds strenger. De WTW-broeikasgasreductie is daarmee ook bepalend voor de rol die een

energiedrager op een bepaald moment in de tijd kan hebben in de energiemix van de zeevaart.

Een indicatie van de WTW-broeikasgasreductie voor de verschillende energiedragers is opgenomen in [Figuur 18](#). De meeste waarden in de figuur zijn direct gebaseerd op waarden uit de voor zeevaart relevante Europese wetgevende kaders (FuelEU Maritime en RED), voor zover daarin aanwezig. Een verdere uitwerking en uitgebreide toelichting op de waarden in de figuur is te vinden in de kansentabel in [Bijlage 2: Kansentabel](#).

Figuur 19 WTW-broeikasgasemissiereductie voor verschillende typen brandstoffen, op basis van waarden uit FuelEU Maritime en de RED. De waarden kunnen in de praktijk hoger uitvallen, met name bij biobrandstoffen uit gewassen. Voor hernieuwbare e-fuels is als ondergrens 70% gehanteerd conform de minimale broeikasgasreductie-eis voor RFNBO's in de RED. Bij gebruik van elektriciteit deels uit fossiele bronnen kan de behaalde reductie veel lager uitvallen: bijvoorbeeld bij gebruik van elektriciteit uit het huidige Europese elektriciteitsnet is de WTW broeikasgasemissie voor e-waterstof zelfs 92% hoger ten opzichte van de referentie. Negatieve percentages betekenen meer uitstoot van broeikasgassen dan conventionele scheepsbrandstoffen. Bron: RVO.



Fossiele brandstoffen dragen niet of beperkt (LNG) bij aan WTW-broeikasgasreductie. De meeste op fossiele bronnen gebaseerde alternatieve energiedragers, zoals fossiele waterstof, methanol, DME en ammoniak, brengen zelfs een hogere broeikasgasemissie met zich mee dan conventionele scheepsbrandstoffen. Deze opties dragen dus niet bij aan de Europese reductiedoelen voor zeevaart. Voor **blauwe brandstoffen** - waterstof en ammoniak - die worden geproduceerd uit aardgas met afvang van CO₂ tijdens de productie (CCS/CCU) zijn geen waarden voor de gehele keten bekend en deze zijn daarom niet opgenomen in de figuur. Bij alle vormen van LNG is de mate van methaanslip van significante invloed op de WTW-broeikasgasreductie (FuelEU Maritime geeft hiervoor verschillende waarden).

De hoogste reducties kunnen worden behaald met e-fuels en biobrandstoffen. Bij **e-fuels** is de daadwerkelijke WTW broeikasgasreductie sterk afhankelijk van het aandeel hernieuwbare elektriciteit dat is gebruikt voor de productie van waterstof, waaruit deze brandstoffen worden geproduceerd. Ook speelt de oorsprong van de gebruikte CO₂-bron een belangrijke rol. Bij waterstof is te zien dat bij gebruik van elektriciteit uit het elektriciteitsnet de broeikasgasemissie hoger is dan voor conventionele scheepsbrandstoffen, bij het huidige Europese elektriciteitsnet is dit 92% hoger en bij het toekomstige EU-energie-net 30%. Waterstof en andere e-fuels leiden dus alleen tot een substantiële reductie van broeikasgasemissies indien gebruik wordt gemaakt van (bijna) 100% hernieuwbare elektriciteit voor de productie van waterstof. Volgens de RED moeten e-fuels uit hernieuwbare energie, daarin RFNBO's genoemd, een minimale WTW-reductie realiseren van 70%. Deze drempel blijkt in de praktijk nog niet altijd goed haalbaar. Bij gebruik van 100% hernieuwbare elektriciteit kan de reductie ook oplopen tot richting 100%. Belangrijk hierbij is dat de duurzaamheidskenmerken van RFNBO's (aandeel hernieuwbare elektriciteit, herkomst van de gebruikte CO₂, beschikbaarheid en kwaliteit van water voor elektrolyse) geborgd worden. Internationale duurzaamheidscertificering hiervoor is nog volop in ontwikkeling.

Bij **biobrandstoffen** kunnen de hoogste WTW-reducties, veelal in de orde van 80 tot boven 90%, worden behaald door gebruik van reststromen (RED Annex IX-A en B) als grondstof. Bij biobrandstoffen die gebaseerd zijn op vergisting van biograndstoffen, die anders tot methaanuitstoot zouden leiden, bijvoorbeeld organisch afval, kunnen

de reducties zelfs oplopen tot boven 100%. Bij gebruik van gewassen⁶⁶ als grondstof (in de tabel weergegeven als “voedsel- en voedergewassen”) is de reductie van broeikasgasemissies over het algemeen lager dan bij reststromen en wordt ook de minimale reductie die de RED vereist voor biobrandstoffen (65% voor nieuwe installaties vanaf 2021, 50-60% voor oudere installaties) niet altijd gehaald. Vaak ligt overigens de daadwerkelijke WTW-broeikasgasreductie bij gewassen hoger dan de gegeven standaardwaarde uit de RED.

De in de figuur opgenomen waarden geven een indicatie van de WTW-broeikasgasreductie; het is echter mogelijk dat de energiedragers in de praktijk een hogere (of lagere) reductie van broeikasgasemissies realiseren dan deze waarden. Indien de daadwerkelijke broeikasgasprestatie van de brandstof die een bedrijf levert of gebruikt beter is dan deze waarden, dan wil het bedrijf die betere waarde kunnen gebruiken, omdat de brandstof dan een hogere bijdrage levert aan naleving van de Europese wetgeving. Of omdat met de brandstof dan de minimale broeikasgasreductie-eis van de RED wél kan worden gehaald, daar waar dat met de standaardwaarden niet het geval zou zijn. Bedrijven kunnen een betere broeikasgasprestatie aantonen door op basis van de regels in de RED feitelijke waarden te berekenen onder een door de Europese Commissie erkend certificeringssysteem. De Nederlandse emissieautoriteit⁶⁷ publiceert jaarlijks geaggregeerde gegevens per grondstof/brandstoftype over de daadwerkelijke WTW-broeikasgasreductie die de in Nederland gebruikte hernieuwbare brandstoffen hebben gerealiseerd.

Voor biobrandstoffen is net als voor RFNBO's internationale duurzaamheidscertificering van de gehele keten essentieel, zodat aangetoond kan worden dat de biobrand-

⁶⁶ Gewassen zijn in de tabel weergegeven als “voedsel- en voedergewassen” omdat in de kansen tabel de biograndstofcategorieën van de RED zijn aangehouden. Hier moet echt wel bij worden opgemerkt dat oliegewassen en suiker- en zetmeelhoudende gewassen niet altijd onder de definitie van voedsel- en voedergewassen volgens de RED (Artikel 2, (40)) vallen en daarmee onder de limitering die daarvoor geldt. Tussengewassen bijvoorbeeld geteeld als vang-of dekgewas, vallen niet onder deze definitie onder de voorwaarde dat er geen additionele vraag naar landbouwgrond door ontstaat. In beide gevallen wordt aan de biobrandstoffen uit deze grondstoffen dezelfde WTW-broeikasgasemissiereductie toegekend in de RED. Echter, wanneer er sprake is van gewassen die wél onder de definitie voedsel- en voedergewassen vallen, dan wordt voor naleving van de reductiedoelen van FuelEU Maritime de broeikasintensiteit hiervan in deze verordening gelijk gesteld aan de minst gunstige fossiele brandstofroute voor dat type brandstof en dragen deze biobrandstoffen de facto niet bij aan de reductiedoelen.

⁶⁷ Informatie over hernieuwbare energie in vervoer van de Nederlandse emissieautoriteit, [Hernieuwbare Energie voor Vervoer 2022-2030 | Nederlandse Emissieautoriteit](#)

stoffen aan de gestelde duurzaamheids- en broeikasgasreductie-eisen voldoen. Inmiddels is in de EU 15 jaar ervaring met duurzaamheidsborging door middel van nationale en vrijwillige systemen onder de RED, die zich de komende jaren ook verder zullen ontwikkelen als gevolg van onder andere nieuwe vereisten voor broeikasgasreductie in de zeevaart.

Wat niet altijd expliciet tot uitdrukking komt in de broeikasgasprestatie van een energiedrager, is de *ketenefficiëntie* van een energiedrager. De ketenefficiëntie geeft aan hoe efficiënt het is om een energiedrager te produceren, en aan boord te gebruiken. Hoe lager de ketenefficiëntie, hoe meer energie nodig is om een schip van een bepaald vermogen te voorzien. Dit onderwerp wordt verder behandeld onder paragraaf 5.3.

5.2.3 KANSRIJKHEID VAN ENERGIEDRAGERS OP BASIS VAN OPSCHAALBAARHEID EN WTW REDUCTIE

In deze paragraaf wordt gekeken naar de opschaalbaarheid van energiedragers. Binnen de context van deze roadmap is de opschaalbaarheid ingeschat op basis van de verwachtingen over de beschikbaarheid van de grondstoffen en de mogelijkheden voor opschaling van de productiecapaciteit. Uiteraard spelen ook technische ontwikkelingen en het investeringsklimaat een rol bij de mogelijkheden voor opschaling van een technologie. Hier is het uitgangspunt welke mogelijkheden voor opschaling er zijn als de technologie uitontwikkeld en commercieel beschikbaar is.

Als we de opschaalbaarheid naast de WTW reductie leggen, zien we het volgende:

Directe elektrificatie. Hernieuwbare elektriciteit voor directe inzet aan boord is goed opschaalbaar en heeft een hoge WTW broeikasgasreductie, en de hoogste keten efficiëntie. Aandachtspunt is de additionaliteit van de hernieuwbare elektriciteit. De opschaalbaarheid van hernieuwbare elektriciteit voor de zeevaart wordt niet zozeer beperkt door factoren aan de productiekant, als wel door de infrastructuur (o.a. netcapaciteit en inpassing in het elektriciteitsnet) **Benodigde doorontwikkeling:** betreft met name inpassing in het net.

E-fuels. Hernieuwbare elektriciteit kan ook worden gebruikt voor de productie van hernieuwbare synthetische brandstoffen, ook wel e-fuels (in EU regelgeving: RFN-BO's). Dit zijn hernieuwbare waterstof en daarvan afgeleide brandstoffen zoals e-diesel, e-methanol, e-LNG en e-ammoniak. Belangrijke factoren die de mogelijkheden voor opschaling bepalen, zijn de productiekosten van e-fuels (kosten van hernieuw-

bare elektriciteit en koolstof/CO₂ als grondstof) en de ontwikkeling van de productiecapaciteit namelijk voor hernieuwbare elektriciteit, elektrolyse en winning van CO₂ (uit fossiele of biogene bronnen, of uit de lucht via "Direct Air Capture"). Zeker bij e-fuels met een lage ketenefficiëntie is relatief veel hernieuwbare elektriciteit en productiecapaciteit nodig, wat ook leidt tot hoge productiekosten. Een ander aandachtspunt is de duurzaamheid van de benodigde koolstof en van het watergebruik voor elektrolyse.

Benodigde doorontwikkeling: betreft met name het opschalen van elektrolysecapaciteit, brandstofproductiecapaciteit en van winning van CO₂ als grondstof; daarnaast kostenverlaging en optimalisatie van het productieproces. Ook borging van oorsprong elektriciteit en gebruikte koolstof en andere duurzaamheidsaspecten.

Biobrandstoffen. Biobrandstoffen bestrijken een groot palet aan verschillende combinaties van biograndstoffen en conversietechnieken. Diverse technieken zijn al lange tijd commercieel maar er is ook een groot aantal technieken in opkomst. Sommige technieken zijn geschikt voor een heel brede basis aan biograndstoffen (bijvoorbeeld vergisting), terwijl andere zich richten op specifieke (rest)stromen (bijvoorbeeld bij HTL natte stromen). De beschikbaarheid en opschaling van de grondstoffenbasis hangt af van de fysieke beschikbaarheid van aantoonbaar duurzame biograndstoffen en in welke mate de biograndstoffen ontsloten kunnen worden voor biobrandstofproductie. Beleid heeft een sterke invloed op welke typen biograndstoffen tot ontwikkeling moeten komen en voor welke beperkingen gelden voor de opschaling.

Voedsel- en voedergewassen: Gewassen, die voedsel- en voedertoepassingen kennen, kunnen als grondstof dienen voor duurzame biobrandstoffen, mits ze voldoen aan de duurzaamheidseisen⁶⁸ in de Europese regelgeving. Daarnaast kunnen deze gewassen bijdragen aan bevordering van de voedsel- en energiezekerheid en landbouw- en plattelandontwikkeling, zoals ook wordt aangegeven in de bio-energie en voedselzekerheid aanpak van de wereldvoedselorganisatie FAO⁶⁹. Omdat bij gebruik van gewassen op grote schaal voor productie van transportbrandstoffen duurzaamheidsaspecten kunnen spelen zoals concurrentie met voedseltoepassingen en in som-

⁶⁸ RED Artikel 29 stelt duurzaamheidseisen met betrekking tot onder ander broeikasgasreductie, bodemkwaliteit tijdens de teelt, niet geproduceerd op gebieden met hoge biodiversiteit, veengebieden of gebieden met een hoge koolstofvoorraad die na 2008 zijn aangelegd en inzake landgebruik, wijzigingen in het landgebruik en bosbouw.

⁶⁹ Zie: [BEFS | Energy | Food and Agriculture Organization of the United Nations \(fao.org\)](https://www.fao.org/)

mige gevallen⁷⁰ een hoog risico op indirecte landgebruiksveranderingen (“Indirect Land Use Change”, ILUC) is het gebruik in de huidige Europese wetgeving gelimiteerd. Deze beperking geldt alleen voor gewassen die vallen onder de definitie van voedsel- en voedergewassen in de Europese regelgeving (RED Artikel 2(40)). Het gebruik van deze gewassen voor biobrandstofproductie voor biobrandstoffen die in de EU worden gebruikt is op lidstaatniveau gelimiteerd tot het consumptieniveau van 2020. Dit geldt dus ook voor Nederland. Op mondiaal niveau geldt dit niet. **Doorontwikkeling:** deze gewassen kunnen ingezet worden voor biobrandstofproductie, maar verdere opschaling is in EU en Nederland beperkt vanwege wetgeving en beleid. Mondiaal geldt dit niet. LNV en EZK kunnen inzetten om Europese braakliggende gronden⁷¹ via het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid (GLB) weer te reactiveren om daarmee de beschikbaarheid van gewassen te vergroten.

Tussengewassen: dit zijn gewassen die niet onder de Europese definitie van voedsel- en voedergewassen vallen. Braakliggende gronden en efficiencyverbetering bieden kansen om de landbouwproductie in de EU te vergroten. Indien de teelt van deze gewassen aantoonbaar niet tot een additionele vraag naar landbouwgrond leidt, vallen deze gewassen niet onder de hierboven genoemde limiet voor voedsel- en voedergewassen. **Doorontwikkeling:** mogelijk; afhankelijk van ontwikkeling van (Europese) definities en certificering voor tussengewassen. Nederland kan het voortouw nemen om beleid voor tussengewassen te ontwikkelen om de beschikbaarheid van biomassa te vergroten.

Annex 9B grondstoffen –Annex 9B biograndstoffen (met name gebruikte oliën en vetten en dierlijke vetten) worden momenteel veel ingezet voor biobrandstofproductie. In Nederland en omringende landen wordt vrijwel alle gebruikte frituurvetten ingezameld. Partijen uit de sector geven aan dat mondiaal gezien er mogelijkheden zijn om de inzameling van deze stromen te vergroten. Omdat de Europese wetgeving er vanuit gaat dat er uiteindelijk een fysieke begrenzing is aan de beschikbaarheid van deze reststromen, geldt in de RED een limiet voor de bijdrage van Annex 9B biobrand-

stoffen aan het transportdoel van deze richtlijn⁷². Dit geldt dus ook voor Nederland. Voor scheepseigenaren die aan FuelEU Maritime moeten voldoen is geen limiet van toepassing en ook mondiaal gezien gelden geen beperkingen. **Doorontwikkeling:** biobrandstofproductie op basis van Annex 9B grondstoffen gebeurt al op grote schaal en deze volumes moeten benut blijven worden; verdere opschaling is op Nederlands en Europees niveau echter beperkt vanwege wetgeving (maar afhankelijk van RED3 implementatie door lidstaten). Op mondiaal niveau is doorontwikkeling mogelijk, mits het resterende potentieel benut kan worden. Doorontwikkeling voor zeevaart wordt in Nederland en de EU sterk beïnvloed door (beleids)keuzes voor waar Annex 9B grondstoffen ingezet moeten worden.

Annex 9A grondstoffen. Biobrandstoffen op basis van grondstoffen die niet gelimiteerd maar juist gestimuleerd worden door wetgeving – de zogenaamde Annex 9A biograndstoffen, omvatten een zeer divers palet aan allerlei (lignocellulose) biograndstoffen. Het gaat hierbij met name om allerlei reststromen uit landbouw (bv. stro) en bosbouw en huishoudelijke en industriële afvalstromen. Van deze grondstoffen worden nu relatief kleine volumes gebruikt en veel stromen zijn nog on(der)benut. Annex 9A biograndstoffen zijn redelijk tot goed opschaalbaar, mits de ketens om deze grondstoffen te mobiliseren daadwerkelijk worden opgezet. De grootste mogelijkheden voor opschaling van biobrandstoffen voor inzet in zeevaart zijn dus te vinden bij Annex 9A biobrandstoffen. Het is zaak dat de productie hiervan verder wordt uitgebouwd. Aandachtspunten hierbij zijn de technologische doorontwikkeling die bij sommige opties nog moet plaatsvinden, en verlaging van de meestal hogere investeringskosten voor productie dan voor Annex 9B. Annex 9A biograndstoffen zijn in het algemeen moeilijker en duurder om te verwerken dan Annex 9B biograndstoffen, waarvoor nu de meeste productiecapaciteit beschikbaar is. **Doorontwikkeling:** mobiliseren van grondstoffenketens. Daarnaast is cruciaal voor verdere mobilisatie van Annex 9A grondstofstromen duidelijkheid, stabiliteit en consistentie in de indeling van grondstoffen lijst A en B van Annex 9 van de RED (zie verder [paragraaf 4.3](#)). Ook is verdere standaardisatie aan de hand van kwaliteitsstandaarden belangrijk bij opschaling van met name Annex 9A biograndstoffen (zie [paragraaf 4.3](#)).

Uit bovenstaande komt naar voren dat er voor zeevaart in principe veel opties beschikbaar zijn, maar dat veel opties nog wel doorontwikkeling behoeven. En daarnaast is in elk geval opschaling van de productie, tegen een acceptabele prijs, noodzakelijk.

⁷⁰ Tot nu toe heeft de Europese Commissie alleen biobrandstoffen op basis van oliepalm als “hoog ILUC risico” aangemerkt. In de RED is vastgelegd dat biobrandstoffen met een hoog ILUC risico moeten worden uitgefaseerd voor 2030.

⁷¹ Een studie uit 2022 laat zien dat 15,1 procent van het landbouwareaal in de EU is niet of niet efficiënt gebruikt word. Een andere studie voorspelt dat in de periode 2015-2030 11 procent (meer dan 20 miljoen hectare) van de EU landbouwgrond verlaten dreigt te worden.

⁷² Lidstaten mogen echter een verzoek indienen bij de Europese Commissie om hiervan af te wijken, mits zij kunnen aantonen dat er voldoende grondstoffen beschikbaar zijn.

Energiedragers zijn nu nog niet of beperkt beschikbaar voor de zeevaart. Vanwege de lange levensduur van aandrijflijnen en schepen, zijn met name opties interessant waarbij de brandstof zich door kan ontwikkelen zonder dat aanpassing van het schip of de aandrijflijn nodig is. Denk hierbij aan LNG schepen, waarin nu al inzet van fossiele LNG mogelijk is en daarna de overstap kan worden gemaakt naar de hernieuwbare varianten bio-LNG en e-LNG. Brandstoffen met een steeds hogere broeikasgasreductie. Ook bij methanolschepen is een dergelijke route denkbaar. En hetzelfde geldt voor drop-in brandstoffen. Drop-in brandstoffen kunnen worden toegepast zonder dat aanpassingen aan het schip of de aandrijflijn nodig zijn. Fischer-Tropsch diesel is een voorbeeld van een drop-in brandstof, waarbij ook zowel een biofuel als een e-fuel variant mogelijk is.

5.2.4 KWALITEITSNORMERING VAN ENERGIEDRAGERS

In [paragraaf 4.3](#) staat het belang van technische specificaties en duurzaamheids-certificering voor energiedragers benoemd. In het algemeen kan gesteld worden dat de kwaliteitsnormering voor alternatieve brandstoffen achterloopt op initiatieven en ontwikkelingen die al te zien zijn in de markt. Hierdoor ontstaan barrières voor verdere opschaling van de toepassing. Een voorbeeld hiervan is de ISO 8217 norm, die technische kwaliteitseisen stelt aan scheepsbrandstoffen. De technische specificaties zijn geënt op fossiele brandstoffen. Er wordt niet of beperkt rekening gehouden met inzet of bijmenging van alternatieve brandstoffen. Dit vormt een barrière voor toepassing van deze brandstoffen. Daar komt bij dat gebruik van deze ISO geen wettelijke vereiste is, dus partijen kunnen hiervan afwijken en gezamenlijk andere specificaties voor de brandstof overeenkomen. Dat er alleen een handelsnorm en geen wettelijke vereisten zijn voor brandstoffen in zeevaart, zoals die er voor toepassing in wegverkeer wél zijn op Europees niveau, kan belemmerend werken. In [Tabel 1](#) staat in de zesde kolom per energiedrager aangegeven hoe ver kwaliteitsnormering doorontwikkeld is.

Om opschaling van de toepassing van alternatieve brandstoffen verder te helpen zijn strikte normen nodig voor pure brandstoffen, en voor het bijmengen van deze brandstoffen in conventionele scheepsbrandstoffen. Normen dienen te zijn toegespitst op toepassing in de zeevaart. Deze normen zijn er nog niet. Sommige brandstoffen, zoals HVO, kunnen in pure of geblende vorm aan de eisen van de ISO 8217 norm voldoen. De ISO 8217 norm bevat echter alleen uitdrukkelijk eisen voor FAME (biodiesel), waarvan een (zeer) beperkte bijmenging is toegestaan. In de praktijk worden al veel hogere gehalten FAME toegepast, en ook andere drop-in biobrandstoffen. De norm voorziet niet in energiedragers als methanol.

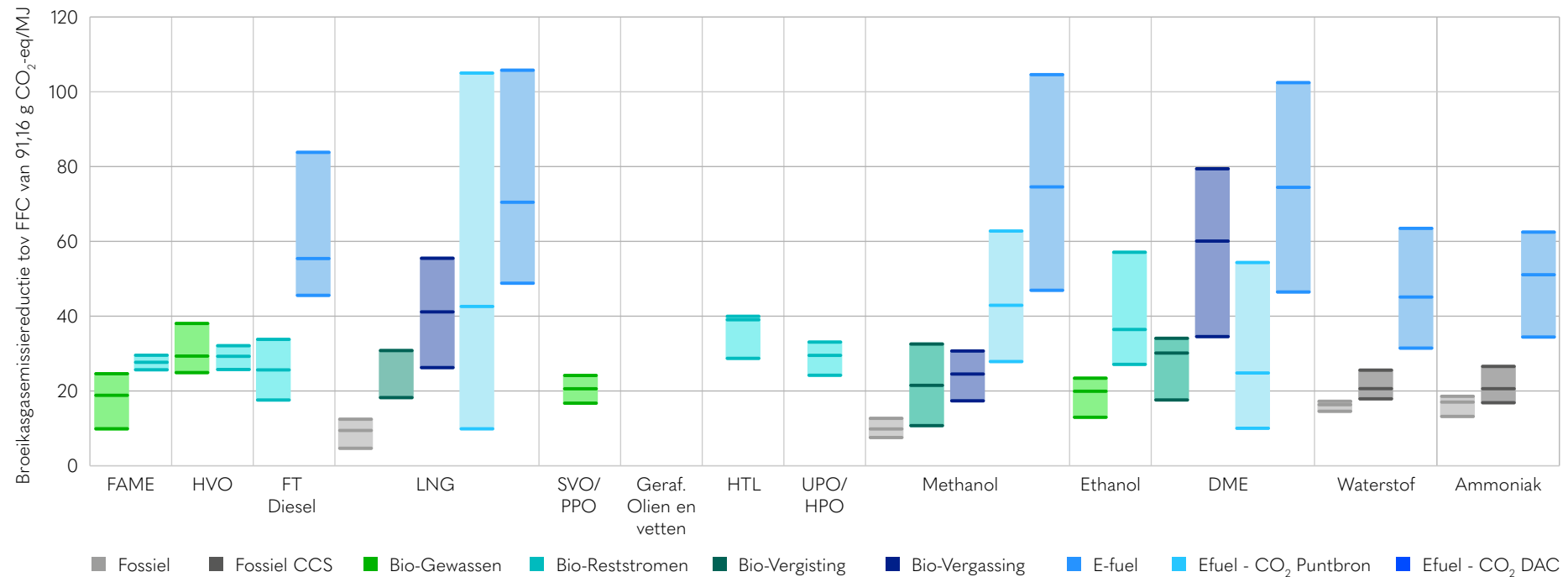
Normontwikkeling moet bij voorkeur gebeuren op mondiaal niveau en gericht zijn op de kwaliteitseisen die voor toepassing in zeevaart strikt noodzakelijk zijn. Rekening houdend met de genoemde ontwikkelingen moet de ISO 8217 norm dus in de toekomst hierop worden aangepast. Een andere mogelijkheid is om andere specificaties dan deze norm te overwegen die wél gericht zijn op alternatieve brandstoffen. Hier moet door de sector als geheel, dus motorfabrikanten, brandstofleveranciers en klas-senbureaus en andere belanghebbenden, naar worden gekeken. Momenteel is er in Nederland ook een NEN werkgroep bezig met de ontwikkeling van een norm voor FAME. Het is belangrijk dat dit ook internationaal wordt opgepakt en dat dit ook wordt uitgebreid naar normontwikkeling voor diverse typen blends. Verder is naast het vaststellen van kwaliteitsnormen ook de naleving en toezicht hierop essentieel voor een goede borging van de kwaliteit van de brandstoffen in de gehele waardeketen.

5.2.5 KOSTEN

Inzet van alternatieve energiedragers zal voor reders tot een hogere TCO (Total Cost of Ownership) leiden vergeleken met conventionele brandstoffen en schepen. Dit wordt bepaald door enerzijds de hogere brandstofprijzen (onderdeel van de operationele kosten, OPEX) en anderzijds de meerkosten van investering in een nieuw of aangepast schip (CAPEX). Een reder moet daarin bijvoorbeeld de afweging maken of hij de hogere brandstofprijzen accepteert bij een drop-in brandstof waarvoor (bijna) geen investeringen op het schip nodig zijn óf dat het juist aantrekkelijker is om te investeren in nieuwe of aangepaste schepen die een brandstof gebruiken met minder hoge brandstofprijzen. Hoe de TCO voor toepassing van een bepaalde brandstof wordt beïnvloed door brandstofkosten enerzijds en de investeringskosten anderzijds is terug te vinden in de kansen tabel in [Bijlage 2: Kansentabel](#).

Brandstofprijzen bestaan uit de productiekosten van de brandstof en kosten voor distributie en bunkering, met daar bovenop een winstmarge. Hieronder wordt dieper ingegaan op de productiekosten van de verschillende brandstoffen om meer inzicht te krijgen op de hoogte hiervan en de onderlinge verschillen. In [Figuur 20](#) wordt een indicatie gegeven van de productiekosten van verschillende brandstofftypen (in Euro/Gigajoule). Bij technieken die al (bijna) commercieel zijn, is uitgegaan van de huidige productiekosten (ca. 2020-2025). Bij technieken die in ontwikkeling zijn is uitgegaan van gegevens voor 2030. In de figuur is waar nodig onderscheid gemaakt naar type grondstof en productietechniek, omdat deze van grote invloed zijn op de totale productiekosten. Details over de kostengegevens zijn te vinden in de kansen tabel in de bijlage.

Figuur 20 Huidige productiecosten van alternatieve energiedragers (€/GJ) met bandbreedte en gemiddelde waarde. Productiecosten op basis van bestaande literatuur; voor fossiele VLSFO, MGO, LNG en methanol marktprijzen begin februari 2024⁷³. Bron: RVO.



De figuur laat zien dat de productiecosten van alle alternatieve energiedragers hoger zijn dan de huidige marktprijzen voor VLSFO en MGO. In het algemeen kan gesteld worden dat prijzen van fossiele alternatieven, inclusief de blauwe varianten van waterstof en ammoniak, vergelijkbaar of iets hoger zijn. Bij biobrandstoffen zijn (fluctuaties in) de grondstofprijzen, de prijzen van waterstof (indien dit nodig is voor de productie) en de investeringskosten voor de productie-installaties de meest bepalende factoren voor de productiecosten. Voor sommige biobrandstoffen zijn de productiecosten lager of vergelijkbaar met de huidige marktprijzen van VLSFO/MGO of liggen de productiecosten 1,5 à 2 keer hoger. (Veel) hogere productiecosten zijn echter ook mogelijk. Voor biobrandstoffen die nu al veel worden toegepast zoals FAME en HVO zijn de gevonden kosteninschattingen goed met elkaar in lijn; voor andere technieken kunnen de bandbreedtes behoorlijk groot zijn. In het algemeen wordt verondersteld dat productie van biobrandstoffen op basis van Annex IX-A grondstoffen duurder is dan van Annex IX-B grondstoffen vanwege de complexere conversie.

⁷³ Prijsinformatie via [Ship & Bunker - Shipping News and Bunker Price Indications \(shipandbunker.com\)](https://www.shipandbunker.com), bunkering in Rotterdam, begin februari 2024.

In het algemeen zijn e-fuels (nog) veel duurder dan biobrandstoffen. Voor e-fuels zijn de kosten voor hernieuwbare elektriciteit en hernieuwbare waterstof zeer bepalend. Hierbij is een grote variatie te zien, afhankelijk van de productielocatie: binnen de EU of daar buiten in landen met een groot en goedkoop potentieel voor productie van hernieuwbare elektriciteit. Daarnaast vormen de kosten van winning van CO₂ een belangrijke factor, waarbij de herkomst van de CO₂ en de bijbehorende techniek bepalend is. Hierbij is productie van e-fuels met CO₂ afkomstig uit fossiele of biogene puntbronnen goedkoper dan met winning van CO₂ uit de lucht via DAC (Direct Air Capture). De bandbreedte voor de productie van e-waterstof en e-ammoniak ligt grofweg in de figuur op hetzelfde niveau als bij productie van koolstofhoudende e-fuels, waarvoor men hogere kosten zou verwachten vanwege de noodzaak van winning van CO₂ als grondstof. Hoe deze opties zich tot elkaar zullen verhouden, hangt sterk af van de toekomstige prijsontwikkelingen voor hernieuwbare elektriciteit en CO₂.

Wat opvalt is dat in de figuur voor veel brandstoffen grote bandbreedtes te zien zijn, wat weergeeft dat kosteninschattingen afkomstig uit bestaande literatuur sterk onderling verschillen. Er is dus bij veel brandstoffen sprake van (grote) onzekerheid in de productiekosten, vooral wanneer een techniek nog in ontwikkeling is. Concluderend kan worden gesteld dat de prijzen van de meeste alternatieve energiedragers (veel) hoger liggen dan de huidige marktprijzen van conventionele scheepsbrandstoffen. Dit geldt voor biobrandstoffen maar vooral voor e-fuels. Daar bovenop kennen deze prijzen fluctuaties en onzekerheid richting de toekomst.

5.2.6 SYNERGIËN EN SYSTEEMINTEGRATIE

Synergiën in het productieproces. In [Tabel 1](#) is waar nodig onderscheid gemaakt tussen de fossiele, bio fuel, e-fuel en/of blauwe route en eventueel tussen verschillende typen biograndstoffen. Er zijn volop mogelijkheden voor integratie en synergie tussen ketens: een bijproduct/afvalproduct van de ene keten kan een grondstof zijn voor een andere keten. Een voorbeeld hiervan is zuurstof die vrijkomt bij elektrolyse van water om waterstof te produceren; bij synthese processen is juist naast waterstof ook zuurstof nodig. Ook kan bijvoorbeeld CO₂ die wordt afgevangen in productieprocessen worden ingezet voor productie van koolstofhoudende e-fuels; koolstofketens hebben juist CO₂ nodig. Hier zijn dus logische koppelingen te maken en systeemintegratie is erg belangrijk voor de transitie van ons energiesysteem, onder andere gezien vanuit efficiëntie en kosten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de scheidslijn tussen productieketens (bijvoorbeeld tussen bio routes en e-fuel routes) in de praktijk minder strikt is dan het lijkt in de tabel.

Synergiën tussen eindmarkten. De chemische industrie en landbouwsector zijn mogelijke afzetmarkten van producten, die tegelijk met de productie van alternatieve energiedragers ontstaan. De productie wordt meer rendabel als er synergiën zijn met dergelijke industrieën, omdat dit leidt tot schaalvergroting.

Synergiën voor het stimuleren van de transitie in andere sectoren. De transitie in de chemische industrie kan andere duurzame industrieën opschalen zoals de groene waterstof en hernieuwbare energie sector door onze vraag naar groene waterstof. Dit kan de zeevaart helpen. Tegelijkertijd kan de productie van alternatieve energiedragers de transitie van de landbouwsector stimuleren als wij in de toekomst bijvoorbeeld dekgewassen of reststromen van de landbouwsector in kunnen zetten om duurzame brandstof voor de scheepvaart mee te produceren.

5.3 DUURZAME SCHEPEN

5.3.1 INTRODUCTIE

Gebruik van alternatieve energiedragers voor energieopwekking aan boord, vraagt vaak, maar niet altijd, aanpassingen aan het schip. Zogeheten drop-in brandstoffen kunnen direct worden toegepast in een conventionele verbrandingsmotor, en vragen relatief kleine aanpassingen aan het systeem. Voor andere energiedragers, zoals alcoholen en waterstof(dragers), is een ander type aandrijftechniek nodig. In [Tabel 2](#) is voor alle energiedragers aangegeven, in hoeverre zij compatibel zijn met conventionele ICE aandrijflijnen en infrastructuur aan boord, en in welke mate nog doorontwikkeling nodig is (TRL niveau).

In onderstaande paragrafen wordt nader ingegaan op enkele relevante aspecten als het gaat om de toepassing van energiedragers aan boord: ruimtebeslag aan boord, ontwikkelingen in de aandrijftechniek, nieuwbouw versus conversie en veiligheid aan boord en certificering. In [paragraaf 5.3.6](#) wordt op basis van deze input, door middel van formats aangegeven wat de technische toepasbaarheid van de verschillende energiedragers is voor specifieke scheepstypes. We kijken naar scheepstypes die veel voorkomen in de Nederlandse vloot, en die veel in Nederland gebouwd worden.

Tabel 2 Toepassing op het schip

Aspecten	Toepassing aan boord					Energie-dichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies
	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing	Veiligheid schip	
FAME	Green	Green	Green	Green	Green	Green
HVO	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Fischer-Tropsch diesel	Green	Green	Green	Yellow	Green	Green
LNG	Green	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
LNG - OCCS	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow
SVO/PPO	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Geraffineerde afvaloliën en -vetten	Green	Green	Green	Green	Green	Green
HTL	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green
UPO/HPO	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow
Methanol	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
Ethanol	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
DME	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
Waterstof	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
Ammoniak	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow
Elektrisch	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow
Nucleair	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green

5.3.2 RUIMTEBESLAG AAN BOORD EN OPERATIONELE EISEN

Een belangrijke factor voor de toepassingsmogelijkheden van energiedragers in de zeevaart, is het ruimtebeslag. Veel alternatieve energiedragers hebben een lagere energiedichtheid dan conventionele brandstoffen, waardoor meer tankvolume nodig is voor dezelfde hoeveelheid energie. In Figuur 20 staat de volumedichtheid van energiedragers uitgezet tegen de gewichtsdichtheid, met de conventionele brandstoffen HFO en MGO rechtsboven in. Onder meer vanwege dit extra ruimtebeslag, zijn energiedragers niet zonder meer voor alle scheepstypes geschikt. Soms zijn concessies nodig. Dit is maatwerk. Het kan een optie zijn om laadruim op te geven ten behoeve van tankvolume. Of er kunnen aanpassingen worden gedaan op operationeel niveau, door vaker te bunkeren of genoeg te nemen met een kleinere range en autonomie. Daarnaast is er een veelheid aan toepassingen van schepen te vinden, waar een lage

energetische dichtheid geen belemmering vormt. Denk aan een schip met een zeer beperkte vaarduur, zoals een veerpont. Scheepsbouwers merken daarnaast op dat er regelmatig een discrepantie zit tussen de specificaties die door de klant worden aangevraagd, en het daadwerkelijke gebruik van het schip. Het schip wordt daarom vaak overdesigned voor het gebruik, zowel qua motorvermogen als volume en gewicht. Dat gesprek goed voeren aan de voorkant met de klant, is belangrijk.

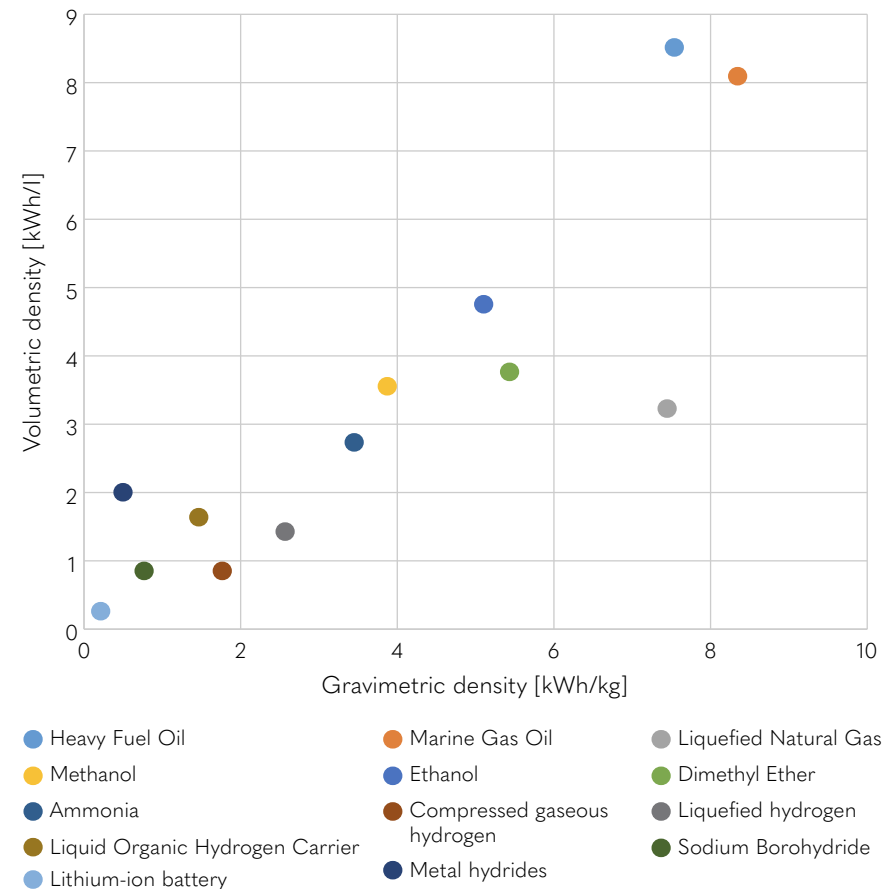
Naast extra tankvolume kan de complexiteit van aanvullende systemen tot extra ruimtebeslag leiden. Bijvoorbeeld in het geval bij cryogene opslag van waterstof en LNG. Dergelijke complexiteit stelt ook hogere eisen aan de bemanning, van wie meer specialistisch werk wordt gevraagd. In het geval van dual fuel motoren, leidt gebruik van meerdere brandstoffen tot een verdubbeling van tanks, leidingwerk etc. Daarnaast

wordt om te voldoen aan regelgeving, een groot aantal extra mitigatiesystemen geïnstalleerd, die daarnaast ook nog eens voorzien moeten zijn van veiligheidssystemen (ook door een conservatieve houding hieromtrent, zie paragraaf 5.3.4). Deze complexere systemen zijn lastig inpasbaar in schepen met een klein platform. Onderdelen moeten ook beschikbaar blijven bij servicing.



Ook veiligheidseisen kunnen hun weerslag hebben op ruimtegebruik. Bijvoorbeeld in het geval van nucleaire aandrijving. De veiligheidszones die in acht moeten worden genomen zijn veelal niet haalbaar.

Figuur 21 Energiedichtheid per volume (y-as) en per gewicht (x-as), inclusief opslag systeem, voor verschillende energiedragers. Indirect ruimte gebruik van de gasvormige brandstoffen en waterstofdragers (LOHC, NaBH, MH₂) zijn afhankelijk van de wijze van integratie. Netto impact op de payload van het schip (lading-, equipment- en interieurruimte) niet meegenomen. Bron: Van Mestemaker et al⁷⁴.



⁷⁴ Van Mestemaker et al. (2019) ((PDF) [Zero emission vessels from a shipbuilders perspective](https://www.researchgate.net/publication/348888888) (researchgate.net))

Betekent dit dan, dat waterstof en batterij elektrisch een zeer beperkte rol zullen spelen in het eindbeeld van 2050? Niet per definitie. Technologische ontwikkelingen op het gebied van opslag zouden revolutionaire gevolgen kunnen hebben. Voor waterstof worden naast gasvormige en cryogene vorm, oplossingen ontwikkelt in vloeistof (LOHC, liquid organic hydrogen carrier) en opslag als vaste stof (in boorhydridestructuren). Elke opslagvorm heeft verschillende implicaties voor de veiligheid. Belangrijk punt van onderzoek bij de vaste opslagvorm is de regeneratie van het restproduct NaBO₂. Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar het rendement, onder meer aan de TU Delft ende Universiteit van Amsterdam. Dit gebeurt in het SH2IPDRIVE project (Subsidieregeling R&D Mobiliteitssectoren, call 2021, resultaten verwacht eind 2025) en het Maritiem Masterplan.

Voor batterijen geldt dat ontwikkelingen in een redox flow techniek, de dichtheid zou kunnen verbeteren richting 2050. Concluderend kan worden gesteld, dat alhoewel de energiedichtheid gepresenteerd in Figuur 20 van grote invloed is op de technische toepasbaarheid van energiedragers in de zeevaart, technologie ontwikkeling in de toekomst in principe alle opties mogelijk kan maken.

5.3.3 ONTWIKKELINGEN IN DE AANDRIJFTECHNIEK

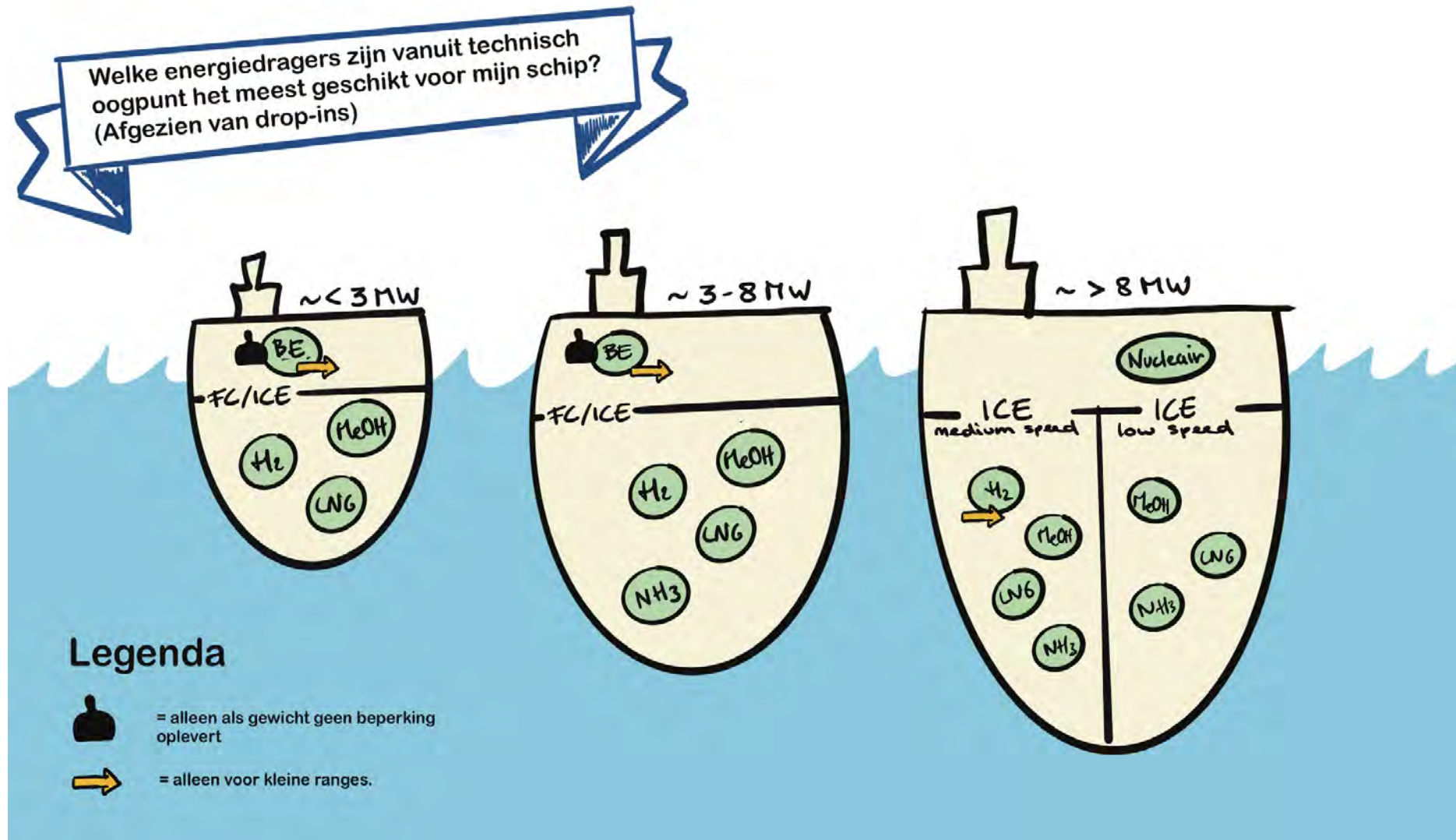
Er zijn verschillende vermogenssystemen voor de omzetting van energie in beweging. Denk aan een verbrandingsmotor, een elektromotor, een brandstofcel of een combinatie hiervan. Zogeheten 'drop-in' brandstoffen, kunnen direct worden toegepast in een conventionele verbrandingsmotor, al dan niet als blend. HVO en FAME worden al op grote schaal toegepast. Ook LNG wordt op grote schaal in de zeevaart toegepast met LNG motoren. Voor andere energiedragers, zijn aangepaste of nieuwe aandrijfsystemen nodig. Op dit vlak zijn veel ontwikkelingen. "De motor is niet het probleem" zegt de motorbouwer hierover, oftewel: de technologie krijgen we wel werkend. De technologie ontwikkelt snel en zodra de vraag ontstaat, kunnen de meeste motoren voor nieuwe energiedragers wel worden ontwikkeld. Wel wordt de brede range aan opties in combinatie met tekorten aan personeel voor R&D, productie en service netwerk als bottleneck genoemd – er is niet genoeg capaciteit om alle mogelijke

motortypes door te ontwikkelen. Meer over personeelstekorten staat opgenomen in [paragraaf 4.2](#). Aandachtspunt is daarnaast dat je een motor niet alleen moet leveren, maar ook een bepaalde levensduur moet kunnen garanderen en moet garanderen dat deze wereldwijd onderhouden kan worden en veilig is. Daar komt bij dat standaardisatie van motoren nauwelijks mogelijk wordt geacht, net zoals dat nu maar beperkt mogelijk is – elke toepassing in de zeevaart vraagt maatwerk.

In Tabel 3 is de verwachte beschikbaarheid opgenomen voor de verschillende technieken, in combinatie met energiedragers. Deze tabel is ingevuld na brede consultatie in de markt. Uit de tabel blijkt dat niet alle technieken voor alle vermogensrange voor de hand liggend worden gevonden. Brandstofceltechnologie wordt naar verwachting bijvoorbeeld meer logisch voor de lagere vermogens. Al kunnen brandstofcellen in theorie oneindig worden geschakeld. ICE (internal combustion engine) motoren zijn veelal beschikbaar in dual fuel vorm. High speed motoren lopen daarbij wat achter. De scheepvaartmarkt is klein ten opzichte van wegverkeer en de industrie, dus niet de eerste prioriteit van motorfabrikanten. Werven geven aan relatief weinig invloed te hebben op de investeringen van de grote ICE OEMs. Zelf zullen wij niet snel investeren in motorontwikkeling omdat zij vaak weinig kapitaal krachtig zijn en het hen bovendien geen Intellectual Property oplevert. De zeevaart is in die zin relatief afhankelijk van de strategieën van internationale motorfabrikanten en andere toeleveranciers. In Nederland zijn geen grote motorfabrikanten, wat ons afhankelijk maakt van internationale trends.

Waar fabrikanten met name aan werken: uitbreiding van aanbod dual-fuel motoren over hun volledige leveringsportefeuille; vermindering pilot fuel; verbetering performance (efficiency en emissions) over gehele vermogensrange van de motor. De duurzaamheid van de techniek hangt bij methanol bijvoorbeeld af van het inspuitstelsel. Bij een systeem met hoge druk kan veel methanol in worden gespoten, maar bij een systeem met lage druk is er een beperkt window waarbinnen methanol kan worden toegepast. Afhankelijk van het gebruikspatroon, kan dit ertoe leiden dat nauwelijks anders dan diesel of HFO wordt verstoekt.

Figuur 22 Versimpeld schema rondom de technische toepasbaarheid van alternatieve energiedragers, voor verschillende type schepen. Indeling is gemaakt enkel met het oog op ruimtebeslag en operationeel profiel. Andere aspecten als beschikbaarheid, duurzaamheid etc zijn niet meegenomen. Uitzonderingen op bovenstaande indeling zijn mogelijk.





Batterij elektrische aandrijving is zoals gezegd zeer relevant vanwege de hoge efficiëntie in de keten en bij toepassing op het schip. Bij gebruik van 100% hernieuwbare energie kan bovendien een WTW broeikasgasreductie van 100% worden behaald. Elektrische aandrijving heeft daarom de voorkeur, waar mogelijk. Het toepassingsbereik van elektrische aandrijving is in de zeevaart echter beperkt, vanwege de lage energiedichtheid van de accupakketten.

Een vak apart zijn nucleaire reactoren. Nucleaire voortstuwing wordt al ingezet voor militaire doeleinden. De uitdaging is om reactoren te bouwen waarvan het vermogen

de energiebehoefte van schepen niet te boven gaat. Er loopt onderzoek naar een mogelijke toepassing van Generatie IV reactoren in een modulair ontwerp, ook wel Small Modular Reactors (SMR) genoemd. Met deze ontwikkeling komen gemodulariseerde systemen beschikbaar, ook van 10 tot 25 MW. Deze SMR's zijn naast modulair ook intrinsiek veilig, met het potentieel te diversifiëren in splijtstofopties. Daarmee komt ook een lagere radioactieve afvalproductie binnen bereik. Het gaat hier mede om een economische overweging en om een afweging rondom de strategische autonomie van het schip. Onder de sectoragenda maritieme maakindustrie, is een concreet project gekoppeld aan nucleaire voortstuwing.

Tabel 3 Verwachte beschikbaarheid aandrijflijn en bijbehorende systemen

Verwachte beschikbaarheid aandrijflijn en bijbehorende systemen ¹	Vermogensrange < 3 MW	Vermogensrange 3 – 20 MW	Vermogensrange 20 – 80 MW	Opmerkingen	
	High-speed 4 stroke	Medium-speed 4 stroke	Low-speed 2 stroke		
	'24 '30 '35 '40	'24 '30 '35 '40	'24 '30 '35 '40		
ICE ²	Drop-in				Methanol < 3 MW: Beperkte beschikbaarheid (ScandiNAOS). Redelijk veel in de pijplijn (voor 2024: Wärtsilä (0,8 – 2 MW); 2025-2027: MAN, Caterpillar en MTU) Waterstof < 3MW: Beperkte beschikbaarheid (BeHydro). Beperkt projecten in de pijplijn.
	Methanol ³				
	Ammoniak				
	Waterstof ⁴				
	LNG				
FC	Methanol				
	Ammoniak				
	Waterstof				
Batterij elektrisch					
Nucleair					

¹ Dit is een ruwe inschatting. Vermogens ranges zullen overlappen. Binnen ranges zullen sommige motoren draaiend op alternatieve brandstof beschikbaar komen, het zal wel enige tijd duren tot de gehele range gedekt is. Daar waar geen tijdslijn staat aangegeven, wordt mindere inzet van die techniek in die vermogensrange verwacht. Er zijn altijd uitzonderingen mogelijk. Denk aan een groter schip op H2 FC, met een zeer beperkte vaarduur (zoals Riviera - News Content Hub - Torghatten Nord sets example for ropax fleet (rivieramm.com)). Specifiek voor die toepassing kan dit een goede oplossing zijn, echter in zijn algemeenheid lijkt H2 FC voor grotere schepen minder geschikt.

² ICE motoren: single en/of dual fuel, niet nader gespecificeerd. Percentage alternatieve brandstof niet nader gespecificeerd. Idem voor drop-ins.

³ *Koolstofneutraliteit door eenvoud: ontdek... | Anglo Belgian Corporation (abc-engines.com)

⁴ Waterstof < 3MW: Beperkte beschikbaarheid (BeHydro). Beperkt projecten in de pijplijn.

Het rendement waarmee energie wordt omgezet in beweging, verschilt per combinatie van aandrijftechniek en energiedrager. Directe elektrische aandrijving op basis van batterijpakketten is tank-to-wake veruit het meest efficiënt, en kan een rendement behalen van circa 90%⁷⁵. Andere aandrijftechnieken zijn minder efficiënt in de aandrijving van de schroefas. Ter illustratie, een aandrijflijn met verbrandingsmotor op conventionele brandstoffen kan uitgaande van representatieve belasting, een theoretisch tank-to-wake rendement behalen tussen de 40% en 50%, voor 2-takt motoren, en 35%-45% voor 4-takt medium speed en 30-35% 4-takt high speed. In de praktijk zal vaker op deellast worden gedraaid, waardoor rendementen vaker bij de ondergrens komen. Aandrijflijnen met PEM brandstofcellen bereiken een rendement van 20-30% voor ammoniak en 40-50% voor waterstofgas, uitgaande van dezelfde representatieve belasting. Varen op deellast pakt in dit geval juist gunstig uit. Het efficiëntieverlies bij ammoniak komt voort uit de benodigde omvorming tot waterstof. De in ontwikkeling zijnde SOFC brandstofcellen kunnen mogelijk hogere rendementen bereiken, circa 45-55%⁷⁷. Bijkomend voordeel van brandstofcellen ten opzichte van de verbrandingsmotor, is het feit dat er in geval van waterstof en ammoniak geen emissies bij vrij komen. Uiteraard is tank-to-wake efficiëntie van op het schip niet de enige relevante factor in de toepasbaarheid van aandrijflijn en energiedrager. Zaken als energiedichtheid van de energiedrager, complexiteit van het systeem, dynamisch gedrag en levensduur kunnen allen operationele beperkingen opleggen en van invloed zijn op het toepassingsbereik.

5.3.4 NIEUWBOUW, CONVERSIE EN 'METHANOL-READY'

Onder andere door de benodigde ruimte voor tankopslag en aandrijfsystemen, is conversie van een schip over het algemeen geen makkelijke opgave. Globaal gezien wordt de overstap naar energiedragers, anders dan drop-ins, met name voor nieuwbouw als kansrijk beschouwd. Desalniettemin wordt er ruimschoots onderzoek gedaan naar mogelijkheden voor conversie. Interesse in retrofitten bevindt zich met name bij de niche markten: partijen die willen verduurzamen maar bij de verkoop van hun schepen geen optie is, bijvoorbeeld vanwege concurrentieredenen of in het geval van een specifieke toepassing als een grote veerpont. Tegelijk schetst de sector de mogelijkheid dat technologische ontwikkelingen in de toekomst, conversie kunnen vergemakkelijken.

Alhoewel conversie van de huidige bestaande schepen dus met uitdagingen gepaard gaan, kunnen conversies in de toekomst vergemakkelijkt worden als nu al bij nieuwbouw wordt voorgesorteerd op een mogelijke toekomstige retrofit. Onzekerheden

over beschikbaarheid en prijs maakt een overstap op een andere energiedrager, soms nog te groot. Een manier om hiermee om te gaan is te zorgen voor flexibiliteit in de inrichting van de machinekamer. Deze tactiek wordt al ruimschoots toegepast. Zo kunnen schepen van een elektrische aandrijflijn worden voorzien, die in eerste instantie door dieselgeneratoren wordt aangedreven, maar die op een later moment redelijk makkelijk te vervangen zijn voor een motor of brandstofcel op een andere energiedrager. Ook opkomend zijn verbrandingsmotoren die nu nog op conventionele brandstoffen varen, maar met relatief weinig inspanningen (vervanging koppen, conversiekits) kunnen worden omgebouwd naar dual-fuel motoren op methanol. Bij deze tactiek is het van belang gelijktijdig flexibiliteit in te bouwen om op termijn onder meer een grotere tankopslag en cofferdam inpasbaar te maken. Tanks dienen daarnaast geschikt te zijn voor meerdere brandstoffen. De retrofit wordt op deze manier bij wijze van spreken al meeverkocht bij de nieuwbouw.

Termen als 'methanol-ready' worden gebruikt om dergelijke schepen aan te duiden, die met weinig inspanningen op in dit geval methanol kunnen varen. Maar wat 'weinig inspanningen' precies betekent, is daarbij niet duidelijk. Wat moet er aan de motor gebeuren, hoe zit het met de brandstof preparatie, tanks, bunkeraansluiting, pijpsystemen, veiligheidssystemen? Er is behoefte aan een definitie voor een term als methanol-ready, en vergelijkbaar voor andere energiedragers. Zodat duidelijk is of een schip daadwerkelijk voor minder uitstoot van broeikasgassen kan zorgen, of dat het slechts mooie woorden betreft.

5.3.5 VEILIGHEID AAN BOORD EN CERTIFICERING

Veiligheid aan de scheepskant is mondiaal gereguleerd via IMO. Voor alternatieve brandstoffen die qua eigenschappen lijken op conventionele brandstoffen (en geen laag vlampunt hebben) en die als drop-in brandstof kunnen worden ingezet, lijken er geen noemenswaardige additionele veiligheidsissues te spelen. Denk hierbij aan FAME, HVO, Fischer-Tropsch diesel en andere dieselachtige brandstoffen.

Voor toepassing van LNG geldt wel een ander veiligheidsregime, omdat LNG cryogene opslag vereist en een laag vlampunt heeft (ontvlambaarheids- en explosiesic'o's). De extra veiligheidsmaatregelen die van toepassing zijn voor brandstoffen met een laag vlampunt zijn vastgesteld in een internationale veiligheidsnorm voor schepen, de IGF Code (International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-Flashpoint Fuels). Voor LNG zijn de veiligheidsregels de afgelopen jaren al goed uitgewerkt. Voor methanol en ethanol worden deze regels momenteel verder uitgewerkt door IMO. De IGF code zal hier de komende jaren op worden aangepast.

⁷⁵ De percentages in deze alinea, zijn gebaseerd op de MARIN database [Sustainable Power @ MARIN](#).

Voor waterstof en ammoniak is de veiligheidsregelgeving complexer en nog minder ver ontwikkeld. Er zijn op dit moment nog geen uitgewerkte standaarden of regels voor toepassing van waterstof en ammoniak als scheepsbrandstof. Er zijn momenteel wel “interim guidelines” in ontwikkeling bij IMO. Bij ammoniak is de hoge toxiciteit van de brandstof een belangrijk aandachtspunt in veiligheidsregelgeving (in mindere mate geldt dit ook voor methanol). De toxiciteit van ammoniak leidt niet alleen tot aandachtspunten qua veiligheid maar heeft ook consequenties voor de perceptie. Dat wil zeggen: wat is de acceptatie van deze energiedrager, hoe zou de maatschappij reageren als deze energiedrager op grote schaal wordt toegepast als energiedrager voor de zeevaart? De meningen over de toepassing van ammoniak in de zeevaart zijn daarom verdeeld. In een rapport van de European Maritime Safety Agency wordt de toepassing van ammoniak als volgt omschreven: “However, the toxicity challenges and related risks are significant and, while manageable, they will add complexity to ship designs (compared to those for conventional and other low-flashpoint fuels and gases) and will potentially limit the ships for which it is a suitable fuel. Ammonia ultimately may prove to be a more appropriate solution for deep-sea cargo ships rather than short-sea, passenger or inland waterway craft.”⁷⁶

Bij toepassing van elektriciteit als energiedrager op schepen gelden specifieke veiligheidsmaatregelen ten aanzien van gebruik van batterijen, die over het algemeen al goed uitgewerkt zijn. Voor lithium-ion batterijen is wel nog verdere ontwikkeling nodig. Voor toepassing van een nucleair aandrijvingssysteem zijn nog geen internationale regels vastgelegd. Wel is uitgebreid ervaring met nucleaire aandrijving in de scheepvaart, en heeft nucleair een hoog track record qua veiligheid. De publieke opinie is een duidelijk aandachtspunt bij nucleaire voortstuwing. Academische begeleiding van deze discussies is gewenst.

Zoals hierboven is beschreven, is voor diverse alternatieve energiedragers de veiligheidsregelgeving nog in ontwikkeling. Wanneer er voor een bepaalde techniek nog geen mondiale regelgeving is, dan kunnen bedrijven die een nieuwe technologie willen toepassen op een schip bij een klassebureau aan de hand van onderbouwde risicoanalyses aantonen dat de technologie veilig gebruikt kan worden en kan op die manier voor een individuele situatie goedkeuring worden verkregen. Het reactieve karakter van klassebureaus maakt het lastig voor hen om in te spelen op de brandstoftransitie. Zij doen zelf geen onderzoek naar oplossingen voor veilige toepassing van alternatieve

technieken maar zijn hiervoor afhankelijk van de industriële partijen die hun plannen indienen. Als er geen consensus is over de veiligheid van een innovatief systeem stelt het klassebureau zich conservatief op en zullen zij -mogelijk overbodige- veiligheidssystemen toevoegen of plannen in het geheel van tafel vegen. Een overschot aan veiligheidssystemen is niet alleen ongewenst vanuit kosten- en ruimtaperspectief maar is ook een bedreiging van de veiligheid omdat een teveel aan systemen kan leiden tot tegenstrijdige informatie. Klassebureaus doen daarom een oproep aan de industrie om een risk-based approach te hanteren bij het indienen hun plannen, dat wil zeggen om met een goed onderbouwde risico analyse te komen conform de daarvoor bestemde ISO normen. Dit gebeurt op dit moment niet of onvoldoende. De maritieme industrie kan hierbij leren van de offshore industrie en van de chemie en procesindustrie waar het doen van een risico analyse standaard onderdeel uitmaakt van projectontwikkeling. Barrières die door de maritieme sector worden ondervonden zijn onder meer:

- Risico-analyse wordt gezien als een zwaar instrument en ook als zodoende omschreven door de ontwerp bureaus.
- De concurrentiepositie kan volgens partijen in het geding komen als je een inspanning doet die vervolgens met alle partijen wordt gedeeld.
- De capaciteit om een risico-analyse uit te laten voeren is er bij de rederijen onvoldoende of het geld om deze uit te laten voeren door een ontwerp bureau is er niet. Hierop wordt opgemerkt dat de kosten uiteindelijk kunnen meevallen en dat je de gesprekken over mogelijke hazards sowieso moet voeren om een veilige oplossing te kunnen ontwikkelen.
- De processen duren lang.

Daarnaast wordt opgemerkt dat werknemers van de klassebureaus zelf vaak moeite mee hebben met het omgaan met risico-analyses en dus een andere werkwijze hantieren dan de compliance met de bestaande regels vereist. Kennisopbouw is essentieel. Hiervoor is zowel inhoudelijke expertise als procesexpertise noodzakelijk. Er dient op systematische wijze kennis en ervaring te worden opgedaan in het effectief doorlopen van deze trajecten, mogelijk vanuit een speciaal hiervoor bestemde task force. Een nationaal task force is geopperd om hier uitkomst in te bieden.

5.3.6 KANSEN VOOR SCHEPEN DIE RELEVANT ZIJN VOOR DE NEDERLANDSE MARKT

In dit deel wordt specifiek aandacht besteedt aan de toepasbaarheid van energiedragers en aanvullende technieken voor verschillende scheepstypes, die relevant zijn voor de Nederlandse vloot en de Nederlandse maakindustrie. In de dialoog tussen

⁷⁶ European Maritime Safety Agency (2023), [Latest News - Potential of Ammonia as Fuel in Shipping \[updated\]](#) - EMSA - European Maritime Safety Agency (europa.eu)

verschillende deelnemers aan de roadmap is voor een achttal scheepstypes uitgezocht wat de toepasbaarheid is van verschillende alternatieve energiedragers, energiebesparende maatregelen, en Onboard Carbon Capture and storage (OCCS). Hierbij is gekeken naar de technische, fysieke en operationele inpasbaarheid van de oplossing en de huidige en verwachte beschikbaarheid van aandrijflijntechnologie en andere systemen aan boord. In [Figuur 21](#) staan de impact van deze eigenschappen voor schepen in drie vermogensranges samengevat.

De toepasbaarheid voor de acht scheepstypes staat weergegeven in de formats op de volgende pagina's. **Het betreft scheepstypes die** veel voorkomen in de Nederlandse vloot (general cargo, offshore service vessels en sleepboten), en schepen die veel in Nederland worden gebouwd (general cargo, superjachten, baggerschepen en kleine werkschepen, zoals crew tenders). Hiermee is aangesloten bij **de representatieve lijst van scheepstypes uit de Validatie regeling van de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens**. Zoals gezegd gaan de formats enkel in op technische toepasbaarheid. Beschikbaarheid en duurzaamheid van energiedragers is dus *niet* meegenomen in de beoordeling. De visualisatie geeft een versimpelde weergave van de toepasbaarheid. Continue verfijning, verrijking en updates zijn onderdeel van dit format aangezien de realiteit complexer is.

Belangrijke elementen die impact hebben op de toepasbaarheid zijn ruimtebeslag van de energiedrager in het schip en veiligheid van het gebruik in de operatie. Uit de formats komt naar voren dat hierdoor de inpasbaarheid van verschillende energiedragers sterk verschilt. Zo zijn verschillende alternatieve brandstoffen met een kleine energiedichtheid, zoals ammoniak en LNG, moeilijk toepasbaar in (zeer) kleine schepen. Voor schepen die lang op zee zijn (hoge autonomie) of met een groot vermogensvraag zijn batterijen minder goed toepasbaar. Hiermee is het niet waarschijnlijk dat er één generieke energiedrager komt voor de gehele zeescheepvaart. Er zullen meerdere energiedragers en oplossingen toegepast (kunnen) worden.

Voor een aantal energiedragers zien de betrokken deelnemers zeker potentie, maar is de techniek nog niet ver genoeg gevorderd. De precieze vragen zijn hierbij niet voor alle scheepstypen gelijk. Hierbij is het belangrijk dat er meer praktijkervaring wordt opgedaan met alternatieve brandstoffen voor verschillende scheepstypen. In het maritieme masterplan wordt hier een belangrijke stap gezet.

Wat opvalt is dat voor elk scheepstype er meerdere opties zijn die (zeker in de toekomst) goed in het schip en in de operatie toepasbaar zijn. In het keuzep proces zullen andere afwegingen, en met name de prijs en beschikbaarheid, hiermee een belangrijke

rol spelen. De kip-ei discussie die voor de gehele maritieme sector naar voren kwam in hoofdstuk vier speelt hiermee ook op het niveau van de individuele investering door reders. Een manier om hiermee om te gaan is te zorgen voor flexibiliteit in de inrichting van de machinekamer. Dit wordt bijvoorbeeld gedaan doordat wordt geïnvesteerd in dual-fuel schepen die op stookolie en op methanol of LNG kunnen varen en daarmee meerdere mogelijkheden hebben om (op termijn) te verduurzamen.

In de brandstoftransitie gaat veel aandacht naar de ingroei van duurzame energiedragers, maar, zoals in eerdere hoofdstukken naar voren kwam, is ook het verbeteren van de energie-efficiëntie belangrijk. Dit bestaat uit technische maatregelen, zoals windassist propulsion en luchtsmering, en operationeel logistieke maatregelen, zoals snelheidsreductie of het verhogen van de beladingsgraad. Individuele maatregelen hebben veelal een beperkte impact en de technische en economische haalbaarheid verschilt sterk per scheepstype. De optelsom van toepassing van individuele maatregelen kan wel leiden tot een grote vermindering van het energiegebruik aan boord. Een uitwerking van uitdagingen en doorontwikkelmogelijkheden van deze laatste twee categorieën staat opgenomen in [paragraaf 5.4](#).

De voetnoten in de formats verwijzen naar het volgende:

1. *De waardering van het onderdeel 'energiedragers' is het resultaat van de dialoog tussen deelnemende partijen van het Roadmap traject. Dit zijn onder andere de sector organisaties KVNR, vereniging van Waterbouwers en NMT. Het onderdeel 'energiedragers' is ingevuld specifiek voor nieuwbouwschepen. Kansen en aandachtspunten bij de conversie van schepen wordt meer algemeen in de tekst behandeld.*
2. *Toepasbaarheid omvat hier: technische, fysieke en operationele inpasbaarheid, en beschikbaarheid van de aandrijflijn en andere benodigde systemen aan boord van het schip. Andere factoren zoals brandstofbeschikbaarheid en brandstofprijs, beschikbaarheid van infrastructuur etc zijn buiten beschouwing gelaten. Hoe efficiënt of duurzaam de techniek is, wordt ook buiten beschouwing gelaten. Dit laatste wordt wel meegenomen onder 'kansrijkheid'.*
3. *Mogelijke toepasbaarheid: op voorwaarde dat is voldaan aan de mijlpalen zoals rechts daarvan beschreven. Rechts staat ook rond welk jaar deze mijlpalen naar verwachting zouden kunnen zijn bereikt.*
4. *De waardering van het onderdeel 'Aanvullende technieken' is afkomstig van het MARIN, met uitzondering van OCCS – hier is de bron TNO. Het onderdeel 'Aanvullende technieken' is van toepassing op zowel nieuwbouw als conversie (nog over nadenken).*
5. *Ervan uitgaande dat de techniek voldoende doorontwikkeld is.*
6. *Havenverbruik: hotelfunctie en ander verbruik terwijl je aan de kade ligt.*
7. *Het gaat hier om volledige batterij elektrische aandrijving. Eventuele voordelen van hybride varen zijn niet meegenomen in de wegging. Toekomstige ontwikkelingen in batterijtechniek zijn niet meegenomen en zouden de toepasbaarheid kunnen vergroten.*
8. *Bij de wegging wordt uitgegaan van gasvormige of cryogene waterstof. Toekomstige ontwikkeling van andere opslagvormen kan meer mogelijkheden bieden voor toepassing.*



Scheepstype
Type: Crew tender
Motorvermogen: 1 – 3 MW
Snelheid: 20 – 25 kn

Crew Tender



Vaarprofiel
Vaargebied: Noordzee
Range: 100 NM
Autonomie: 3 dagen

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²					Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³					Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepszijde, rond het jaartal...
	weinig				veel		weinig				veel	
Drop-In	●	●	●	●	●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	●	●	●	●	●	
Methanol	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek beperkt beschikbaar.	●	●	●	○	○	2028-2030: Aandrijftechniek beschikbaar. Ruimtebeslag blijft aandachtspunt voor klein platform.
Batterij elektrisch⁷	●	●	○	○	○	Gewicht bij voldoende batterij-capaciteit problematisch ivm snelheid.	●	●	●	●	○	2030: Optie tot laden in het veld of beschikbaarheid lichtere batterijen
Ammoniak	●	○	○	○	○	Ruimtebeslag te groot, vanwege energie- dichtheid en veiligheidsaspecten.	●	●	○	○	○	
Waterstof⁸	●	●	●	○	○	Gasvormig in ICE mogelijk, in pilotfase. Ruimtebeslag en gewicht aandachtspunt. Cryogeen te complex.	●	●	●	○	○	
Nucleair	●	○	○	○	○	Vermogensvraag schip te klein.	●	○	○	○	○	
LNG	●	○	○	○	○	Te groot ruimtebeslag, te complex.	●	○	○	○	○	
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie					Kansrijkheid						
	n.v.t.	3	5	8	>10%							
Wind assisted propulsion	●	○	○	○	○	Wat ze nog onderzoeken: de optie dat een 'wing foil or alike' de crew tender op de plek houdt bij bijliggen in het veld, is nog niet onderzocht maar kan kansrijk zijn. Gewone zeilen niet vanwege hoge snelheid.						
Propellor duct	●	●	●	○	○	Alleen eventueel mogelijk bij een monohull. Minder effectief dan bij andere scheepstypes vanwege hogere snelheden. 5% is een inschatting, geen ervaringscijfers beschikbaar.						
Luchtmering⁵	●	○	○	○	○	Rompvorm te rond.						
Walstroom voor havenverbruik⁶	●	○	○	○	○	Weinig havenverbruik.						
CCS	●	○	○	○	○	Installatie te groot voor een schip van dit formaat.						



Scheepstype

Type: Offshore Service Vessels
Motorvermogen: 4 – 6 MW
Snelheid: ca 15 kn

Offshore Service Vessels



Vaarprofiel

Vaargebied: Noordzee
Profiel: Dynamic positioning in veld
Autonomie: 15 dagen

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²					Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³					Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepszijde, rond het jaartal...
	weinig		veel				weinig		veel			
Drop-In	●	●	●	●	●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	●	●	●	●	●	
Methanol	●	●	●	●	○	Ruimtebeslag blijft aandachtspunt. Sommige motoren beschikbaar.	●	●	●	○	○	
Batterij elektrisch⁷	●	○	○	○	○	Niet realistisch gezien de vaarafstand en lange tijd op zee.	●	●	●	●	○	2030: Optie tot laden in het veld of beschikbaarheid lichtere batterijen
Ammoniak	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar, veiligheidsissues.	●	●	○	○	○	2030: Medium-speed motor beschikbaar. Veiligheidsissues blijven beperkend.
Waterstof⁸	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar.	●	●	●	○	○	2025-2028: Aandrijftechniek beschikbaar. Ruimtebeslag aandachtspunt.
Nucleair	●	○	○	○	○	Vermogensvraag schip te klein.	●	○	○	○	○	
LNG	●	○	○	○	○	Te groot ruimtebeslag, te complex.	●	○	○	○	○	
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie					Kansrijkheid						
	n.v.t.	3	5	8	>10%							
Wind assisted propulsion	●	○	○	○	○	Wat ze nog onderzoeken: de optie dat een 'wing foil or alike' de crew tender op de plek houdt bij bijliggen in het veld, is nog niet onderzocht maar kan kansrijk zijn. Gewone zeilen niet vanwege hoge snelheid.						
Propellor duct	●	○	○	○	○	Deze schepen zijn vaak uitgerust met thrusters en die zijn standaard uitgerust met een propellor duct.						
Luchtmering⁵	●	○	○	○	○	Geen ervaringscijfers.						
Walstroom voor havenverbruik⁶	●	●	○	○	○	Redelijk wat havenverbruik, bijvoorbeeld voor laden/lossen en acoomodatie.						
CCS	●	○	○	○	○	Installatie te groot voor een schip van dit formaat.						



Scheepstype

Type: Sleepboot / werkboot
Motorvermogen: 2 – 5 MW
Snelheid: 10 - 14 kn

Havengebonden sleep- of werkboot



Vaarprofiel

Vaargebied: haven / kust
Range: ?
Autonomie: 2 dagen

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²					Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³					Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepzijde, rond het jaartal...
	weinig		veel				weinig		veel			
Drop-In	●	●	●	●	●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	●	●	●	●	●	
Methanol	●	●	●	○	○	Ruimtebeslag blijft aandachtspunt voor klein platform.	●	●	●	○	○	
Batterij elektrisch⁷	●	●	●	○	○	Goed inpasbaar ivm korte range en beperkte autonomie	●	●	●	●	○	
Ammoniak	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar, veiligheidsissues.	●	●	○	○	○	2030: Medium-speed motor beschikbaar. Veiligheidsissues blijven beperkend.
Waterstof⁸	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar.	●	●	○	○	○	2025-2028: Aandrijftechniek beschikbaar. Nog steeds lastig toepasbaar ivm ruimtebeslag vs benodigd vermogen.
Nuclear	●	○	○	○	○	Vermogensvraag schip te klein.	●	○	○	○	○	
LNG	●	○	○	○	○	Niet breed toepasbaar, wel voor sleepboten opererend bij LNG terminals.	●	○	○	○	○	
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie					Kansrijkheid						
	n.v.t.	3	5	8	>10%							
Wind assisted propulsion	●	○	○	○	○	Schip te klein en te dynamisch vaarprofiel en beperkt vaargebied.						
Propellor duct	●	●	●	○	○	Wordt wel toegepast, maar met name om bij lage snelheid paaltrek te genereren, en niet om energie te besparen. Mogelijk doeltreffend als de nadruk ligt op transit varen.						
Luchtmering⁵	●	○	○	○	○	Rompvorm te rond.						
Walstroom voor havenverbruik⁶	●	●	●	○	○	Relatief veel tijd in de haven, te wachten.						
CCS	●	○	○	○	○	Installatie te groot voor een schip van dit formaat.						



Scheepstype
Type: Baggerschip
Motorvermogen: 2 – 4 MW
Snelheid: ?

Baggerschepen Onderhoud kust & haven



Vaarprofiel
Vaargebied: haven / kust
Range: 500 NM
Autonomie: 3-7 dagen

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²					Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³					Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepszijde, rond het jaartal...
	weinig		veel				weinig		veel			
Drop-In	●	●	●	●	●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	●	●	●	●	●	
Methanol	●	●	●	●	○	Ruimtebeslag blijft aandachtspunt. Sommige motoren beschikbaar.	●	●	●	●	○	
Batterij elektrisch⁷	●	○	○	○	○	Te hoge vermogensvraag.	●	○	○	○	○	
Ammoniak	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar, veiligheidsissues.	●	●	○	○	○	2030: Medium-speed motor beschikbaar. Veiligheidsissues blijven beperkend.
Waterstof⁸	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar.	●	●	●	○	○	2025-2028: Aandrijftechniek beschikbaar. Ruimtebeslag blijft aandachtspunt ivm vermogensvraag.
Nucleair	●	○	○	○	○	Vermogensvraag schip te klein.	●	○	○	○	○	
LNG	●	●	●	○	○	Niet breed toepasbaar, wel voor sleepboten opererend bij LNG terminals.	●	●	●	●	○	
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie					Kansrijkheid						
	n.v.t.	3	5	8	>10%							
Wind assisted propulsion	●	○	○	○	○	Geen ruimte, te dynamisch profiel, zo klein mogelijke transits.						
Propellor duct	●	○	○	○	○	Wordt al standaard toegepast.						
Luchtsmering⁵	●	●	○	○	○	Mogelijk kansrijk als verder specifiek voor baggerschepen doorontwikkeld. Lastiger ivm losinrichting. Gaat nu nog om een laag TRL niveau.						
Walstroom voor havenverbruik⁶	●	○	○	○	○	Relatief weinig havenverbruik in vergelijking met baggerwerkzaamheden.						
CCS	●	●	●	●	●	Nieuwbouw 70-90% reductie mogelijk, retrofit circa 40%. Ruimtebeslag blijft een aandachtspunt.						



Scheepstype
Type: Baggerschip
Motorvermogen: 8 – 15 MW
Snelheid: ca 12 kn

Baggerschepen Groot & zeegaand



Vaarprofiel
Vaargebied: Wereldwijd
Range: ?
Autonomie: 15 dagen

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²					Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³					Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepszijde, rond het jaartal...
	weinig		veel				weinig		veel			
Drop-In	●	●	●	●	●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	●	●	●	●	●	
Methanol	●	●	●	●	○	Ruimtebeslag blijft aandachtspunt. Sommige motoren beschikbaar.	●	●	●	●	○	
Batterij elektrisch⁷	●	○	○	○	○	Te hoge vermogensvraag.	●	○	○	○	○	
Ammoniak	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar, veiligheidsissues.	●	●	●	○	○	2030: Medium-speed motor beschikbaar. Veiligheidsissues blijven beperkend.
Waterstof⁸	●	○	○	○	○	Niet realistisch gezien de energiebehoefte vs lage energiedichtheid.	●	○	○	○	○	
Nuclear	●	○	○	○	○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar.	●	●	●	○	○	2035-2045: Aandrijftechniek beschikbaar. Voor de hogere vermogens.
LNG	●	●	●	○	○	Ruim ervaring met LNG, aandrijftechniek beschikbaar. Ruimtebeslag en complexiteit aandachtspunt.	●	●	●	●	○	
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie					Kansrijkheid						
	n.v.t.	3	5	8	>10%							
Wind assisted propulsion	●	○	○	○	○	Geen ruimte, te dynamisch profiel, zo klein mogelijke transits.						
Propellor duct	●	○	○	○	○	Wordt al standaard toegepast.						
Luchtmering⁵	●	●	○	○	○	Mogelijk kansrijk als verder specifiek voor baggerschepen doorontwikkeld. Lastiger ivm losinrichting. Gaat nu nog om een laag TRL niveau.						
Walstroom voor havenverbruik⁶	●	○	○	○	○	Relatief weinig havenverbruik in vergelijking met baggerwerkzaamheden.						
CCS	●	●	●	●	●	Nieuwbouw 70-90% reductie mogelijk, retrofit circa 40%. Ruimtebeslag blijft een aandachtspunt.						



Scheepstype
Type: General Cargo
Gewicht: < 8 ktdwt
Motorvermogen: 700 – 3000 kW
Snelheid: 12 - 15 kn

Kustvaart



Vaarprofiel
Vaargebied: Baltic-N.A. - Med
Range: 3000 N.M.
Autonomie: 10 dagen

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²	Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³	Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepszijde, rond het jaartal...
	weinig veel		weinig veel	
Drop-In	● ● ● ● ●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	● ● ● ● ●	
Methanol	● ● ● ● ○	Ruimtebeslag blijft aandachtspunt. Sommige motoren beschikbaar.	● ● ● ● ○	
Batterij elektrisch⁷	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek niet beschikbaar.	● ● ● ○ ○	2025-2028: Aandrijftechniek beschikbaar. Significante impact op operationaliteit ivm bunkerfreq/ruimtebeslag. Op korte ranges kan het.
Ammoniak	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar, veiligheidsissues.	● ● ○ ○ ○	2028-2030: Aandrijftechniek beschikbaar. Veiligheidsissues blijven beperkend. Minder goed toepasbaar dan voor grotere schepen.
Waterstof⁸	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek niet beschikbaar.	● ● ● ○ ○	2028-2030: Aandrijftechniek beschikbaar. Significante impact op operationaliteit/autonomie ivm bunkerfreq/ruimtebeslag. Op korte ranges kan het.
Nucleair	● ○ ○ ○ ○	Vermogensvraag te klein.	● ● ○ ○ ○	2035-2045: Aandrijftechniek beschikbaar. Voor de hogere vermogens.
LNG	● ● ● ● ○	Ruim ervaring met LNG, aandrijftechniek beschikbaar. Ruimtebeslag en complexiteit aandachtspunt.	● ● ● ● ○	
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie	Kansrijkheid		
	n.v.t. 3 5 8 >10%			
Wind assisted propulsion	● ● ● ● ○	Bij relatief substantiele toepassing (ruimte nodig), zijn besparingen oplopend tot 12% mogelijk.		
Propellor duct	● ● ● ● ○	Wordt regelmatig toegepast.		
Luchtstmering⁵	● ● ○ ○ ○	Mogelijk kansrijk als verder doorontwikkeld. Gaat nu nog om een laag TRL niveau.		
Walstroom voor havenverbruik⁶	● ○ ○ ○ ○	Weinig havenverbruik.		
CCS	● ● ● ● ●	Nieuwbouw 70-90% reductie mogelijk, retrofit circa 40%. Goed technisch inpasbaar.		



Scheepstype
Type: General Cargo
Gewicht: 8 – 20 ktdwt
Motorvermogen: 2,5 – 10 MW
Snelheid: 14 - 18 kn

General Cargo Wereldwijde wildevaart



Vaarprofiel
Vaargebied: Wereldwijd
Range: > 6000 N.M.
Autonomie: 30 dagen

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²	Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³	Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepszijde, rond het jaartal...
	weinig veel		weinig veel	
Drop-In	● ● ● ● ●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	● ● ● ● ●	
Methanol	● ● ● ● ○	Ruimtebeslag heeft impact op laadruim / operationeel profiel.	● ● ● ● ○	
Batterij elektrisch⁷	● ○ ○ ○ ○	Niet realistisch gezien de range en autonomie.	● ○ ○ ○ ○	
Ammoniak	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar, veiligheidsissues.	● ● ● ○ ○	2030: Aandrijftechniek beschikbaar. Veiligheidsissues blijven beperkend.
Waterstof⁸	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek niet beschikbaar.	● ● ● ○ ○	2028-2030: Aandrijftechniek vloeibare H2 beschikbaar voor kleinere vermogens. Mogelijk, maar ten kosten van veel laadruim.
Nucleair	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar.	● ● ○ ○ ○	2035-2045: Aandrijftechniek beschikbaar. Voor de hogere vermogens.
LNG	● ● ● ● ○	Ruim ervaring met LNG, aandrijftechniek beschikbaar. Ruimtebeslag en complexiteit aandachtspunt.	● ● ● ● ○	
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie	Kansrijkheid		
	n.v.t. 3 5 8 >10%			
Wind assisted propulsion	● ● ● ● ●	Substantiele toepassing (ruimte nodig) dan zijn besparingen olopend tot 30% mogelijk.		
Propellor duct	● ● ● ● ○	Wordt regelmatig toegepast.		
Luchtmering⁵	● ● ○ ○ ○	Mogelijk kansrijk als verder doorontwikkeld. Gaat nu nog om een laag TRL niveau.		
Walstroom voor havenverbruik⁶	● ○ ○ ○ ○	Opbrengst minder dan 3%. Weinig havenverbruik.		
CCS	● ● ● ● ●	Nieuwbouw 70-90% reductie mogelijk, retrofit circa 40%. Goed technisch inpasbaar.		



Scheepstype
Type: Superjacht
Gewicht: 360 dwt
Motorvermogen: 5 MW
Snelheid: 13-18 kn

Superjacht



Vaarprofiel
Vaargebied: Wereldwijd
Range: ?

Energiedragers ¹	Technische & operationele toepasbaarheid in 2024 ²	Motivering	Mogelijke toekomstige toepasbaarheid ³	Veronderstelde behaalde mijlpalen mbt technologie scheepszijde, rond het jaartal...		
	weinig	veel	weinig	veel		
Drop-In	● ● ● ● ●	Direct toepasbaar in conventionele motor.	● ● ● ● ●			
Methanol	● ● ● ● ○	Mogelijk voor grotere jachten, zoals hier bedoeld. Ruimtebeslag en ontoegankelijke 'hazardous areas' aandachtspunt.	● ● ● ● ○			
Batterij elektrisch⁷	● ○ ○ ○ ○	Niet realistisch gezien het vaarprofiel.	● ○ ○ ○ ○			
Ammoniak	● ○ ○ ○ ○	Niet aanvaardbaar vanwege passagiers aan boord.	● ○ ○ ○ ○			
Waterstof⁸	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek niet beschikbaar.	● ● ● ○ ○	2028-2030: Aandrijftechniek beschikbaar. Ruimtebeslag blijft aandachtspunt.		
Nucleair	● ○ ○ ○ ○	Aandrijftechniek nog niet beschikbaar.	● ● ○ ○ ○	2035-2045: Aandrijftechniek beschikbaar. Voor de grootste vermogens. Ruimtegebruik ivm shielding aandachtspunt.		
LNG	● ○ ○ ○ ○		● ○ ○ ○ ○			
Aanvullende technieken ⁴	Verwachte CO ₂ reductie				Kansrijkheid	
	n.v.t.	3	5	8	>10%	
Wind assisted propulsion	●	●	●	●	●	Zeiljachten.
Propellor duct	●	○	○	○	○	Beperkte relevantie voor superjachten.
Luchtmering⁵	●	○	○	○	○	Rompvorm te rond.
Walstroom voor havenverbruik⁶	●	●	●	●	○	Grote reductie mogelijk vanwege lange tijd in de haven en significant hotelverbruik.
CCS	●	○	○	○	○	Ruimtebeslag te groot.

5.4 ENERGIEBESPARENDE MAATREGELLEN EN CO₂ REDUCTIE OP HET SCHIP

5.4.1 INTRODUCTIE

De uitdagingen die de sector met de brandstoftransitie op zich af ziet komen, zijn groot. Relevante volumes fossiele scheepsbrandstoffen moeten worden vervangen door schone alternatieven. En dit in een context van mondiale decarbonisatie, waarin andere sectoren als luchtvaart, wegtransport en industrie zullen concurreren om de schaarse hernieuwbare alternatieven. Het reduceren van de energiebehoefte van een schip, is daarom een essentieel onderdeel in de transitie. Scenariostudie wijzen voor 2050 op een potentiële energiebesparing van 30% tot 40% op de totale energievraag van de mondiale vloot (zie paragraaf 3.7.2). Een significante reductie. Daarom zet Nederland, complementair aan een overstap op klimaatneutrale brandstoffen, in op energiebesparende maatregelen als onmisbaar onderdeel van de transitie naar klimaatneutraliteit.

5.4.2 HET BELANG VAN ENERGIEBESPARING OP HET SCHIP

Er zijn meerdere redenen waarom energiebesparing voordelen biedt voor het in handbereik brengen van de klimaatdoelen.

- **Door energiebesparing daalt het brandstofverbruik op het schip. En dat terwijl de hoge en onzekere brandstofkosten van alternatieve energiedragers, cruciale bottlenecks zijn in de transitie (zie paragraaf 4.3).** Want alternatieve energiedragers blijven naar waarschijnlijkheid duurder dan huidige conventionele brandstoffen. Dit prijsverschil is één van de voornaamste redenen dat de business case van groene zeevaart, op dit moment vaak niet sluitend is (zie paragraaf 4.4). Energiebesparende maatregelen helpen de operationele meerkosten van groen varen drukken. En helpen daardoor, bij het sluitend krijgen van de business case.
- **Door energiebesparing verkleinen de bunkervolumes aan boord. En compenseren zo het optredende verlies aan ladingruimte omdat alternatieve energiedragers veelal een (veel) lagere energiedichtheid hebben, dan huidige conventionele brandstoffen.** Dit betekent dat er meer volumes nodig zijn, om dezelfde hoeveelheid energie te leveren. Dit levert uitdagingen op voor scheepseigenaren. Ofwel er ontstaan beperkingen in de operaties, omdat er vaker gebunkerd moet worden. Ofwel er moeten concessies worden gedaan in het scheepsontwerp, zoals het opgeven van laadruim ten behoeve van een groter tankvolume. Beide kunnen significante effecten hebben op de economische rendabiliteit van het schip. Hoe

meer energiebesparing, hoe minder bunkervolume noodzakelijk is – dus hoe kleiner bovengenoemde problematiek.

- **Energiebesparing levert niet alleen profijt op bij gebruik van alternatieve energiedragers, maar óók bij gebruik van conventionele brandstoffen.** De komende periode zullen nog genoeg schepen op conventionele brandstoffen varen. Energiebesparing helpt om ook op die schepen CO₂ reductie te behalen.
- **Juist omdat energiebesparing door brandstofbesparing tot kostenreductie kan leiden, is het een interessante optie voor ondernemers.** Zoals reders, verladers en andere partijen die de CO₂ reductie van zeevaart willen terugdringen. De business case is wellicht sneller sluitend te krijgen dan een volledige overstap op een totaal andere brandstof. Dit faciliteert investeringen.

Internationale regelgeving zoals de EEDI, EEXI en CII leidt momenteel al in enige mate tot de inzet van energiebesparende maatregelen. Meer informatie over internationale beleidskaders in [bijlage 4](#).

In het Maritiem Masterplan⁷⁷, dat op dit moment wordt uitgevoerd met geld beschikbaar uit het nationaal groeifonds, is de pijler 'energiebesparende maatregelen' niet gehonoreerd. De reden: energiebesparing leidt intrinsiek al tot kostenverlaging, als gevolg van het verminderde brandstofverbruik. En behoeft dus geen subsidiering. Veel partijen vinden deze redenering kort door de bocht. Er is wel degelijk een versterkte inzet nodig, om energiebesparende technieken voldoende opgeschaald te krijgen in de zeevaart. In de volgende paragraaf wordt uiteengezet waar dat door komt.

5.4.3 WAT IS ERVOOR NODIG OM ENERGIEBESPARENDE MAATREGELLEN MAXIMAAL INZETBAAR TE KRIJGEN IN DE ZEEVAART?

Zoals hierboven beschreven kan energiebesparing door een verminderd brandstofgebruik leiden tot kostenbesparing. Veel van deze maatregelen en technieken zouden zich dan ook terug moeten verdienen. Toch wordt er onvoldoende geïnvesteerd in de ontwikkeling en toepassing van energiebesparende technieken. Marktpartijen zijn terughoudend door een beperkt vertrouwen in de prestaties van technieken en correcte implementatie tijdens operaties, onzekerheid over de investerings- en exploitatiekosten en zorgen over veiligheid en impact op operaties. Hoe kunnen we versnellen? Hier zijn verschillende aanknopingspunten voor.

⁷⁷ Maritiem Masterplan [Home - masterplan \(maritiemmasterplan.nl\)](#)

Kansen in de technische hoek:

- Doorontwikkeling van innovatieve technieken.
- **Beter inzicht in het werkelijk operationeel reducerende potentieel van de techniek – en daarmee in de terugverdientijd.** Dat een techniek in theorie tot brandstofbesparing zou leiden, betekent nog niet automatisch een besparing in de praktijk. Voor veel energiebesparende maatregelen geldt dat er onvoldoende praktijkervaring is om uit te wijzen welke reducties tijdens daadwerkelijke ship operations kunnen worden verwacht. Ervaring wijst uit, dat hier significante verschillen tussen kunnen zitten. De opbrengst is daarmee te onzeker. Dit speelt des te meer doordat de prestaties sterk verschillen per scheepstype en operationele profiel. De rol van de bemanning hierin is groot! In veel gevallen gaat het om meer dan techniek. Maar ook om het maken van keuzes, het nemen van risico's, het opvolgen van adviezen etc, zeker als het gaat om operationele maatregelen en routing.
- **Beter inzicht in de totale energiebesparing na integratie op het schip – en daarmee in de terugverdientijd.** Een goede integratie van de techniek op het schip is essentieel. Als deze niet goed afgestemd is, kan de techniek zelf namelijk een negatieve impact hebben op de energie efficiëntie van het schip. Een voorbeeld: snelheidsreductie kan significante energiebesparing opleveren. Maar als je langzamer gaat varen, dan is het wel verstandig om te controleren of de hydrodynamica van het onderwaterschip niet excessief inefficiënt wordt of de motoren inefficiënt gaan werken. Meer inzicht door praktijk toepassingen is nodig, om hier beter zicht op te krijgen en opbrengsten te maximaliseren.
- **Beter inzicht in de betrouwbaarheid en levensduur van de techniek – en daarmee in de exploitatiekosten.** Praktijkervaring moet uitwijzen hoe betrouwbaar een techniek is. En hoe lang een bepaalde energiereductie, daadwerkelijk wordt behaald. Als een techniek slechts beperkte tijd effectief tot energiebesparing leidt, worden de kosten niet of pas later terugverdiend. En als onderhoud nodig is om het reducerende potentieel te behouden, stijgen de exploitatiekosten.
- **Data-analyse en monitoring van prestaties.** Omdat de daadwerkelijke besparing die een energiebesparende maatregel oplevert, vaak alleen in de praktijk is vast te stellen, is het monitoren of meten van de prestatie relevant. Dit kan op verschillende manieren. Voor metingen aan de performance van romp en propellor biedt de ISO 19030 standaard handvaten. Verder is het monitoren van brandstofverbruik al verplicht voor schepen > 5000 brutoton onder de IMO eisen uit MARPOL Annex IV. Maar meer gedetailleerde monitoring kan noodzakelijk zijn. Bijvoorbeeld door het automatisch loggen van sensordata met een hogere frequentie om de efficiëntie van het schip tot

op meer detailniveau te begrijpen⁷⁸. Maar ook door de omgevings- en schiplading condities in beeld te krijgen. Hiervoor is meer uitgebreide data-analyse nodig.

Kansen op het gebied van samenwerking:

- **Samenwerking voor het mogelijk maken van logistieke efficiëntieslagen.** Energiebesparing is een interessante optie voor ketenpartners. Juist omdat energiebesparende maatregelen tot kostenreductie leiden, zijn zij een interessante broeikasgasbeperkende interventie. Ook voor partijen in de keten, die zelf niet direct onderhevig zijn aan verplichtende regelgeving op het gebied van energiebesparing en broeikasgasvermindering. Verladere zien maatregelen als route-optimalisatie, lading consolidatie en het gebruik van energiezuinige voortstuwingssystemen niet alleen als manier om klimaatdoelen te behalen, maar ook als een operationele verbetering die leidt tot een efficiëntere transportketen. Deze win-win maakt energiebesparende maatregelen een aantrekkelijke optie. Samenwerking in de keten betekent het delen van data door heel veel partijen, waarbij een deel van die data concurrentiegevoelig is. Als je daar geen goed IT systeem op zet die de databescherming regelt, is dit praktisch moeilijk. Niet alle markten zijn gebaat bij transparantie.
- **Samenwerking voor het rondkrijgen van de business case.** Energiebesparende maatregelen gaan gepaard met kostenreductie door brandstofbesparing, maar vaak ook met een hogere CAPEX investering aan de voorkant. Afhankelijk van onder meer de terugverdientijd van de maatregel, en de *betrouwbaarheid* van de terugverdientijd, kan het zijn dat de business case niet zonder meer sluit. Dit geldt zowel bij een retrofit als bij een nieuw schip met ingebouwde techniek. Het niet sluitend krijgen van de business case van een innovatief schip, staat beschreven onder [paragraaf 4.4](#) voor schepen die varen op alternatieve energiedragers. De situatie is vergelijkbaar, behalve dat het bij energiebesparing alleen om een toename in CAPEX gaat, en een *afname* in OPEX. Blijft het punt dat – zoals aangegeven in [paragraaf 4.4](#) – ketensamenwerking noodzakelijk is. Zeker het contact tussen verlader (charter) en reder. Ook hier kunnen lange termijn contracten een voorwaarde zijn om financiering mogelijk te maken. Innovatieve financieringsmodellen kunnen investeringen helpen. Zo heeft eConowind er met hulp van ABN AMRO en dekking van Atradius voor gezorgd, dat hun zeilen *leased* kunnen worden. Dit verlaagt de benodigde investeringen voor de gebruiker.

⁷⁸ IMO, Global Industry Alliance Low Carbon Shipping, Green Voyage 2050, Norwegian Ministry, 2022 - [A practical guide to the selection of energy efficiency technologies for ships \(imo.org\)](#)

Uit bovenstaande blijkt dat er verschillende invalshoeken zijn die handvaten bieden om de inzet van energiebesparende maatregelen, te versnellen. Kansen uit de technische hoek, kunnen met name worden benut door technieken meer in de praktijk te demonstreren en testen. Kansen op het gebied van inzicht, informatievoorziening samenwerking kunnen met name worden benut, door kennisuitwisseling en samenwerking te faciliteren tussen ketenpartners.

5.4.4 OP WELKE TECHNIKEN MOETEN WE ONZE INZET VERGROTEN?

5.4.4.1 Introductie

Er is een breed scala aan mogelijke maatregelen en technieken, die in meerdere of mindere mate kansrijk zijn voor het bereiken van additionele energiebesparing in de zeevaart. In onderstaande bekende figuur van Bouman et al, wordt per optie een range gegeven van de te behalen reductie. Enkele veelbelovende categorieën van technieken zijn (niet uitputtend):

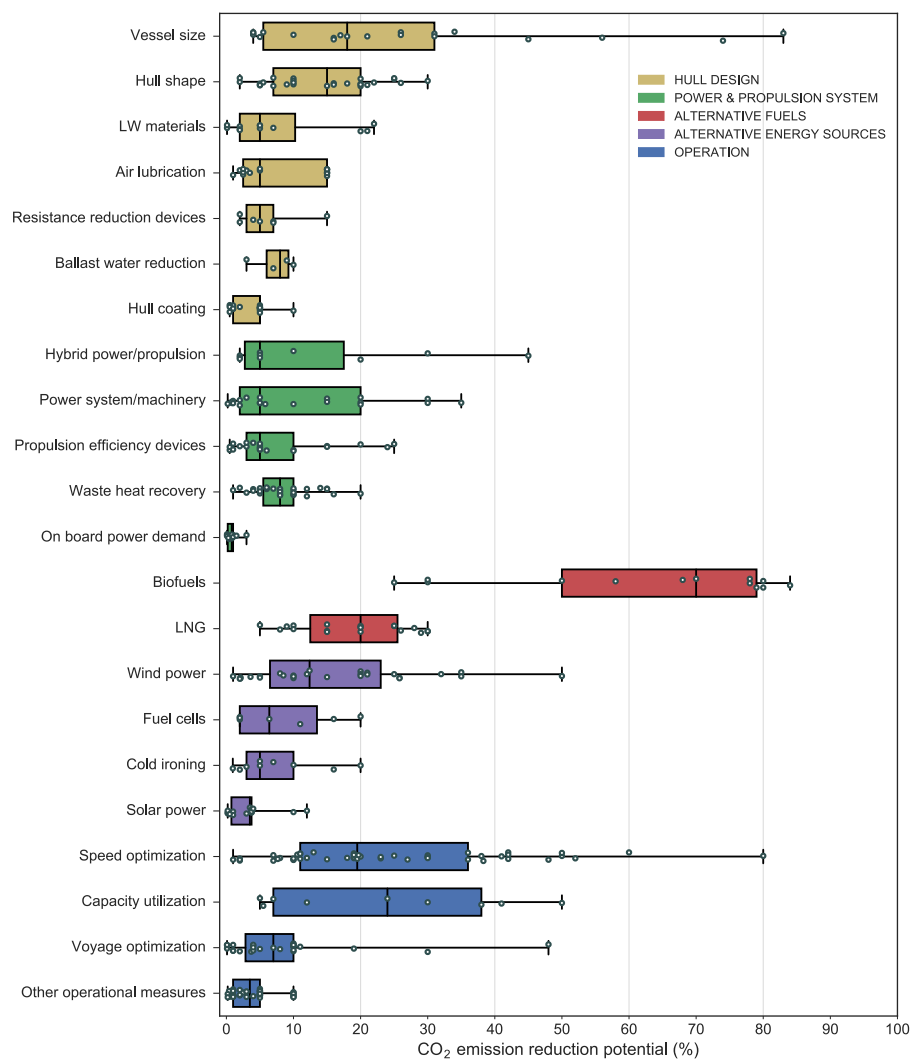
- Data-gestuurde operationele optimalisatie (blauw). Voorbeelden zijn speed optimization, weather routing, just-in-time-arrival en data driven maintenance. Vergaande reducties zijn mogelijk.
- Wind Assisted Propulsion Systems (WAPS) (paars). Zeilen die windenergie direct omzetten in energie voor voortstuwing. Vergaande reducties zijn mogelijk. De inzet vraagt een zorgvuldig ontwerp proces en een juiste afstemming op de operatie en de beschikbare reguliere energiesystemen. Zie ook hierna onder Hybride aandrijving.
- Energy saving devices (groen en geel). Voorbeelden zijn luchtsmering (air lubrication), coatings en UV en ultrasone systemen voor het tegengaan van algengroei (antifouling). Verder propellor ducts, pre-duct spoiler, pre-swirl stator, post-swirl device, optimized rudder. De effectiviteit van deze technieken ligt tussen de 1 en 3%, behalve voor propellor ducts, die een reductie van enkele procentpunten hoger kan behalen.
- Hybride aandrijving (groen). Hybride varen, bijvoorbeeld door een combinatie van batterij elektrisch met diesel generator, is ook een manier om minder (fossiele) brandstoffen te verbruiken. Enerzijds kunnen batterij systemen leiden tot energiebesparing door een *efficiëntieslag* in de aandrijflijn: piekvermogens die verbrandingsmotoren minder efficiënt kunnen leveren, worden aangevuld door het batterij systeem. Daarnaast kan elektrisch worden gevaren als *vervanging* van het normale brandstofverbruik, door een deel van de route, bijvoorbeeld last mile, aandrijving te verzorgen door het minder klimaatbelastende elektrisch varen. Dit valt niet zozeer binnen de categorie 'energiebesparing'.

Hybride aandrijving of een meer diverse voortstuwing/energie configuratie kan ook een middel zijn om een verfijnder en meer op energie besparing toegespitst operationeel profiel efficiënt te kunnen realiseren en dat kan inclusief het haven/anker verblijf zijn. De CII metric maakt dit type van operationele energiebesparing zeer relevant. Het ontwerpproces hieraan voorafgaand is tijdrovender en meer complex.

- Optimaal scheepsontwerp (geel en groen). Vaak constateren partijen dat er een discrepantie zit tussen de specificaties die door de klant worden aangevraagd, en het daadwerkelijke gebruik van het schip. Het schip wordt daarom vaak overdesigned voor het gebruik. Bijvoorbeeld door een te zwaar vermogen te installeren voor wat in de praktijk nodig is. Dat gesprek goed voeren aan de voorkant met de klant, is daarom belangrijk.

Het reducerende vermogen van deze technieken hangt in grote mate af van het type schip en operationele profiel. Dit betekent dat je het reductiepotentieel van een techniek vaak bijna niet kunt beschrijven, zonder hierin te specificeren. Dit verklaart ook de brede ranges voor elk van de technieken, in [Figuur 23 CO₂ reductie potentieel van verschillende maatregelen](#). Bron: Bouman et al (2017). In [paragraaf 5.3.6](#) wordt voor een achttal specifieke scheeptypes, voor een aantal energiebesparende maatregelen gespecificeerd in hoeverre deze toepasbaar zijn en hoeveel reductie de maatregelen kunnen opleveren. Hieruit blijkt al dat zowel de toepasbaarheid, als het reducerend vermogen, enorm uiteen loopt.

Figuur 23 CO₂ reductie potentieel van verschillende maatregelen. Bron: Bouman et al (2017)⁷⁹



⁷⁹ Bouman et al, 2017. [State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review - ScienceDirect](#)

Onder meer vanwege IMO instrumenten als de EEDI en EEXI, worden in de zeevaart al breed energiebesparende maatregelen ingezet. Een versterkte inzet op doorontwikkeling van energiebesparende maatregelen, zoals beschreven in bovenstaande handelingsperspectieven, dient zich dan ook toe te spitsen op die technieken, die tot *additionele* energiebesparing leiden. Technieken en maatregelen die al relatief standaard worden toegepast zijn bijvoorbeeld:

- Optimalisatie van warmteverbruik en energieverbruik aan boord (denk aan LED lampen en isolatie).
- Optimalisatie van de rompvorm, voor het minimaliseren van weerstand.
- Optimalisatie van de inzet van de schepen gedurende de operaties zelf (en de ontwerpen) op basis van data uit de praktijk (data-driven).
- Standaard antifouling coatings voor het tegengaan van algengroei. Er wordt wel continu doorontwikkeld op dit vlak en UV technologie is een kansrijke nieuwe ontwikkeling (zie maritiem masterplan).
- Periodiek onderhoud. Bijvoorbeeld om algengroei tegen te gaan. Onderhoud kan ook noodzakelijk om de effectiviteit van maatregelen in stand te houden, bijvoorbeeld in het geval van antifouling coatings. Dit wordt redelijk standaard periodiek uitgevoerd.

Sommige technieken worden al standaard toegepast in bepaalde schepen, maar niet ten behoeve van energiebesparing. Hoezo niet?. De inzet van die technieken op andere schepen, waar energiebesparing wel het hoofddoel is, kan dan alsnog additionele reductie opleveren. Technieken waarbij dit speelt zijn bijvoorbeeld (propellor) ducts.

Concluderend kan worden gesteld, dat het op voorhand moeilijk is aan te geven op welke energiebesparende maatregelen het beste ingezet kan worden. Dat is altijd zeer scheepstype-, operatie en commercieel bepaald. Energiebesparende maatregelen zijn afhankelijk van het scheepstypen het operationale profiel, meer of minder toepasselijk. Wel zijn er een drietal categorieën waar serieuze kansen liggen. In onderstaande paragrafen wordt hierop ingezoomd. Het gaat om data-driven operationele optimalisatie, WAPS en nieuwe, veelal hydrodynamisch gedreven, technieken.

5.4.4.2 Data-driven operationele optimalisatie

De scheepvaart is geen voorloper met het gebruik van data. De grootste obstakel daarvan is de connectivity, ofwel het overbrengen van data via een goede internetverbinding. Nieuwe opties als StarLink kunnen hier een oplossing bieden. Het gebruik van dataloggers wordt dan ook steeds gebruikelijker. Dataloggers zijn volautomatische systemen die data van de sensoren ophalen en die data meteen (of met een andere frequentie; afhankelijk van het gebruik) versturen. Het gebruik van data is

geen verwaarloosbare investering. Het gaat daarbij niet alleen om de sensoren en de dataloggers, maar ook om de bewerking (en de mensen die je daarvoor nodig hebt). De analyses leveren potentieel op korte termijn operationele besparingsadviezen op, middellange termijn suggesties voor nuttige retrofits en op lange termijn inzicht in de nieuwe ontwerpen passend bij de gewenste operaties. De analyse uitkomsten zullen zo specifiek zijn als de verschillende dienstverleningen. Kennisopbouw (generiek) staat nog in de kinderschoenen en vraagt investeringen in deze kennis en in de toepassing.

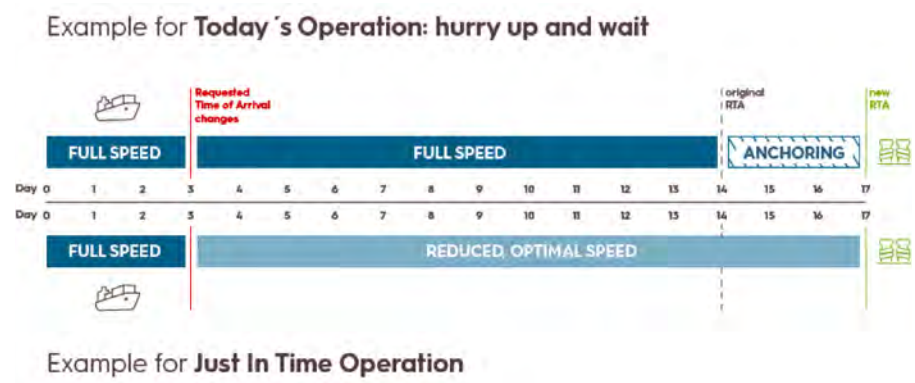
De opgehaalde data kan op verschillende manieren gebruikt worden en kan een significante besparing opleveren. Met data kan er bijvoorbeeld bepaald worden wat op dat moment de meest efficiënte vaarroute is, wat in bepaalde omstandigheden de juiste snelheid is, wanneer het schip moet worden schoongemaakt (zie voorbeeld in bijgestuurde slides), en op welke snelheid gevaren kan worden om op tijd in de haven aan te komen. De mensen aan wal die de data verwerken (de operators) kunnen de kapitein adviseren over bijvoorbeeld de snelheid en de route om daarmee om dat moment meer besparing op te leveren. Belangrijk aandachtspunt is een zorgvuldige implementatie van de techniek met betrokkenheid van kapitein en bemanning. Uiteindelijk bepaalt de kapitein wat er gebeurt. Maar dat gevoel moet er ook zijn. Het is belangrijk om de kapitein positief te adviseren en niet iets op te leggen omdat dan meer weerstand wordt gecreëerd aan boord. Onderdeel hiervan is de kapitein meenemen in resultaten. Door de bemanning aan boord de portal te laten zien waar de data binnenkomt, wordt een gevoel van Big Brother is watching you voorkomen.

De besparingsmogelijkheden van het juiste gebruik van data verschillen per vloot. De Nederlandse reder Spliethoff heeft momenteel 73 dataloggers geïnstalleerd op hun vloot. Ze hebben daarbij hun eigen operationele portal gecreëerd. De ervaring van Spliethoff is dat de besparing momenteel tussen 2% en 20% ligt.

Waar kan de data dan voor worden gebruikt? Denk bijvoorbeeld aan speed optimization, weather routing en just-in-time arrival. Als het gaat om speed optimization, dan is samenwerking tussen ketenpartners essentieel. Zeetransport maakt deel uit van de logistieke keten waarin goederen en passagiers in een specifiek tijdswindow moeten worden afgeleverd. Het optimaal benutten van snelheidsreductie kan dus alleen, als wordt samengewerkt tussen onder meer reders, verladers en havens. Om afspraken te maken. Hetzelfde geldt voor Just-In-Time (JIT) arrival. JIT Arrival is een oplossing voor de huidige energie-inefficiënte gang van zaken, waarbij reders op volle snelheid naar de haven zijn gevaren, om daar vervolgens op de wachtlijst te komen voor een plek aan de kade en mogelijk dubbel te betalen vanwege te lang liggen. Een meer data-gedreven focus kan hier helpen. Tot slot is er nog een ander toepassing van data,

namelijk voor het inplannen van onderhoud. 'Data driven maintenance' wordt door de sector gezien als kansrijk, maar staat nog in de kinderschoenen. En tenslotte gaat deze denkwijze ook de nieuwe scheepsontwerpen beïnvloeden.

Figuur 24 Schematische weergave van Just in Time arrival, ten opzichte van gangbare werkwijze. Bron: IMO en anderen⁸⁰.



De frequentie waarmee je data stuurt naar de wal is afhankelijk van het gebruik en wat je uit de data wilt halen. Zo kan ervoor gekozen worden om data live, elke minuut, elke tien minuten etc. te versturen. Spliethoff kiest ervoor om data elke 5 minuten te versturen. Live data versturen vraagt meer van het systeem en is daarmee ook kostbaarder. Ook speelt het bereik daarin mee. Mocht er geen goede verbinding zijn kan bijvoorbeeld Starlink van Elon Musk een uitkomst bieden. Het bijkomende voordeel daarvan is dat dit ook voor andere dingen gebruikt kunnen worden. Zo kan de hele crew gebruik maken van een beschikbare internetverbinding aan boord. Maar ook dit kost wel meer geld.

5.4.4.3 Wind assisted propulsion system (WAPS)

Het reductie potentieel van een Wind Assisted Propulsion System (WAPS) hangt onder meer af van het type zeil. Maar meer bepalend zijn echter karakteristieken als de route, windrichting en vaarsnelheid. Dit betekent dat de prestatie van WAPS technieken voor een specifiek schip significant kunnen worden vergroot, door de route te optimaliseren. Bijvoorbeeld door weerafhankelijke routeplanning en logistieke optimalisatie.

⁸⁰ IMO et al (2020), [GIA-just-in-time-hires.pdf \(imo.org\)](https://www.imo.org/publications-and-communications/press-and-media/press-releases/2020/01/2020-01-01-imo-just-in-time-hires)

Het is zinvol om onderscheid te maken tussen kleinere zeilconfiguraties, die sneller inpasbaar zijn op een bestaand schip, en zeilconfiguraties met meer systemen – vaak alleen mogelijk bij nieuwbouw. De zeilconfiguraties in de eerste categorie leveren in het algemeen lagere reducties op. Deze categorieën functioneren over het algemeen geautomatiseerd, en er is geen extra (opgeleid) personeel aan boord nodig. In de tweede categorie zijn aanzienlijk hogere reducties mogelijk, tot wel 50% of meer conform onderzoek van MARIN. Voorbeelden van huidige projecten zijn de SilenSeas, de Neo-liner en de Oceanbird. De geaccepteerde impact op het schip en aan boord is hier groter: deze zeilen vragen om een aangepast scheepsontwerp. Vanwege deze grote aanpassingen is de verwachting dat schepen met wind een dergelijke hoge besparing, waarschijnlijk een niche in de markt bedienen. Configuraties van windaandrijfsystemen met lagere reducties – denk aan 20%-30% besparing – lijken een grotere kans te hebben om breder te worden toegepast. Er zijn meerdere projecten die zich daar nu op focussen. Deze zullen waarschijnlijk over 2 tot 3 jaar hun eerste toepassingen op water hebben.

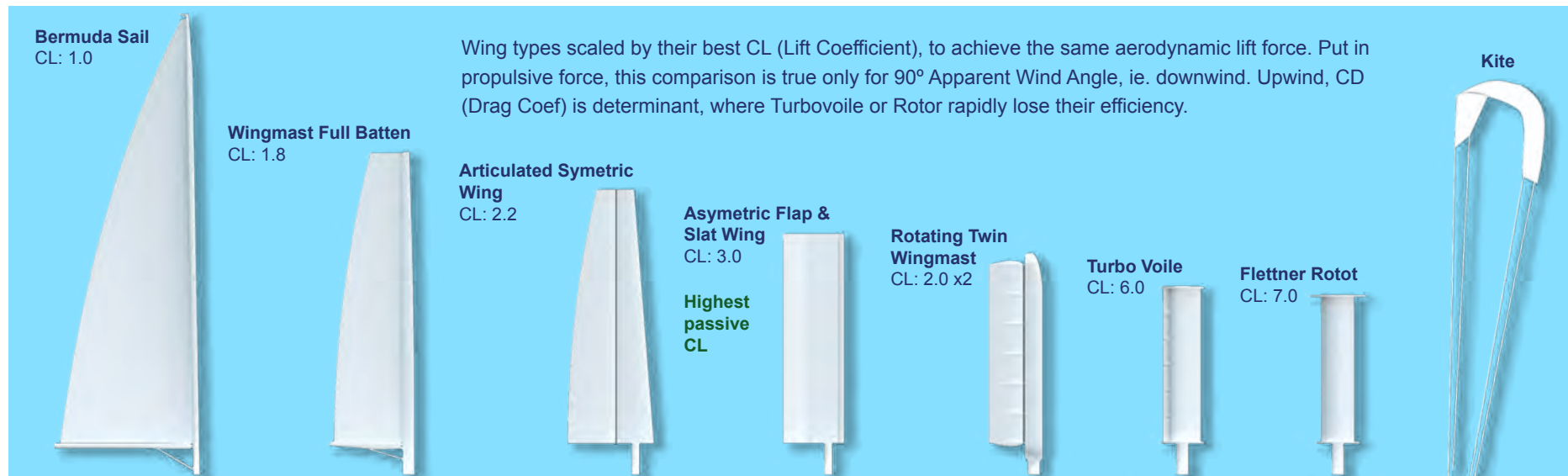
In Figuur 24 zijn een aantal verschillende WAPS varianten te zien, allen met een andere te verwachten reductie en ook een verschillend TRL niveau. Naast zeilen als extra energiebron voor voortstuwing, wordt ook de mogelijkheid onderzocht om varianten s toe

te passen bij crew tenders voor dynamic positioning – stil op de plaats blijven liggen. Voor voortstuwing zijn zeilen daar niet geschikt, vanwege de hoge snelheden die crew tenders moeten halen.

Marin ziet op basis van de huidige toepassingen dat wind zo'n 5% tot 15% brandstofbesparing op een gemiddeld jaarlijkse basis kan opleveren, bij juiste toepassing. Een studie van het MARIN wijst uit, dat de terugverdientijd van WAPS hiermee nu al richting de 7 jaar gaan, en op korte termijn - als de EU ETS tarieven gaan stijgen – mogelijk zelfs richting de 4 jaar.

In Nederland is een relevant aantal partijen met relevante kennis van WASP. Denk aan eConowind, Rondal, Conoship, Dykstra Naval Architects, Groot Ship Design, C-Job, Blue Wasp Marine, DTN, Neptune Shipyards, TU Delft, MARIN. Maar landen als Frankrijk, Finland, Zweden en Duitsland lijken in de lead als het gaat om de ontwikkeling van WASP. In Azië zijn scheepswerven bezig met hun eigen systemen en productie voor wind propulsie. Dit levert een risico op voor leveranciers in Europa. De Nederlandse sector constateert dat de (financiële) support voor wind propulsie in Nederland lager is, dan in bovengenoemde Europese landen.

Figuur 25 Verschillende zeilvarianten. Bron: MARIN.



5.4.4.4 Hydrodynamische technieken

De basis van deze technieken is weerstandverlaging en/of verbetering van het voortstuwingsrendement. Bij lage snelheid kan bv de wrijvingsweerstand van water langs het schip, wel 85% van de totale weerstand veroorzaken. Een belangrijk aanknopingspunt dus om de energiebehoefte van een schip omlaag te brengen. Hydrodynamische technieken zien daarop toe en zijn er in vele soorten. Enkele voorbeelden van effectieve technieken zijn bijvoorbeeld: het verminderen van weerstand langs de romp door luchtsmering, en het tegengaan van algengroei door coatings (van de romp en de schroef) en UV en ultrasoon. Toepassing van 'whale tails' staat nog in de kinderschoenen, maar zou met name voor licht belaste, grote oppervlakte, voortstuwing significante besparingen op kunnen leveren.

Met betrekking tot coatings is de giftigheid een aandachtspunt. Strikte wetgeving leidt er onder meer toe dat er steeds meer ontwikkelingen zijn op het gebied van UV en ultrasone antifouling. Ook op het gebied van luchtsmering wordt veel onderzoek gedaan. Systemen voor luchtsmering injecteren lucht langs de platte bodem van de romp om de wrijvingsweerstand te verminderen. Er zijn verschillende technieken voor luchtsmering (luchtlagen, luchtbellen, luchtkamers). Met name het creëren van een luchtlaag lijkt effectief en toepasbaar. De distributie van injectiepunten langs de romp is een bepalende parameter in de effectiviteit van de maatregel, en onderwerp van onderzoek (bron DNV). Ook wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om lucht vanuit een speciale inwendige of uitwendige uitsparing onder het schip, in te spuiten. De vertaling van labresultaten naar prestatie in echte ship operations, is notoir moeilijk, en wordt vaak gecombineerd met testen op full scale. De prestaties tijdens daadwerkelijke operaties kunnen gemeten worden, omdat het systeem aan- en uit kan worden gezet. Aandachtspunt bij luchtsmering is het aanvullende compressorvermogen dat nodig is om het systeem in werking te zetten. Zoals voor vrijwel alle technieken geldt ook zeker voor luchtsmering, dat de effectiviteit in hoge mate afhangt van het scheepstype en gebruik. Met name volle schepen met breed bodemoppervlakte lijken geschikt.

5.4.4.5 Onboard Carbon Capture and Storage (OCCS)

Onboard Carbon Capture and Storage betekent het afvangen van CO₂ op schepen, voordat deze in de atmosfeer terecht komen. Het doel is een vermindering van de CO₂ uitstoot. Na verbranding van de brandstof wordt CO₂ in een separate installatie afgevangen. Naar verwachting is OCCS op korte termijn technisch toe te passen. Full-scale pilots⁸¹ waarin CO₂ aan boord wordt afgevangen en aan wal wordt verwerkt, markeert de testfase van de techniek.

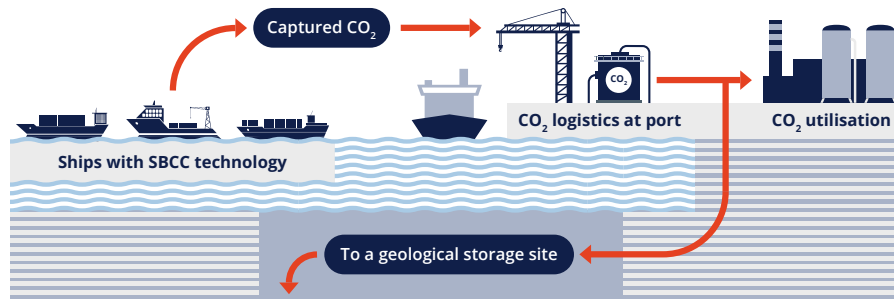
OCCS aan boord vraagt ruimte en voegt gewicht toe (2-3% dwt). Het gaat daarbij om het systeem voor afvang, voor het afladen, en voor opslag van CO₂ aan boord. Opslag gebeurt veelal cryogeen, om het volume van de CO₂ te beperken. Desondanks is het ruimtebeslag significant, maar ook sterk afhankelijk van het (schaalbare) afvang percentage (tussen de 20-90%) en het operationeel profiel. In conceptstudies alloceert een baggerschip met 54% afvang bijvoorbeeld 178m³ tanks (REF coasts), en een VLCC met 78% afvang tanks tot 10.000m³.⁸¹ Afhankelijk van het ontwerp, en of het een nieuwbouw of retrofit betreft is 0-15% extra volume benodigd voor de volledige installatie⁸¹. In de praktijk zijn de energie efficiënte en daarmee economische overwegingen leidend. Hierdoor is OCCS met name geschikt voor grotere schepen. In [paragraaf 5.3.6](#) is voor een aantal scheepstypes aangegeven, in hoeverre deze systemen geschikt zijn. De Nederlandse rederijen zien OCCS als een belangrijke optie in de verduurzaming van de vloot. Zowel voor nieuwe schepen als bestaande. Er wordt nog onderzoek gedaan naar een combinatie met methaanafvang voor LNG schepen, en combinaties met scrubbers voor HFO schepen varen rond.

Het reductievermogen van een OCCS installatie hangt sterk samen met de hoeveelheid extra brandstof die nodig is om het systeem draaiende te houden. Brandstofverbruik van de installatie kan worden beperkt door enerzijds warmteverlies bij de uitlaat terug te winnen, en anderzijds koude overschot elders aan boord in te zetten voor de cryogene opslag van de CO₂. Dit laatste is met name van toepassing bij LNG schepen. Indien het energieverbruik op deze wijze geoptimaliseerd wordt, kan het extra brandstofverbruik van de OCCS installatie beperkt blijven tot 3-7%⁸². De netto CO₂ afvang bij de uitlaat bedraagt dan 60-70%. In het geval van een nieuwbouwschip, wijzen theoretische inschattingen op een reductie tot wel 90%.

⁸¹ Maersk McKinney Moller Center for Zero Carbon Shipping, [The Role of Onboard Carbon Capture in Maritime Decarbonization | Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping](#)

⁸² J.G.M.S. Monteiro, TNO. Juni 2023. *Feasibility of Ship Based Carbon Capture.*

Figuur 26 Waardeketen van CO₂ bij Onboard Carbon Capture and Storage. Bron: EverLong⁸³.



Zoals alle technieken komt OCCS alleen van de grond bij een voldoende haalbare business case. De investeringskosten voor een OCCS systeem zijn op moment hoog en onzeker. Standardisatie en een modulaire opbouw moeten leiden tot opschaling en daarmee kostenverlaging. Het tijdsfad van de ontwikkelingen is daarbij cruciaal. Door internationale regelgeving als ETS en verplichtte inzet van hernieuwbare energiedragers, worden de kosten van energiedragers hoger. Daarmee komt het sluitend worden van de business case voor OCCS meer in zicht.

Afgezien van de hoge investeringskosten zijn beleids- en marktontwikkelingen voor de afgevangen CO₂ bepalend. Het is nog niet bekend wat de waarde wordt van CO₂. Op dit moment kan deze niet worden verwaard onder de ETS systematiek. CO₂ wordt nu nog als afval geregistreerd. Binnen het EverLong project en IMO wordt er gewerkt aan de benodigde regelgeving.

Het opvangen en transporteren van de aan boord afgevangen CO₂ vraagt infrastructuur aan wal. Haven Rotterdam treft voorbereidingen voor infrastructuur en regelgeving voor ontvangst van CO₂ van on board carbon capture. Het afgevangen CO₂ kan worden opgeslagen, verhandeld, gebruikt als grondstof voor de industrie of als grondstof voor de productie van e-fuels. Er zijn voor een deel al geologische opslagmogelijkheden geïdentificeerd op verschillende locaties, wat interessant is voor de logische routes. Zo werkt Noorwegen aan een pijpleiding wat de opslag van CO₂ in

die regionen in de toekomst mogelijk kan maken⁸⁴. Een markt voor hergebruik in de industrie voor de productie van plastics of e-fuels, is er nog niet. Figuur 25 toont schematisch de waardeketen van CO₂ in OCCS.



⁸³ EverLoNG project voor de afvang van CO₂ aan boord en opbouw van de CO₂ waardeketen aan wal. [EverLoNG Briefing Document.pdf \(everlongccus.eu\)](https://www.everlongccus.eu)

⁸⁴ [North Sea pipeline to transport CO₂ from Germany to storage sites in Norway | Offshore \(offshore-mag.com\)](https://www.offshore-mag.com)

5.5 BUNKERINFRASTRUCTUUR VOOR ALTERNATIEVE ENERGIEDRAGERS

5.5.1 INTRODUCTIE

Infrastructuur aan wal voor distributie en bunkering van alternatieve energiedragers is een randvoorwaarde in de transitie. In Tabel 4 is de stand van zaken rondom bunkerinfrastructuur voor een aantal aspecten aangegeven. In onderstaande paragrafen wordt verder ingegaan op de toekomst van de Nederlandse bunkerpositie, de business case van infrastructuur, ruimtegebruik en veiligheid, walstroom en huidige bunker mogelijkheden.

Tabel 4 Bunkermogelijkheden, bunkerpositie Nederland, infrastructuur en veiligheid aan wal.

Aspecten Energiedragers	Bunkermogelijkheden		Bunker- positie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid wal
	Wereldwijd	EU			
FAME					
HVO					
Fischer-Tropsch diesel					
LNG					
LNG - OCCS					
SVO/PPO					
Geraffineerde afvaloliën en -vetten					
HTL					
UPO/HPO					
Methanol					
Ethanol					
DME					
Waterstof					
Ammoniak					
Elektrisch					
Nucleair					

SIMULTAAN BUNKEREN EN BUNKEREN OP ZEE

Bunker van transportschepen gebeurt bij voorkeur tijdens het laden en lossen. Dit kan alleen als deze simultane operaties regelgevingstechnisch toegestaan zijn. Havens werken op dit moment toe naar systeemveiligheid voor alternatieve energiedragers: harmonisatie van veiligheidseisen op het interface tussen het schip en wal. Aan de scheepskant gelden IMO / IGF codes, aan de wal kant gaat het om Europese en Nederlandse wetgeving. De blauwdrukken om simultane operaties mogelijk te maken zijn er: procedures en systeemveiligheid is er al voor LNG. Het was een uitgebreid proces om dat voor elkaar te krijgen. Door de LNG systematiek als basis te gebruiken voor andere nieuwe brandstoffen, kan tijd worden gewonnen. De terminal moet het bunkeren van het schip wel in de eigen veiligheidsmanagement ingeregeld hebben. Het is daarom essentieel dat ook terminals worden voorbereid op de komst van de nieuwe energiedragers. Bunkeren op zee wordt gezien als mogelijk alternatief, als de milieutechnische ruimte voor bunkering niet beschikbaar is. Bunkeren kan dan niet gelijktijdig met het laden en lossen. Dit is een relevante aanslag op de efficiëntie van schepen. Mochten schepen kunnen bunkeren terwijl ze wachten om aan te meren, dan zou een efficiëntieslag te maken zijn

5.5.2 WAT IS DE TOEKOMST VAN DE NEDERLANDSE BUNKERPOSITIE?

De toekomstige rol van onze Nederlandse zeehavens in de wereldwijde bunkermarkt is onzeker. Een deel van de sector verwacht dat de levering van bunkervolumes in Nederland af zal nemen. Zij denkt dat het bunkeren zich zal concentreren op die plekken waar de grootste en goedkoopste productie van hernieuwbare elektriciteit en biomassastromen plaatsvindt. Naar verwachting zal dat grotendeels buiten Nederland en buiten Europa zijn. Een ander deel van de sector verwacht wel een behoud van onze bunkerpositie. Zij stelt dat bunkerende schepen van nature de lading volgen. De schaal van lading maakt Nederland een efficiënte plek als bunkerhub. Dit vanwege onze gunstige geografische ligging als poort van Europa. Dit zal ook in de toekomst ladingstromen, en dus zeeschepen én bunkervolumes, naar ons land blijven trekken.

In de discussie over de bunkerpositie van Nederland ligt een sterke link met de verwachte productie van energiedragers in Nederland (zie paragraaf 'productie'). Op dit moment bezit Nederland een sterk raffinagecluster waar scheepsbrandstoffen relatief

goedkoop geproduceerd worden. Als de overstap naar niet-fossiele energiedragers wordt gemaakt – waar vindt de productie dan plaats? In Nederland⁸⁵? En voor zover productie van bunkerbrandstoffen *niet* in Nederland plaatsvindt, in hoeverre is het dan haalbaar om grote volumes bunkerbrandstoffen naar Nederland te halen? Enerzijds hangt dat samen met hoe makkelijk een energiedrager te vervoeren is. Voor energiedragers die onder druk en met lage energiedichtheid vervoerd moeten worden, zoals vloeibare waterstof, wordt dat moeilijk en kostbaar. Voor ammoniak en methanol ligt dat anders, en worden ook nu al grote volumes wereldwijd verhandeld en getransporteerd. Maar zou je deze willen inzetten als waterstofdragers, dan speelt financiële haalbaarheid en keten-efficiëntie een rol. Want met elke conversie-slag boet je in op je keten-efficiëntie, en dus op de kosten.

Kortom, of Nederland in 2050 nog steeds een significante bunkerpositie heeft of niet, valt op dit moment niet te zeggen. De komende jaren zal daar ook geen uitsluitsel over komen. Wat we wel weten, is dat we nu en in de nabije toekomst aanzienlijke bunker-volumes zullen leveren aan de mondiale en nationale vloot. Nederlandse zeehavens zullen zich dus moeten voorbereiden op het faciliteren van bunkerinfrastructuur voor nieuwe energiedragers. Wat we ook weten, is dat we als Nederlandse sector een uitgesproken ambitie hebben als het gaat om de brandstoftransitie in de zeevaart: in de voorhoede zitten op de route naar klimaatneutraliteit. Onze bunkerpositie maakt dat wij de kans én verantwoordelijkheid hebben om impact te maken in de transitie. Havens spelen een belangrijke rol in de transitie die verder gaat dan het faciliteren van bunkeren, laden en lossen. Zo kan de haven in haar rol als Port Authority een belangrijke rol spelen in het stimuleren van de vraag en daarmee stimuleren van de transitie. Bijvoorbeeld door middel van port incentives / subsidies / green corridors, operationele incentives etc. Een voorbeeld zijn kortingen op havengelden als schepen aantoonbaar goede klimaatpresetaties leveren via de Environmental Ship Index⁸⁶, zoals in onder meer de Haven van Amsterdam als onderdeel van hun Clean Shipping Vision⁸⁷. Inzet van havens vormt een aanvulling op de rol van de overheid waaronder het verminderen van onduidelijkheden voor de sector, het verbeteren van de uitvoerbaarheid, en het snel kunnen bespreken en oplossen van knelpunten.

5.5.3 DE BUSINESS CASE VAN INFRASTRUCTUUR

De realisatie van bunkerinfrastructuur en opslag komt tot stand door een combinatie van publieke investeringen en (deel)financiering door onder meer de havenbedrijven. Dit vergt een terugverdienmodel en ten minste het daadwerkelijke gebruik van de infrastructuur. Een sluitende business case raakt aan de kern van de transitie. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan. De onzekerheid over het gebruik van infrastructuur dient voldoende te worden weggenomen, om investeringen mogelijk te maken en stranded assets te voorkomen. Voor wat betreft walstroom wijst onderzoek uit, dat het onwaarschijnlijk is dat investeringen tot stranded assets leiden⁸⁸. Voor andere energiedragers is dat soms minder zeker. Volgens de sector is het haalbaar om voor de korte tot middellange termijn, een prognose op te stellen van de verwachte vraagontwikkeling in de Nederlandse zeehavens. Op basis van een dergelijke prognose komen onderbouwde investeringen in de realisatie van infrastructuur meer binnen handbereik.

De havensector geeft aan dat de bereidheid om te investeren, sterk samenhangt met het beleids- en investeringsklimaat in Nederland met betrekking tot alternatieve brandstoffen. Hierover bestaat naar de toekomst toe onzekerheid. Ook over de ontwikkeling van de diverse brandstofprijzen (betreft zeer hoge kosten) bestaat onzekerheid. Daarnaast speelt voor havens in grote mate ook de noodzaak tot een gelijk speelveld. Dat wil zeggen: stimuleren kan, maar niet als dit de concurrentiepositie ten opzichte van andere havens in het geding brengt. Een internationale aanpak heeft dus per definitie de voorkeur. Samenwerking van havens wereldwijd is cruciaal. Dit gebeurt onder meer op het gebied van internationale standaarden. Op dit moment is een harmonisatie in ontwikkeling die aangeeft in hoeverre een haven al in staat is om een energiedrager te leveren om te bunkeren voor de zeevaart: De Port Readiness levels.

5.5.4 RUIMTEGEBRUIK, VEILIGHEID EN VERGUNNINGEN

Veiligheid is een absolute randvoorwaarde voor toepassing van alternatieve energiedragers. Het minimaliseren van risico's en voorkomen van calamiteiten vormt niet alleen de basis voor publieke acceptatie maar ook voor het in bedrijf mogen nemen van een innovatief schip of voor het mogen aanbieden van bunkermogelijkheden voor nieuwe brandstoffen. Al in de pilotfase moet veiligheid gegarandeerd zijn. Opleiding van personeel zowel op het schip als aan de wal is daarbij cruciaal.

⁸⁵ P. de Langen, Ports & Logistics Advisory (2024), [pdf \(overheid.nl\)](#)

⁸⁶ Environmental Ship Index, [ESI Portal \(environmentalshipindex.org\)](#)

⁸⁷ Clean Shipping Vision van de Haven van Amsterdam, [vision-clean-shipping.pdf \(portofamsterdam.com\)](#)

⁸⁸ CE Delft (2022), [CE_Delft_210314_The_role_of_shore_power_in_the_future_maritime_fuel_mix_DEF.pdf \(cedelft.eu\)](#)

Veiligheid aan walzijde is geregeld via Europese en/of nationale regelgeving, waaronder de omgevingsvergunning. Veiligheidsregelgeving heeft een grote impact op waar, hoe en onder welke voorwaarden alternatieve energiedragers gebunkerd mogen worden. Externe veiligheid en de benodigde veiligheidsruimte zijn relevante factoren bij de inrichting van opslag- en bunkermogelijkheden in het havengebied. Eigenschappen zoals het explosierisico, zijn bepalend voor de veiligheidsruimte die nodig is voor een specifieke brandstof. De wettelijk voorgeschreven veiligheidscontouren maken ruimtebeslag tot een cruciaal vraagstuk. Zeker in de nabijheid van bewoond gebied – een cruciaal aandachtspunt met het oog op de oprukkende woningbouw. Gezien de omvang van de huidige ruimteschaarste in havengebieden, zullen nu al ruimteclaims moeten worden gedaan om deze operaties in de toekomst mogelijk te maken. Een haven als North Sea Port geeft aan dat zij beperkt ruimte beschikbaar hebben en dus strategisch zullen moeten kiezen voor het faciliteren van bunkering voor nieuwe brandstoffen. Zij zijn daarin niet de enige. Door middel van analyses werken havens uit op welke plaatsen opslag en bunkering mogelijk is. Sommige kleinere Nederlandse havens hebben al bunkerregulering opgesteld voor waterstof. Voor ammoniak ligt de veiligheidsregelgeving complexer vanwege de hoge giftigheid van deze brandstof (in mindere mate geldt dit ook voor methanol). Het risicoprofiel van ammoniak bepaalt ook dat mogelijk in de toekomst niet overal ammoniak te bunkeren zal zijn. Tegelijk is er al veel ervaring, onder andere in de chemische industrie, wat betreft opslag en distributie van ammoniak, waarop verder voortgebouwd kan worden bij toepassing in de zeevaart.

Een belangrijk vraagstuk voor de nieuwe energiedragers is: kan ship-to-ship bunkeren en lading operatie simultaan, met het oog op veiligheid? Of moeten schepen naar aparte bunkerlocaties? Dit staat beschreven in onderstaand kader. Voor bunkering door middel van vrachtwagens (truck-to-ship) is in Nederland een omgevingsvergunning nodig. Dit is met name gangbaar in kleinere havens zoals Harlingen en Groningen Seaports. Veiligheidsregio's en omgevingsdiensten hebben vaak niet alle benodigde expertise in huis om de vergunningverlening soepel te laten verlopen. Kennisopbouw en uitwisseling is noodzakelijk, zie ook een brief van de Haven van Rotterdam in het kader van de kabinetsformatie⁸⁹. Haven specifieke regelgeving zoals een Havenverordening blijft noodzakelijk om de brug te vormen tussen de land gebonden en scheepvaart gebonden regelgeving en activiteiten. Daarnaast is het van belang dat de flexibiliteit van vergunningen wordt verbeterd. Zo worden nu risicocontouren voor iedere plek op de kade apart berekend.

⁸⁹ Aanbevelingen Havenbedrijf Rotterdam in het kader van de kabinetsformatie. [havenbedrijf-rotterdam-brief-informateur-energietransitie_0.pdf](https://www.havenbedrijf-rotterdam-brief-informateur-energietransitie_0.pdf) (portofrotterdam.com)

5.5.5 WALSTROOM

Vanwege de hoge ketenefficiëntie worden batterij elektrisch (last mile) varen, hybride oplossingen en walstroomgebruik bij het aanmeren als belangrijke (deel)oplossingen gezien op de route naar klimaatneutraliteit. De bottleneck voor gebruik van elektriciteit is het capaciteitsprobleem op het net. Laden is het probleem en niet zozeer de batterij. Voor het krijgen van aansluitingen op het net zijn nu wachtrijen. Daarnaast vraagt de zeevaart om groot vermogen. Dit moet geleverd kunnen worden. Uitbreiding van het net is niet zomaar mogelijk. Des te belangrijker dus, dat zeevaart duidelijk bij netbeheerders op het vizier staat. Vanuit de netbeheerders is een omslag te zien. Waarin zij vroeger alleen het net verzwaarden op basis van de huidige behoefte, is te zien dat er steeds meer rekening gehouden wordt met een grotere elektriciteitsbehoefte in de toekomst. Netbeheerders leggen infra voor decennia aan. Er wordt daarom steeds meer vooruit gepland en gebouwd. Er wordt bijvoorbeeld nagedacht over de potentiële behoefte 20-30 jaar van nu. Netbeheerders staan op dit moment voor de vraag of ze zich alleen klaar moeten maken voor walstroom voor stationaire voorzieningen, of dat er nog meer moet worden gebouwd/geïnvesteerd in verband met elektrische aandrijving. In een quickscan van netbeheerders naar Walstroom⁹⁰ is enkel uitgegaan van energiegebruik tijdens aanmeren. Dit laat zien dat er nog grote onzekerheid is over de snelheid waarmee elektrisch varen zal opkomen. En dat is zorgelijk. Want batterij elektrisch wordt gezien als een relevante oplossing, óók voor de zeevaart, daar waar technisch en operationeel inpasbaar. Dit komt door de hoge keten efficiëntie van batterij elektrisch varen (zie paragraaf 5.2). Scheepvaart wordt onder meer door walstroomverplichtingen grootverbruiker van elektriciteit. Meer kennis over de potentie van zeevaart bij de netbeheerders is nodig.

Voor de walstroomverplichting is nog onduidelijk wie verantwoordelijk is. Daardoor is een rolverdeling moeilijk te maken. Oftewel wie moet wat oppakken. Op dit moment wordt bezien of het onderbrengen van levering van hernieuwbare elektriciteit aan de scheepvaart, zou kunnen worden ondergebracht onder de RED. Om zo via HBE's een stimulans te vormen voor ontwikkelaars.

Een aandachtspunt bij de ontwikkeling van walstroom zijn de verschillende aansluitingen voor het laden. Hier is nu nog geen uniformiteit in, waardoor schepen allerlei verschillende koppelstukken bij zich moeten hebben om overal te kunnen laden. Afstemming hierover is lastig en wie gaat het uiteindelijk afdwingen, de EU of de

⁹⁰ Quickscan Walstroom: [Flinke groei verwacht van walstroom in havens voor zeevaart en binnenvaart](#) • [ElaadNL](#)

Markt? Hoe groter het vermogen, hoe minder divers de verschillende aansluitingen zijn. Het probleem speelt dus met name bij Laagspanning (<1000 Volt). Ook veiligheid en geluidsuitstraling zijn aandachtspunten bij de realisatie van walstroom.

5.5.6 HUIDIGE BUNKERMOGELIJKHEDEN.

In Tabel 4 staan de huidige bunkermogelijkheden wereldwijd, in de EU en in Nederland weergegeven. Voor een toelichting op deze tabel, [zie Bijlage 2: Kansentabel](#). Zoals kan worden verwacht is bunkering nog niet mogelijk voor energiedragers die nog niet tot nauwelijks worden toegepast in de zeevaart. Het gaat hierbij om FT diesel, LDO, HTL, UPO/HPO ethanol, DME, ammoniak en nucleair (zie één-na-laatste kolom in de tabel hierboven). LNG, en UCO lijken hedendaags de enige brandstoffen die wereldwijd en in Europa goed te bunkeren zijn. HVO en FAME zijn in Nederland goed beschikbaar, maar niet per definitie in andere havens of in Europa. Dit sluit aan bij het gegeven dat de in Nederland gehanteerde opt-in regeling heeft gemaakt, dat in Nederland specifiek veel ervaring is met de levering van deze biobrandstoffen. De bunkering van methanol is in opkomst, maar is op dit moment nog op projectbasis. Het havenbedrijf van Rotterdam verwacht bunkeren van methanol in 2025 integraal aan te bieden. De beschikbaarheid van energiedragers is over het algemeen sterk regiogebonden.

WAT IS NETCONGESTIE?

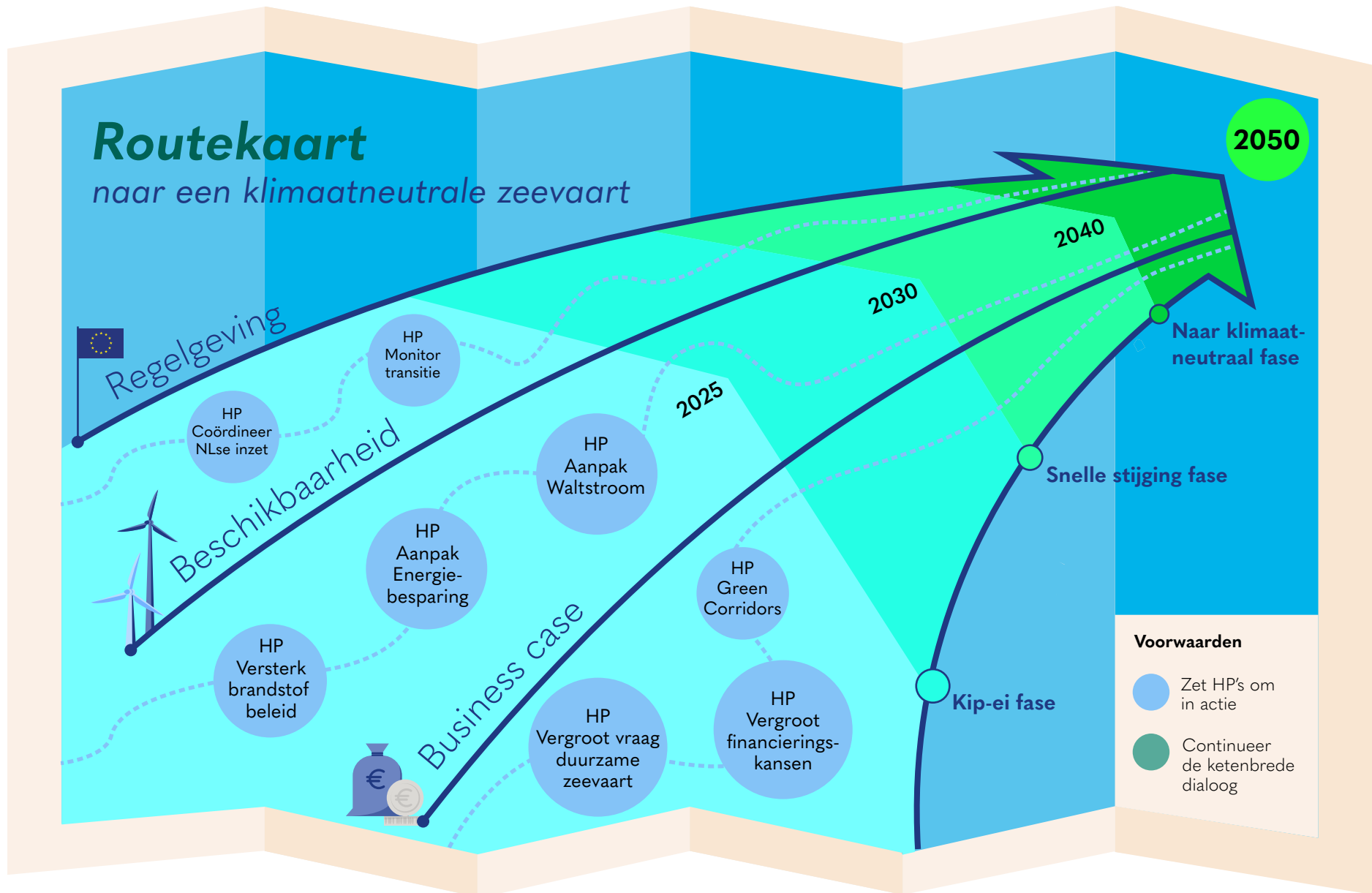
In Nederland is er een beperkte capaciteit op het elektriciteitsnet. Zowel het leveren als afnemen van elektriciteit is in grote delen van het land op dit moment beperkt mogelijk. Er worden slimme oplossingen bedacht als flexibele back-up voor het net. Denk aan batterijen op de kade, die piekvermogens tijdens het laden opvangen door op een eerder moment voldoende elektriciteit van het net op te slaan. Zelfs energiedragers als methanol of ammoniak zelf, zijn geopperd als mogelijke vormen van tijdelijke energieopslag aan land.

“De maritieme industrie kan hierbij leren van de offshore industrie en van de chemie en procesindustrie, waar het doen van een risico analyse standaard onderdeel uitmaakt van projectontwikkeling.”

6

De route naar 2050





De zeevaartsector staat voor een belangrijke uitdaging. De komende dertig jaar zal deze de transitie moeten maken van een sterk fossiel afhankelijke industrie naar een klimaatneutrale sector. Zonder maatregelen zal de CO₂-uitstoot van zeevaart hoogstwaarschijnlijk stijgen. Een hogere energie efficiëntie van schepen en een overstap op alternatieve energiedragers, is noodzakelijk om te komen tot klimaatneutraliteit. Dit alles moet gebeuren in de context van een mondiale klimaatopgave, waarin andere sectoren als industrie en luchtvaart zullen concurreren om schaarse hernieuwbare alternatieven. De energiezekerheid van de zeevaart staat onder druk.

Binnen deze opgave heeft de Nederlandse sector een duidelijke ambitie uitgesproken. Daar waar mogelijk binnen internationale kaders, kan en wil Nederland een koplopersrol pakken in de transitie. Door voorop te lopen kan Nederland de transitie versnellen en zich sterk maken voor een schone en sterke zeevaartsector. En Nederland leent zich uitermate goed als voedingsbodem voor versnelling. Waarom? Vanwege de diversiteit van het Nederlandse profiel. Aan de ene kant beschikt Nederland over niches, waarin de doorontwikkeling en demonstratie van nieuwe technologieën goed gedijt. Niches van zeeschepen in een relatief afgeschermd markt waarvoor Nederland bouwt en exploiteert. Aan de andere kant beschikt Nederland over een relevante internationale bunkerpositie, met de potentie om op grote schaal impact te maken. In combinatie met hoogwaardige technologie ontwikkeling en een sterk kenniscluster, biedt het Nederlandse bedrijfsleven daarmee een veelbelovend ecosysteem voor versnelling.

Maar de route naar een klimaatneutrale zeevaart is complex. Ondernemers die aan de slag willen met de transitie, krijgen te maken met een groot aantal onzekerheden. Onzekerheden over de ontwikkeling van regelgeving, maatschappelijke druk en de beschikbaarheid van voldoende opgeleid personeel. Onzekerheden over de kwaliteit van alternatieve energiedragers en de betrouwbaarheid van nieuwe technieken. Onzekerheden over de beschikbaarheid en prijs van nieuwe energiedragers. Stuk voor stuk uitdagingen die maken dat een ondernemer geen investeringsbeslissingen kan nemen, en geen strategische koers kan bepalen. En stuk voor stuk uitdagingen die geen enkele ondernemer in zijn eentje kan oplossen. De complexiteit van de transitie maakt dat stakeholders op alle fronten zullen moeten samenwerken om deze en andere knelpunten aan te pakken. Ketensamenwerking is de sleutel tot succes.

Wat is er nodig om klimaatneutrale technieken en brandstoffen op grote schaal uitgerold te krijgen in de zeevaart? In de kern is dat: het rondkrijgen van de business case voor alle partijen in de keten. Op dit moment sluit de business case voor zeevaart met verminderde broeikasgasemissies vaak nog niet. De onzekere beschikbaarheid

en prijs van alternatieve energiedragers speelt daarin een cruciale rol. En zorgt op zijn beurt voor een kip-ei impasse die verlamdend werkt op de transitie: Er is geen vraag naar energiedragers, dus er komt geen aanbod. En er is geen aanbod van energiedragers, dus er ontstaat geen vraag. Deze kip-ei situatie heeft zijn weerslag op de business case van alle schakels in het stakeholdernetwerk: niet alleen die van reders en brandstofproducenten, maar ook die van scheepsbouwers en motorproducenten, grondstoffenleveranciers, opslagpartijen, havens en vele anderen. Het doorbreken van de kip-ei situatie is essentieel.

Hoe de kip-ei doorbroken wordt? Op termijn: door klimaatgerichte regelgeving. Deze regelgeving moet alternatieve energiedragers concurrerend maken ten opzichte van conventionele brandstoffen. En dat in een gelijk speelveld op zo groot mogelijke schaal, zodat de concurrentiepositie van ondernemers niet in het geding komt. De business case voor partijen in de keten komt dus tot stand door haarscherpe en stabiele internationale regelgeving, die de juiste kaders creëert voor een overstap naar klimaatneutraliteit. Bij voorkeur via de IMO, waar nodig via de EU. Het is daarom van belang dat de Nederlandse sector de komende jaren haar inzet in internationale gremia optimaliseert, om gericht te sturen op een effectieve internationale aanpak.

Maar inzetten op effectieve internationale regelgeving is niet voldoende. Er moet veel meer gebeuren om de onzekerheden van ondernemers op tijd weg te nemen. En de komende paar jaar zijn hierin cruciaal. Om dit in te zien moeten we een beeld hebben bij het verloop van de transitie, en de mijlpalen die daarin moeten worden behaald. Als we de route naar 2050 bekijken, ontwaren we drie fases (zie Figuur 26 Schets van de fases in de transitie, zoals hierboven beschreven. De begin- en eindtijden van deze fases zijn tijdsindicaties zijn indicatief):

Fase 1: Kip-ei fase (nu tot ~2030)

- **Karakterisering van de fase:** In de kip-ei fase komt de business case van partijen in de keten vaak nog niet rond. Klimaatgerichte regelgeving is nog niet voldoende om alternatieve energiedragers concurrerend te maken ten opzichte van conventionele brandstoffen. Voor ondernemers is dit de zoek- en besluitvormingsfase. Naar alle waarschijnlijkheid heeft de zeevaart een veelheid aan opties nodig om in 2050 klimaatneutraal te worden. Er ligt dus een groot aantal opties op tafel, en scheepseigenaren weten niet op welke energiedrager zij het beste kunnen overstappen. Bovendien kampen zij met een groot aantal onzekerheden. Maar de tijd dringt. Technologie moet nu in de markt worden gezet, en energiedragers moeten nu worden opgeschaald, wil de sector op tijd klaar zijn voor de versnelling richting klimaatneutraal. Tegelijkertijd dienen opties die nu al beschikbaar zijn, zoveel mo-

gelijk te worden ingezet om ook nu al CO₂ reductie te bewerkstelligen. Denk aan de inzet van drop-in biobrandstoffen.

- **Benodigde mijlpalen voor het doorbreken van de kip-ei, in afwachting van internationale regelgeving:** Het is zaak om vooruitlopend op voldoende randvoorwaarden uit klimaatgerichte regelgeving, de business case van partijen rond te krijgen. Daarvoor moeten de komende paar jaar verschillende stappen worden gezet. De betalingsbereidheid van eindgebruikers moet omhoog – door het benutten van de kansen van scope 3 emissies, door meer inzet op CO₂ verwaarding en door meer effectieve publieke aanbestedingen. Door vraagbundeling te organiseren, green corridors op te zetten en oplossingen te bedenken voor financieringsissues. Door nationale en lokale sturing, stimulering en facilitering waarbij optimaal gebruik wordt gemaakt voor niches met relatief afgeschermd markt. Daarnaast dient zo snel mogelijk daadwerkelijk ingezet te worden op reductie van CO₂. Bijvoorbeeld door de inzet van drop-in biobrandstoffen.

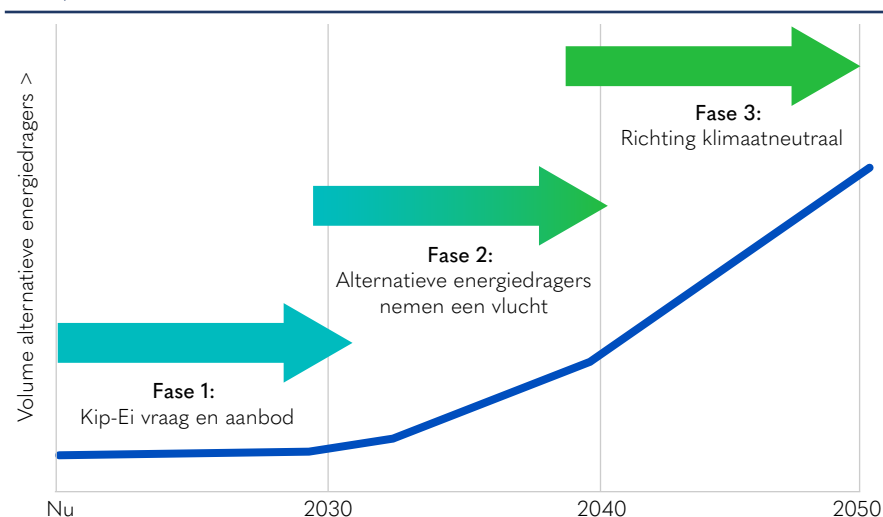
Fase 2: Gebruik alternatieve energiedragers neemt een vlucht (~2030 tot ~2040):

- **Karakterisering van de fase:** In deze fase moet het gebruik van alternatieve energiedragers een vlucht nemen, gestuurd door de kaders van klimaatgerichte regelgeving. Reductiedoelen nemen snel toe, bijvoorbeeld in Fuel EU Maritime en ETS. Marktwerving moet in de versnelling. Opties moeten nog sneller gaan opschalen en grote aantallen schone schepen zijn nodig, te meer vanwege de vervangingsgolf die rond 2030 wordt verwacht⁹¹. Een zeeschip met weinig emissies over de keten wordt *business as usual*. In deze fase kunnen reders nog met een groot aantal energiedragers uit de voeten – de eisen aan broeikasgasreducties over de keten gaan nog niet naar 100%. Er is een breed pallet aan opties.
- **Benodigde mijlpalen als voorwaarde voor deze fase:** Internationale klimaatgerichte kaders zijn stabiel, consistent en effectief. De impact van deze kaders op de markt is bekend. Productieketens voor alternatieve energiedragers zijn opgeschaald en biogroundstofstromen gemobiliseerd en benut. Energiedragers zijn daarvoor voldoende beschikbaar tegen een stabiele prijs. Bunkerinfrastructuur voor alternatieve energiedragers is in de meeste zeehavens wereldwijd aanwezig. Zowel productie, infrastructuur als gebruik van energiedragers aan boord is gestandaardiseerd mogelijk voor wat betreft regelgeving. Zo zijn technische regels voor de certificering van schepen beschikbaar, zijn veiligheidsissues afgekaart, en is standaardisering en certificering van brandstoffen geïmplementeerd.

Fase 3: Richting klimaatneutraal (~2040 tot ~2050):

- **Karakterisering van de fase:** In deze fase zet de zeevaart rappe schreden naar klimaatneutraliteit. Om in 2050 klimaatneutraal te varen, vindt opschaling plaats van opties die ons naar de hoogste ketenreducties brengen. Sommige opties zullen afvallen. Tegelijkertijd zullen zoals in elke fase, ook nu nog nieuwe opties in opmars komen. Opties die op dit moment nog niet of beperkt beschikbaar of toepasbaar zijn. Zoals nucleaire voortstuwing, nieuwe batterij technieken of waterstof in een innovatieve opslagvorm met hoge energiedichtheid. Naast een overstap op energiedragers met een hoge ketenreductie, zullen schepen in toenemende mate beschikken over een hoge energie efficiëntie.
- **Benodigde mijlpalen als voorwaarde voor deze fase:** Nieuwe technieken zijn gedurende de transitie continu doorontwikkeld. Zowel wat betreft productie van nieuwe energiedragers, ontwikkeling van aandrijfsystemen, energie efficiëntie technieken en benodigde infrastructuur aan wal. Inzet op al deze vier thema's is continu geborgd. In voorgaande fases is daarnaast in toenemende mate prioriteit gegeven aan energiedragers die een hoge ketenreductie behalen. Denk aan restromen voor biobrandstoffen en hernieuwbare elektriciteit.

Figuur 27 Schets van de fases in de transitie, zoals hierboven beschreven. De begin- en eindtijden van deze fases zijn indicatief. De blauwe lijn geeft schetsmatig de toename alternatieve energiedragers die beschikbaar moeten zijn voor de zeevaart, conform IMO, zoals opgenomen in hoofdstuk 3.



⁹¹ Seectoragenda Maritieme Maakindustrie, [No guts, no Hollands Glorie! - sectoragenda maritieme maakindustrie | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

Wat we kunnen concluderen uit de beschrijving van deze drie fases: Dat de komende jaren cruciaal zijn. Actie is **nu** nodig om alle benodigde mijlpalen op tijd te behalen. Dit blijkt niet alleen uit de beschrijving van de fases. Het blijkt ook uit de handelingsperspectieven die staan opgenomen in hoofdstuk 4 en de termijn die aan elk van die perspectieven is gekoppeld. Vrijwel alle inzet die de Nederlandse sector beoogt, moet in de komende paar jaar plaatsvinden. Om invulling te geven aan haar ambitie als koploper, identificeren ondernemers, kennisinstellingen en overheden handelingsperspectieven. Deze handelingsperspectieven dienen omgezet te worden in actie, om regie te kunnen pakken in de transitie. De belangrijkste die in 2024 vormgegeven dienen te worden zijn:

Klimaatgerichte regelgeving

- Intensiveer de coördinatie van de Nederlandse inzet op het internationale toneel, zowel vanuit de overheid als vanuit de sector. Het gaat hier om inzet in de regelgevende instanties zoals de IMO en de EU, maar ook om inzet in private en publiek-private samenwerkingsverbanden en overlegorganen.
- Ontwikkel een monitor van de transitie. Verken hoe deze het beste ontsloten kan worden zodat monitoringsdata voor iedereen beschikbaar is, bijvoorbeeld middels een openbaar dashboard. Transparantie en communicatie over de staat van de transitie en de *total cost of ownership* van verschillende energiedragers en technieken, is essentieel voor ondernemers die keuzes moeten maken en voor overheden in de ontwikkeling van beleid. In samenhang met monitoring kan vanuit deze Roadmap toegewerkt worden naar een periodieke update van inzichten en een concrete actie-agenda.

Beschikbaarheid van alternatieve energiedragers

- Versterk het Nederlandse grondstoffen- en brandstoffenbeleid, en zorg voor een heldere Nederlandse sturing op internationale brandstof-gerelateerde regelgeving. Helder en stabiel beleid is een absolute randvoorwaarde om de beschikbaarheid en betaalbaarheid van energiedragers op te krikken. Hiervoor is niet alleen de inzet van de overheid, maar ook die van de industrie essentieel.
- Organiseer een aanpak voor de ontwikkeling en toepassing van energiebesparende maatregelen op het schip en in de keten. Energiebesparing is cruciaal voor het behalen van de klimaatdoelen. Onmisbaar hiervoor is samenwerking tussen ketenpartners om risico's te verdelen voor de ontwikkeling, installatie en toepassing van innovaties.
- Creëer een adequate aanpak rondom walstroom en laadvoorzieningen voor elektrisch varen. Om te borgen dat de elektriciteitsvoorziening voor zeeschepen op tijd op orde komt, is inzet nodig op uitbreiding van de netcapaciteit, congestie-

management op decentraal niveau en een goede integratie van zeevaart bij de Nationale Agenda Laadinfrastructuur. Daarnaast is een heldere verdeling nodig van onderlinge verantwoordelijkheden, binnen het complexe speelveld van betrokken ondernemers en overheden.

Business case voor alle partijen in de keten

- Vergroot de vraag naar duurzame maritieme diensten. Dit kan enerzijds door marktpartijen door actiever op duurzaam transport te sturen, en anderzijds door verbetering van publieke tenderprocedures. Publieke en private partijen kunnen daarnaast samenwerken om de kansen die rapportageverplichtingen voor bedrijven met zich meebrengen, te benutten.
- Vergroot de financieringskansen van innovatieve projecten. Samenwerking in de keten is hierbij essentieel, waarbij de meerkosten en risico's verdeeld worden en alle schakels hun verantwoordelijkheid nemen om hier gezamenlijk in te dragen. Daarnaast moet onderzoek uitwijzen hoe prijsdemping voor energiedragers, innovatieve financieringsvormen en de-riskingsmechanismes voor investeringen kunnen bijdragen aan een business case voor de afbouw van fossiel en de inzet op alternatieve energiedragers.
- Werk samen over de keten om nu al broeikasgasemissies in de zeevaart te reduceren, bijvoorbeeld via Green Corridors. Benut hierbij optimaal het versterkende potentieel van de specialistische Nederlandse maritieme niches enerzijds, en de relevante internationale bunker- en productiepositie anderzijds. Door als Nederland in te zetten op verduurzaming van strategische niches in samenhang met de hele keten, inclusief havengebieden, brandstofproducenten en leveranciers, kan Nederland haar concurrentievermogen vergroten.

Bovenstaande handelingsperspectieven moeten worden omgezet in acties, wil de Nederlandse sector de kansen van de transitie kunnen verzilveren. **Spoedige opvolging van deze handelingsperspectieven** is essentieel om het vliegwielt gaande te houden en over te gaan tot actie. En **continuering van de ketenbrede dialoog** is daarbij een cruciale randvoorwaarde. Zonder de dialoog kan samenwerking op de complexe geïdentificeerde thema's niet slagen. Het ontwikkeltraject van de Roadmap heeft deze dialoog vormgegeven en biedt de basis voor de volgende stap in nauwe samenwerking met onder meer de sectoragenda maritieme maakindustrie, de Europese Green Deal en haar participatie in de IMO.

Deze Roadmap vormt een gezamenlijk en sectorbreed startpunt van de brandstoftransitie in de zeevaart. Een 25 jarig traject dat de sector gezamenlijk ingaat. Niemand kan in de toekomst kijken. Technologische vooruitgang, ontwikkelingen in andere secto-

6

ren, geopolitieke beslissingen – er zal zich de komende jaren van alles voltrekken waar de effecten zich moeilijk van laten voorspellen. Met precisie aangeven wat er tussen nu en 2050 moet gebeuren om de brandstoftransitie in de zeevaart te laten slagen, is een utopie. Maar wat wel kan, en wat ook móét, is: gezamenlijk optreden, proactief handelen, effecten monitoren en waar nodig bijsturen. De Nederlandse sector heeft met deze Roadmap een duidelijke ambitie neergezet. Koploper in de transitie naar klimaatneutraliteit. De manier waarop de sector dat voor elkaar wil krijgen, is door sterke en continue inzet op bovenstaande actielijnen. Waar in het in de kern op neer komt? Afspraken maken, onderzoek doen, en bovenal: samenwerken over de volle breedte van de keten. Tussen ondernemers, kennisinstellingen én de overheid. Want een transitie als deze doorlopen, dat doe je niet alleen.

Bijlage 1

Begrippenlijst en afkortingen



AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation; Europese verordening die lidstaten verplicht tot het aanleggen van een infrastructuur voor alternatieve brandstoffen
Alternatieve energiedragers	Energiedragers als alternatief voor conventionele scheepsbrandstoffen; dit omvat zowel brandstoffen als elektriciteit
Annex IX-A grondstoffen	Biograndstoffen die zijn opgenomen in deel A van de grondstoffenlijst in Bijlage IX van de Richtlijn hernieuwbare energie (RED)
Annex IX-B grondstoffen	Biograndstoffen die zijn opgenomen in deel B van de grondstoffenlijst in Bijlage IX van de Richtlijn hernieuwbare energie (RED)
ARA	Regio die de havens van Amsterdam, Rotterdam en Antwerpen omvat
Biobrandstof	Uit biomassa geproduceerde vloeibare brandstof voor vervoer (RED)
Blaauwe brandstoffen	Brandstoffen – waterstof en ammoniak - die worden geproduceerd op basis van fossiele bronnen waarbij in de productie CO ₂ wordt afgevangen en opgeslagen of hergebruikt (zie CCS / CCU)
Book and Claim	Ketenbeheer systeem waarbij de duurzaamheidskenmerken van een duurzame brandstof geheel losgekoppeld zijn van het fysieke product.
Broeikasgas	Stof die bijdraagt aan de opwarming van de aarde, zoals koolstofdioxide (CO ₂), methaan (CH ₄), distikstofoxide (N ₂ O) en waterstof (H ₂)
Broeikasgasemissie	Uitstoot van broeikasgassen
CAPEX	Capital Expenditures; investeringskosten
CII	Carbon Intensity Indicator; instrument van IMO gericht op de verbetering van de energie-efficiëntie en verlaging van de CO ₂ -uitstoot van schepen
CCS / CCU	Carbon Capture and Storage / Utilisation; afvang en opslag / gebruik van CO ₂ in productieketens van energiedragers
CNG	Compressed Natural Gas; gecompriemd aardgas
Conventionele brandstoffen	Fossiele scheepsbrandstoffen die traditioneel ingezet worden in de bestaande vloot, namelijk HFO en MDO/MGO
CRL	Commercial Readiness Level; maatstaf op een schaal van 1 t/m 9 voor hoe ver een technologie is richting commerciële beschikbaarheid
CSRD	<i>Corporate Sustainability Reporting Directive</i> ; Europese richtlijn die grote Europese bedrijven verplicht om te rapporteren over hun prestatie op het gebied van duurzaamheid, waaronder hun CO ₂ -uitstoot (zie Scope 1/2/3 CO ₂ -emissies)
DAC	Direct Air Capture; techniek om CO ₂ uit de lucht te halen als grondstof voor productie van koolstofhoudende e-fuels zoals e-methanol, e-diesel en e-LNG
DME	Di Methyl Ether
Drop-in brandstoffen	Brandstoffen die bijgemengd met conventionele scheepsbrandstoffen of in pure vorm gebruikt kunnen worden in bestaande motoren en schepen
Dual fuel	Type motor dat op zowel conventionele scheepsbrandstof als een alternatieve energiedrager kan draaien
Duurzaam	Energiedrager die aantoonbaar voldoet aan de nationaal, Europees en/of mondiaal geldende duurzaamheidseisen; op EU niveau zijn deze eisen vastgelegd in de RED; in Nederland in het duurzaamheidskader biograndstoffen.
EEDI	Energy Efficiency Design Index; instrument van IMO gericht op de verbetering van de energie-efficiëntie van nieuwe schepen
EEXI	Energy Efficiency Existing Ship Index; instrument van IMO gericht op de verbetering van de energie-efficiëntie van bestaande schepen
E-fuel	Synthetische brandstof geproduceerd op basis van door middel van elektrolyse geproduceerde waterstof met CO ₂ (koolstofdioxide) of N ₂ (stikstof); bij e-fuels geproduceerd op basis van hernieuwbare elektriciteit/waterstof spreekt men ook wel van RFNBO's (RED)
ETD	<i>Energy Taxation Directive</i> ; Europese richtlijn die het kader vormt voor de accijns op brandstoffen voor vervoer in de Europese lidstaten
ETS	Emissions Trading Scheme/system; Europees CO ₂ -emissiehandelsstelsel; Europees prijsmechanisme voor de uitstoot van broeikasgassen

EU-MRV	European Monitoring, Reporting and Verification; Europees systeem voor schepen om te rapporteren over hun brandstofgebruik en broeikasgasemissies.
FAME	Fatty Acid Methyl Ester; biobrandstof, ook wel aangeduid als biodiesel
Fit for 55 / FF55	Pakket wetsvoorstellen gepubliceerd in juli 2021 bedoeld om de Europese doelstelling van 55% reductie van CO ₂ -emissies in 2030 te realiseren.
FuelEU Maritime	Europese verordening gericht op het stapsgewijs verlagen van de broeikasgasintensiteit van de energie gebruikt aan boord van schepen in de periode 2025-2050.
GJ	<i>Giga Joule, 1 miljard Joule</i>
Green Corridors	“Zero emissie” (klimaatneutrale) maritieme routes tussen twee (of meer) havens (Clydebank Declaration)
Groene brandstof/ energiedrager	Energiedrager geproduceerd op basis van hernieuwbare bronnen, zoals zonne- of windenergie en biomassa
Grijze brandstof	Brandstof geproduceerd uit fossiele bronnen, zoals olie, kolen of aardgas
GWP	Global Warming Potential; maat die uitdrukt in welke mate een broeikasgas bijdraagt aan de opwarming van de aarde, bekeken over een bepaalde tijdshorizon (20 jaar of 100 jaar); CO ₂ heeft hierbij altijd een GWP van 1; voor CH ₄ (fossiel) geldt bijvoorbeeld GWP ₁₀₀ = 29,8 en voor N ₂ O GWP ₁₀₀ = 273 (Sixth Assessment Report van IPCC).
Hernieuwbare energie / elektriciteit / brandstoffen	Hernieuwbare energie, ook wel duurzame of groene energie genoemd, is energie afkomstig van natuurlijke bronnen die constant worden aangevuld. Dit is energie uit wind, waterkracht, zon, bodem, buitenluchtwarmte en biomassa (CBS). Hernieuwbare elektriciteit is elektriciteit die uit hernieuwbare bronnen is opgewekt. Hernieuwbare brandstoffen zijn brandstoffen die uit hernieuwbare bronnen zijn geproduceerd, dus zowel biobrandstoffen als e-fuels/RFNBO's.
HBE's	Hernieuwbare Brandstof Eenheden; verhandelbare eenheden binnen het Register Energie Vervoer, dat wordt beheerd door de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa); met HBE's kunnen bedrijven met een jaarverplichting hernieuwbare energie vervoer aantonen dat zij aan hun verplichting hebben voldaan
HFO	Heavy Fuel Oil; zware stookolie
HPO	Hydro-processed Pyrolysis Oil; met waterstof behandelde pyrolyse olie
HTL	Hydro Thermal Liquefaction; productieroute voor biobrandstoffen die vooral geschikt is voor natte reststromen
Hybride	Voortstuwing die gebruik maakt van zowel een verbrandingsmotor als een elektromotor
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil; biobrandstoffen geproduceerd op basis van plantaardige oliën en vetten, die als drop-in brandstof kan worden toegepast, vooral als vervanger van diesel-achtige brandstoffen
ICE / ICE-CI / ICE-SI	Internal Combustion Engine; interne verbrandingsmotor; deze kan gebruik maken van compressie-ontsteking (Compression Ignition, CI) of vonk-ontsteking (Spark Ignition, SI).
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
IGF code	International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels; Mondiale IMO veiligheidsregels voor brandstoffen met een laag vlampunt zoals LNG, methanol en ethanol.
ILUC	Indirect Land Use Change; indirecte veranderingen in landgebruik; verplaatsingseffecten van de teelt van gewassen als grondstof voor biobrandstoffen die een impact hebben op de broeikasgasuitstoot; de Europese wetgeving (RED) maakt onderscheid tussen gewassen met een laag en een hoog risico op indirecte landgebruiksveranderingen.
IMO	International Maritime Organization; Internationale Maritieme Organisatie, VN orgaan dat belast is met de mondiale regelgeving voor internationale zeevaart
Klimaatneutraal	Netto zonder emissie van broeikasgassen; dit is in Nederlands, Europees en mondiaal beleid niet altijd helder en consistent gedefinieerd; in deze roadmap wordt uitgegaan van nul emissies in de gehele productieketenketen van de energiedrager (“well-to-wake”) (zie Hoofdstuk 2)

kton	Kilo ton; 1000 ton
LNG	Liquefied Natural Gas; vloeibaar gemaakt aardgas
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carrier; organische vloeistof die <i>waterstof</i> kan binden en weer afgeven
LPG	Liquefied Petroleum Gas; vloeibaar gemaakt gas dat ontstaat als bijproductie van rproductie en behandeling van aardgas en aardolie
Massabalans	Systeem voor ketenbeheer waarbij vermenging van producten met verschillende duurzaamheidskenmerken is toegestaan maar waarbij er sprake moet zijn van een koppeling van de duurzaamheidsclaims en de fysieke stromen. Regels voor deze massabalans voor hernieuwbare brandstoffen zijn vastgelegd in de RED.
MDO	Marine Diesel Oil; conventionele destillaat scheepsbrandstof
MEPC	Marine Environment Protection Committee; comité van IMO dat belast is met onder andere de regulering van milieuverontreinigende emissies en reductie van broeikasgasemissies
MGO	Marine Gas Oil; conventionele destillaat scheepsbrandstof
MH2	Methanol als waterstofdrager
Mtoe	Million Ton Oil Equivalent; maat voor energiehoeveelheid, 1 Mtoe = ca. 42 PJ (PetaJoule)
Mton	Mega ton; 1 miljoen ton
NaBO2	Natriummetaboorat; waterstofdrager
NPE	Nationaal Plan Energiesysteem
OCCS	On board Carbon Capture and Storage; afvang van CO ₂ aan boord van schepen
OME	Oxy Methylene Ether
OPEX	Operational Costs; operationele kosten; brandstofkosten vormen hier onderdeel van
PJ	PetaJoule; 10 ¹⁵ Joule
PRL	Port Readiness Level; <i>systematiek voor het beoordelen door havens in hoeverre ze in staat zijn schepen te ontvangen of individuele brandstoffen te bunkeren, dit te communiceren met belanghebbenden en inzicht te hebben in welke doorontwikkeling nog nodig is.</i>
RED	Renewable Energy Directive; Europese richtlijn hernieuwbare energie die erop gericht is om het gebruik van hernieuwbare energie in de EU te bevorderen; de richtlijn bevat een algemene doelstelling voor het aandeel hernieuwbaar in de energieconsumptie en een specifieke doelstelling voor de transportsector
RFNBO's	Renewable Fuels of Non-Biological Origin; def RED; hernieuwbare synthetische brandstoffen (e-fuels)
Scope 1/2/3 CO₂-emissies	Indeling van CO ₂ -emissies in het kader van duurzaamheidsrapportage (zoals CSRD): Scope 1: CO ₂ -uitstoot door assets van de onderneming Scope 2: CO ₂ -uitstoot door ingekochte energie, verwarming, koeling Scope 3: CO ₂ -uitstoot door ingekochte of gehuurde goederen en diensten van leveranciers, zakelijke mobiliteit (stroomopwaarts); distributie, bewerking, gebruik en recycling of eindverwerking van verkochte producten (stroomafwaarts)
Nederlandse sector	In de context van deze roadmap alle Nederlandse partijen die een rol spelen in de brandstoftransitie van de zeevaart en betrokken zijn in de ontwikkeling van de roadmap: producenten, leveranciers, rederijen, financiers, klassebureaus, havens, lokale/regionale overheden en de Rijksoverheid.
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan; instrument van IMO is gericht op de verbetering van de energie-efficiëntie van schepen en het tussentijds bijhouden van het energiegebruik; een schip moet een SEEMP aan boord hebben.
SMR	Small Modular Reactor; type reactor dat gebruikt kan worden bij nucleaire voortstuwing

TRL	Technology Readiness Level; <i>maatstaf op een schaal van 1 t/m 9 (of 10) voor hoe ver een technologie ontwikkeld is richting volwassenheid</i>
TTW (broeikasgas)emissies	Tank-to-Wake; emissies die vrijkomen bij verbranding van een brandstof op een schip; het betreft hier alleen emissies aan de uitlaat van broeikasgassen (of andere stoffen) en niet de emissies in de productieketen van de brandstof (zie "Well-to-wake")
Tussengewassen	Gewassen die niet onder de definitie van voedsel- en voedergewassen van de RED vallen.
TWh	Tera Watt uur; 1 miljard kWh
UCO	Used Cooking Oil; gebruikte frituurolie, reststroom die als grondstof kan dienen voor biobrandstofproductie
UPO	Upgraded Pyrolysis Oil; geüpgrade pyrolyse-olie
VLSFO	Very Low Sulphur Fuel Oil; zware stookolie met een zeer laag zwavelgehalte (maximaal 0,5 m/m%)
Voedsel- en voedergewassen	Zetmeelrijke gewassen, suikergewassen of oliegewassen die als hoofdgewas op landbouwgrond worden geteeld. Dit is met uitzondering van residuen, afvalstoffen of lignocellulosisch materiaal, en tussenteelten, zoals tussengewassen en bodembedekkende gewassen, mits het gebruik van dergelijke tussenteelten niet leidt tot vraag naar meer land (RED)
WAPS	Wind-Assisted Propulsion Systems; voortstuwingssystemen (zeilen) voor schepen die gebruik maken van windenergie
WTW broeikasgasemissies	Well-to-wake; alle emissies van broeikasgassen in de gehele keten van productie van grondstoffen en energiedragers ("well") tot en met het gebruik ervan op een schip ("wake")



Bijlage 2

Kansentabel
alternatieve
energiedragers



2.1 INTRODUCTIE

De Roadmap Brandstoftransitie in de Zeevaart poogt handvaten te bieden aan Nederlandse sectorpartijen die zich willen voorbereiden op de transitie. De kansentabel in deze bijlage dient ter ondersteuning hiervan. Deze kansentabel maakt voor een brede selectie aan mogelijke alternatieve energiedragers voor een groot aantal aspecten inzichtelijk op welke punten kansen en belemmeringen liggen, en waar mogelijkheden zijn voor doorontwikkeling. Hierbij wordt gekeken naar verschillende aspecten wat betreft zowel de productie van de energiedragers als de toepassing op schepen en de benodigde distributie- en bunkerinfrastructuur. In de kansentabel is voor al deze onderwerpen bondige informatie opgenomen voor de huidige stand van zaken én een waardering in de vorm van een kleuring. De kansentabel is samengesteld door RVO op basis van informatie uit een groot aantal relevante openbare bronnen (rapporten, artikelen, nieuwsberichten, etc.) aangevuld met inbreng vanuit de werkgroepssessies en van sectorpartijen gedurende het roadmap traject. Zowel de informatie als de kleuring in de kansentabel is gedurende het roadmap traject aan de sector voorgelegd.

Hieronder is een verdere toelichting te vinden voor de kansentabel in het algemeen en voor enkele specifieke onderwerpen.

2.2 ALGEMENE TOELICHTING BIJ DE TABEL

2.2.1 Bronvermelding

De basis voor de kansentabel wordt gevormd door een drietal factsheets, die door RVO zijn opgesteld voor elke werkgroep, waarin sectorpartijen bijeen zijn gekomen om de diverse facetten van de brandstoftransitie te bespreken aan de hand van een selectie van energiedragers (werkgroep 1, 2 en 3). Deze factsheets zijn zeer uitgebreid en bevatten ook een zeer gedetailleerde bronvermelding. In de kansentabel is deze informatie samengevoegd en gecomprimeerd en zijn de specifieke bronvermeldingen per cel in de tabel weggelaten. In onderstaande toelichting zal, daar waar sprake is van één of enkele bronnen voor een bepaald onderwerp, dit worden aangegeven. Daar waar geen sprake is van een specifieke bronvermelding, wordt verwezen naar het algemene overzicht van geraadpleegde bronnen aan het einde van deze bijlage.

2.2.2 Selectie van energiedragers in de tabel

In de kansentabel zijn bijna alle energiedragers opgenomen die in de initiële lijst van energiedragers waren opgenomen en die zijn toegewezen aan één van de brandstofgerichte werkgroepen (werkgroep 1, 2 en 3). Hier zijn later Wind Assisted Propulsion systemen (WAPS), die in de eerste sessie van de scheepsgerichte werkgroep (werkgroep 4) aan de orde zijn gekomen, aan toegevoegd.

Naar aanleiding van inbreng vanuit de werkgroepen en wat meer focus aan te brengen in de selectie van alternatieve energiedragers zijn CNG, LPG, bio-butanol, LDO en co-raffinage diesel/scheepsbrandstof uiteindelijk niet meegenomen in de kansentabel. CNG heeft vergelijkbare eigenschappen als LNG en is daarom niet apart meegenomen. LPG wordt weliswaar al toegepast, maar veelal in LPG carriers. Bio-butanol is niet meegenomen omdat de sector hier geen tractie op ziet in de markt en het een relatief dure brandstof is. Over LDO (Lignin Diesel Oil) als drop-in biobrandstof bleek weinig informatie te vinden. Co-raffinage diesel/scheepsbrandstof is weggelaten in de tabel vanwege het inherente drop-in karakter en dat de biograndstoffen hier al tijdens de raffinage van ruwe olie worden toegepast (geen keuze voor de scheepseigenaar).

Naast de energiedragers die in de huidige kansentabel opgenomen zijn, zijn er uiteraard ook allerlei typen alternatieve energiedragers in ontwikkeling die interessant zijn voor toepassing in de zeevaart. Een voorbeeld hiervan is Crude Lignin Oil (CLO), die wordt geproduceerd door solvolyse van lignine afkomstig van bosbouwresiduen en die als drop-in brandstof kan worden gebruikt voor methanol gedreven schepen. Door blenden van CLO in methanol wordt de energiedichtheid van de mengsel verhoogd en wordt, bij blenden met fossiele methanol, de broeikasgasprestatie aanzienlijk verbeterd. CLO kan ook als blendcomponent worden toegepast in ethanol en ammoniak. Op dit moment is er in Nederland al een demonstratieplant voor deze technologie, die 1 kiloton CLO per jaar produceert. In dezelfde installatie kan ook uit de cellulose in de grondstof een blend component voor bijmenging in fossiele scheepsbrandstoffen worden geproduceerd, genaamd CSO (Crude Sugar Oil)⁹². Daarnaast hebben enkele sectorpartijen OME (Oxy Methylene Ether) als mogelijke kansrijke optie genoemd, die nog niet in de selectie van de kansentabel was opgenomen. OME is een ether, net als DME. OME lijkt qua verbrandingseigenschappen op DME, maar heeft wel een wat lagere energiedichtheid, die vergelijkbaar is met die van methanol. OME heeft enkele gunstige eigenschappen ten opzichte van DME en methanol, zoals dat het geen laag vlampunt heeft en niet onder druk opgeslagen hoeft te worden (zoals DME). De pro-

⁹² Bron: [Technology – Vertoro](#)

ductie is echter wel complexer en vraagt meer energie. OME is nog minder bekend en kent een nog beperkte afzetmarkt maar heeft tegelijk ook eigenschappen waarmee het een potentieel kansrijke brandstof voor de zeevaart kan zijn. Deze voorbeelden zijn in de kansentabel niet verder uitgewerkt maar ontwikkelingen in deze brandstoffen en mogelijk nog andere zijn interessant om in een vervolg verder in kaart te brengen en te blijven volgen.

2.2.3 Varianten van energiedragers in de tabel

Veel energiedragers in de kansentabel kennen meerdere varianten vanwege verschillende grondstoffen en productieroutes. Waar dit van toepassing is op een energiedrager, is in de tabel onderscheid gemaakt tussen de fossiele, bio fuel, e-fuel en/of blauwe route (fossiel met toepassing van afvang en opslag van CO₂ tijdens de productie). Verder is er bij de bio-routes onderscheid gemaakt tussen verschillende typen biograndstoffen, waarbij de indeling van de Richtlijn hernieuwbare energie (RED) is aangehouden: voedsel- en voedergewassen en Annex IX-A en IX-B grondstoffen. Dit is relevant omdat deze typen grondstoffen verschillen in opschaalbaarheid en in hoe ze binnen de Europese en Nederlandse wetgeving worden behandeld. Waar van toepassing, is bij bio-routes ook onderscheid gemaakt tussen de verschillende productietechnieken voor een biobrandstof.

Bij deze indeling naar brandstoftypen en productieketens moet worden opgemerkt dat de scheidslijn tussen productieketens (bijvoorbeeld tussen bio-routes en e-fuel routes) in de praktijk minder strikt is dan het lijkt in deze tabel. Er zijn volop mogelijkheden voor *integratie en synergie tussen ketens*: een bijproduct/afvalproduct van de ene keten kan een grondstof zijn voor een andere keten. Een voorbeeld hiervan is zuurstof die vrijkomt bij elektrolyse van water om waterstof te produceren; bij synthese processen is juist naast waterstof ook zuurstof nodig. Ook kan bijvoorbeeld CO₂ die wordt afgevangen in productieprocessen of aan boord van schepen worden ingezet voor productie van koolstofhoudende e-fuels; koolstofketens hebben juist CO₂ nodig. Hier zijn dus logische koppelingen te maken en systeemintegratie is erg belangrijk voor de transitie van ons energiesysteem, onder andere gezien vanuit efficiëntie en kosten.

2.2.4 Kleuring in de tabel

In de tabel is een kleuring aangebracht voor elke energiedrager bij de verschillende aspecten, die de mate aangeeft van kansrijkheid en/of behoefte aan verdere doorontwikkeling. Een kleuring is altijd in enige mate subjectief. Met het oog op een meer gedragen inschatting is de kansentabel daarom voorgelegd aan een groot aantal partijen uit de sector.

In de kansentabel is in het algemeen gebruik gemaakt van een kleuring groen – geel – oranje. Hier duidt een groene kleuring op ontwikkeling/toepassing zonder al te grote aandachtspunten of aanpassingen. Bij een gele kleuring is er sprake van een interessante ontwikkeling die doorgezet kan worden, maar waarvoor nog wel aanvullende actie nodig is. Oranje staat veelal voor nog veel doorontwikkeling nodig (bijvoorbeeld bij een nog lage TRL en bij afwezigheid van passende regelgeving) óf beperkte mogelijkheden voor opschaling/toepassing. Bij de onderwerpen “Brandstofkosten” en “Investeringskosten voor de reder” staat groen voor geen of weinig kostenverhoging. Geel en oranje staan voor respectievelijk een significant en een groot kostenverhogend effect van de toepassing van alternatieve energiedragers.

Bij het onderwerp “Productieketen energiedrager - Opschaalbaarheid” is de interpretatie van de kleuring net iets anders: de kleuring staat voor de mogelijkheden voor doorontwikkeling vanaf het moment dat de technologie volwassen is (TRL 9-10). Ook is er een extra kleur toegepast, namelijk grijs. Deze is van toepassing bij fossiele brandstoffen (zonder CCS bij de productie), omdat opschaling hiervan niet past in het eindbeeld van een klimaatneutrale zeevaart.

Bij het onderwerp “WTW broeikasgasemissiereductie” is aan de standaardkleuring van groen-geel-oranje ook rood toegevoegd, met als leidraad: groen = substantiële reductie, boven de 65% minimumgrens voor WTW-broeikasgasreductie voor biobrandstoffen van de RED of boven de 70% grens voor RFNBO's (e-fuels op basis van hernieuwbare elektriciteit); geel = substantiële reductie, maar onder de 65% grens van de RED; oranje = geringe of geen reductie; rood = meer uitstoot dan de referentiewaarde.

In sommige gevallen is geen kleuring toegekend, bijvoorbeeld bij een gebrek aan gegevens.

2.3 TOELICHTING BIJ DE KANSENTABEL PER ONDERWERP

2.3.1 Beschikbaarheid van grondstoffen en energiedragers en opschaalbaarheid

Bij beschikbaarheid van grondstoffen en van productie/beschikbaarheid van energiedragers is voor het invullen van de tabel als uitgangspunt de mondiale context genomen. Voor Nederland kunnen de mogelijkheden om te produceren echter anders liggen bijvoorbeeld vanwege de (beperkte) beschikbaarheid van bepaalde biograndstoffen (denk aan houtige reststromen uit bosbouw) en (beperkte) mogelijkheden voor eigen productie (bijvoorbeeld hernieuwbare elektriciteit/waterstof). Voor toepassing in Nederland zal dan met name geïmporteerd moeten worden. Bij opschaalbaarheid

is als uitgangspunt gehanteerd in welke mate de optie opschaalbaar is, uitgaande van een volwassen productietechnologie (TRL 9-10).

2.3.2 TRL niveaus voor productieketen van energiedragers en voor toepassing aan boord van schepen

Technology Readiness Levels (TRL) zijn een weergave van de ontwikkelingsfase van een technologie. De TRL niveaus voor de productie van energiedragers zijn voornamelijk afkomstig uit de studie van *TNO, MKC en TU Delft (2020): Assessment of alternative fuels for seagoing vessels using Heavy Fuel Oil*, waarin een schaal van 1 tot 10 wordt gehanteerd. De TRL niveaus voor de toepassing op schepen zijn ingeschat door TNO. De TRL niveaus in de kantsentabel hebben de volgende betekenissen:

- TRL 3-5: Technologieontwikkeling;
- TRL 5-7: Technologie demonstratie;
- TRL 6-8: (Sub)systeemontwikkeling;
- TRL 7-9: Systeemtesten voor opstart en operatie;
- TRL10: Bewezen technologie.

De TRL's voor toepassing van energiedragers op schepen zijn weergegeven in een schaal voor 1 tot 10 en zijn ingeschat door TNO.

2.3.2 Duurzaamheidsaspecten - WTW-broeikasgasemissiereductie

Uitgangspunt voor de totstandkoming van de waarden in de kantsentabel voor de WTW-broeikasgasemissiereductie is de FuelEU Maritime verordening, in combinatie met de RED, daar waar FuelEU Maritime naar de RED verwijst of waar de RED waarden bevat voor energiedragers die niet in FuelEU Maritime vermeld staan. Bij gegevens uit de RED (REDII, 2018) is uitgegaan van de typische waarden voor het "well-to-tank" (WTT) deel van de keten. Volgens de RED geeft deze typische waarde een representatieve waarde voor gebruik van een brandstof voor de Europese Unie. De reductiepercentages zijn berekend ten opzichte van de referentie van FuelEU Maritime van 91,16 g CO₂-eq/MJ. In sommige gevallen zijn bandbreedtes gegeven, deze komen voort uit verschillende grondstoffen en/of productiewijzen die kunnen worden gebruikt. In het geval van fossiele en bio-LNG (voor e-LNG, zie (**)) komt de bandbreedte voort uit verschillende aannames voor de broeikasgasemissie ten gevolge van methaanslip (0,2% tot 3,1%).

Hieronder is aanvullende informatie weergegeven waarnaar in sommige cellen van de tabel met een (*) wordt verwezen:

(*) De WTW-broeikasgasreductie bij gebruik van palmolie valt buiten deze band-

breedte; deze bedraagt 29% bij FAME, 30% bij HVO en 37% bij SVO. De broeikasgasreductie van de andere oliegewassen, waar de waarde in de tabel betrekking op heeft, kan in de praktijk (veel) hoger zijn dan de hier vermelde waarde die afkomstig is uit de RED.

(**) Voor e-fuels op basis van hernieuwbare energie, RFNBO's genoemd in de Europese wetgeving, zijn geen standaardwaarden gegeven. De WTW-broeikasgasreductie kan wel worden berekend aan de hand van rekenregels die zijn vastgelegd in de gedelegeerde handelingen 1184/1185 onder de RED. Omdat de WTW-broeikasgasreductie van RFNBO's zeer sterk kan variëren - afhankelijk van onder andere het aandeel hernieuwbare energie in de productie van elektriciteit en waterstof, de herkomst en de waardering van de gebruikte CO₂, het productieproces van de e-fuel en de productielocatie en de bijbehorende transportemissies, kan geen representatieve standaardwaarde worden bepaald. Om die reden is in deze tabel geen standaardwaarde weergegeven die is bepaald aan de hand van FuelEU Maritime en de RED, maar een bandbreedte die deze variatie laat zien. De lage reductie in de bandbreedte van 70% komt voort uit de minimale broeikasgasreductie-eis die de RED stelt, wil een e-fuel als RFNBO beschouwd kunnen worden die mag bijdragen aan de doelen van de Europese wetgeving. In de praktijk kan de WTW-broeikasgasreductie echter (veel) lager zijn dan die 70%. De hoge reductie in de bandbreedte laat zien dat RFNBO's in de meest gunstige situatie een WTW-broeikasgasemissiereductie kunnen bereiken van nagenoeg 100%, bij gebruik van 100% hernieuwbare energie in de gehele keten. Bij waterstof als RFNBO (zie ***) is een bandbreedte gegeven, waarin is gevarieerd met de bron van de gebruikte elektriciteit. Indien voor andere RFNBO's dan waterstof ook deze benadering zou worden toegepast, dan zijn ook veel lagere reducties dan 70% mogelijk.

(***) In tegenstelling tot de andere RFNBO's (zie **), is voor hernieuwbare waterstof een bandbreedte gegeven, waarin is gevarieerd met de bron van de gebruikte elektriciteit. Bij gebruik van elektriciteit uit het huidige Europese elektriciteitsnet leidt de inzet van elektriciteit voor de productie van waterstof tot 92% meer broeikasgasemissies ten opzichte van de referentie. Bij het toekomstige Europese elektriciteitsnet, waarin een groter aandeel hernieuwbare energie deel zal uitmaken van de elektriciteitsmix, in 2030 zal dit naar verwachting 30% meer emissies zijn.

De kleuring in de cellen bij dit onderwerp is gebaseerd alleen op de WTW-broeikasgasemissiereductie. Andere duurzaamheidsaspecten zijn wel in de tekst weergegeven maar zijn niet meegewogen in de kleuring. Als leidraad voor de kleuring is gebruikt: groen = substantiële reductie, boven de 65% minimumgrens voor WTW-broeikas-

gasreductie voor biobrandstoffen van de RED of boven de 70% grens voor RFNBO's (e-fuels op basis van hernieuwbare elektriciteit); geel = substantiële reductie, maar onder de 65% grens van de RED; oranje = geringe of geen reductie; rood = meer uitstoot dan de referentiewaarde. Voor LNG gecombineerd met CCS aan boord is geen kleuring toegepast omdat de WTW-broeikasgasreductie samenhangt met de gebruikte LNG-route (fossiel, bio, e-fuel). Voor blauwe brandstoffen kon geen kleuring worden weergegeven in verband met een gebrek aan gegevens. Wind-assisted propulsion systems (WAPS) en nucleaire voortstuwing hebben ook geen kleuring toegekend gekregen.

2.3.3 Energiedichtheid en luchtverontreinigende emissies

De energiedichtheid van de brandstoffen in de kansentabel is gebaseerd op Annex II van de FuelEU Maritime verordening, aangevuld met andere bronnen waar nodig.

In de kansentabel is, waar beschikbaar, informatie opgenomen over het effect van gebruik van alternatieve energiedragers op luchtverontreinigende emissies van NO_x, SO_x en PM. Deze emissies zijn van een aantal factoren afhankelijk. De uitstoot van SO_x is afhankelijk van het zwavelgehalte in de brandstof. Biobrandstoffen en e-fuels zijn geheel of nagenoeg zwavelvrij waardoor de emissies van SO_x met (vrijwel) 100% gereduceerd kunnen worden. Voor NO_x 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.

2.3.4 Brandstofproductiekosten

In de kansentabel is, waar beschikbaar, een bandbreedte met een gemiddelde waarde weergegeven voor de productiekosten van de verschillende energiedragers. Deze waarden zijn samengesteld door RVO op basis van een groot aantal bestaande kostenstudies (zie lijst met geraadpleegde bronnen voor bandbreedtes voor brandstofproductiekosten). In sommige gevallen kon alleen een enkele waarde worden weergegeven, in plaats van een bandbreedte. Voor fossiele LNG en fossiele methanol zijn de huidige marktprijzen (februari 2024) gehanteerd. Per energiedrager is aangegeven door welke factoren de productiekosten vooral worden bepaald.

2.3.5 Investeringskosten op het schip

In de kansentabel is gekeken naar de impact op de investeringskosten voor de reder voor toepassing van een alternatieve energiedrager. De mate van deze impact is met een kleuring aangegeven en daarnaast zijn de belangrijke factoren hierbij kort benoemd in de tabel. Inschattingen hiervan zijn gedaan door RVO en TNO.

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten		Toepassing aan boord		
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL	WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing
FAME (Fatty Acid Methyl Ester, biodiesel)	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen Oliegewassen en plantaardige oliën (SVO/ PPO) wereldwijd beschikbaar <i>NB Gewassen die als tussengewassen aangemerkt kunnen worden vallen niet onder de RED definitie van voedsel- en voedergewassen</i>	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen <i>In NL diverse en in EU/ wereldwijd groot aantal installaties operationeel</i>	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen Opschaling beperkt mogelijk ivm duurzaamheidsaspecten en binnen EU limitering in RED en gelijkstelling aan fossiel in FuelEUMaritime <i>NB Deze beperking geldt niet voor tussengewassen</i>	10	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen 48 – 54% (*) Risico's Indirect Land Use Change (ILUC) van oliegewassen (NB op EU niveau is tot nu toe alleen oliepalm geïdentificeerd als hoog ILUC risico).	Drop-in/ICE-CI Compatibiliteit met motor gemiddeld Blends met HFO of MDO/MGO tot 100% mogelijk (mits FAME 100% vloeibaar is dus geen waxes) zonder of met beperkte aanpassingen aan motor of brandstofsysteem.	Extra onderhoud nodig ter voorkoming van verstopping van brandstoftanks en-lijn; verwarming van tanks nodig bij hogere blends (25 oC bij 100% FAME). Instabiele brandstof bij langdurige opslag Vanwege lagere energiedichtheid (8-15%) iets meer opslagvolume nodig tov. diesel/ HFO	10	Drop-in biobrandstof al ingezet in zeevaart; wereldwijd nog beperkt tov fossiel. Testen tot nu toe met FAME blends tot 20/30-50% en 100%
	Bio-route: Annex IX-B Afoliën en -vetten wereldwijd beschikbaar en ingezameld	Bio-route: Annex IX-B <i>In NL diverse en in EU/ wereldwijd groot aantal installaties operationeel</i>	Bio-route: Annex IX-B Opschaling beperkt mogelijk ivm binnen EU limitering in RED Beperkende factor aan opschaling is concurrerende vraag vanuit andere sectoren o.a. wegverkeer en luchtvaart.	10	Bio-route: Annex IX-B 82 – 86% Reststromen als grondstof	Aanpassingen in materiaalgebruik in oudere motoren nodig ter voorkoming van aantasting van sommige rubbers en elastomeren; regelmatig onderhoud en controle motorfilters. Lager kookpunt en lagere viscositeit dan SVO, waardoor betere motorprestatie; goede verbrandings- en lubricatie-eigenschappen.	Vanwege relatief hoge energiedichtheid geschikt voor langere afstanden		
	Bio-route: Annex IX-A Inzet van industriële reststromen grondstoffen mogelijk en neemt toe; inzetten op ontwikkeling grondstofketens Op lange termijn mogelijk toepassing micro-algenolie (TRL 4)	Bio-route: Annex IX-A Beschikbaar (ingezet binnen NL regelgeving Energie Vervoer)	Bio-route: Annex IX-A Opschaling mogelijk i.v.m. grote wereldwijde beschikbaarheid productie(-capaciteit) en vanwege mogelijkheid tot gebruik van grondstoffen met een grote beschikbaarheid	10	Bio-route: Annex IX-A Niet bekend Reststromen als grondstof	Vanwege relatief hoge energiedichtheid geschikt voor langere afstanden			
HVO (Hydrogenated Vegetable Oil)	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen Oliegewassen en plantaardige oliën (SVO/ PPO) wereldwijd beschikbaar <i>NB Gewassen die als tussengewassen aangemerkt kunnen worden vallen niet onder de RED definitie van voedsel- en voedergewassen</i>	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen <i>In NL diverse installaties operationeel; ook in EU (NL belangrijkste producent) en wereldwijd</i>	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen Opschaling beperkt mogelijk ivm duurzaamheidsaspecten en binnen EU limitering in RED en gelijkstelling aan fossiel in FuelEUMaritime <i>NB Deze beperking geldt niet voor tussengewassen</i>	10	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen 48 – 55% (*) Risico's Indirect Land Use Change (ILUC) van oliegewassen (NB op EU niveau is tot nu toe alleen oliepalm geïdentificeerd als hoog ILUC risico). Veel (fossiele) waterstof nodig bij productieproces; overstap naar hernieuwbare/ biogene waterstof nodig.	Drop-in/ICE-CI Puur (100%) of blend met MDO/MGO (minder geschikt voor blends met HFO vanwege aantasting van de oplosbaarheid van zware componenten in HFO) Compatibel zonder aanpassingen aan motor- of brandstofsysteem; compatibiliteit met motor hoog. Stabiele brandstof met goede brandstof-eigenschappen o.a. hoog cetanaantal.	Compatibel met bestaande infrastructuur Vanwege lagere energiedichtheid (6-12%) iets meer opslagvolume nodig tov. diesel/ HFO	10	Drop-in biobrandstof al ingezet in zeevaart; wereldwijd nog beperkt tov fossiel. 100% HVO beperkt gedemonstreerd in aantal schepen.
	Bio-route: Annex IX-B Afoliën en -vetten wereldwijd beschikbaar en ingezameld	Bio-route: Annex IX-B <i>In NL diverse installaties operationeel; ook in EU (NL belangrijkste producent) en wereldwijd</i>	Bio-route: Annex IX-B Opschaling beperkt mogelijk ivm binnen EU limitering in RED Beperkende factor aan opschaling is concurrerende vraag vanuit andere sectoren o.a. wegverkeer en luchtvaart.	10	Bio-route: Annex IX-B 81 – 86% Reststromen als grondstof Veel (fossiele) waterstof nodig bij productieproces; overstap naar hernieuwbare/ biogene waterstof nodig.	Vanwege relatief hoge energiedichtheid geschikt voor langere afstanden; iets minder vermogen en energiedichtheid dan reguliere scheepsbrandstof.			
	Bio-route: Annex IX-A Inzet van industriële reststromen grondstoffen mogelijk en neemt toe; inzetten op ontwikkeling grondstofketens Op lange termijn mogelijk toepassing micro-algenolie (TRL 4).	Bio-route: Annex IX-A Beschikbaar	Bio-route: Annex IX-A Opschaling mogelijk i.v.m. grote wereldwijde beschikbaarheid productie(-capaciteit) en vanwege mogelijkheid tot gebruik van grondstoffen met een grote beschikbaarheid.	10	Bio-route: Annex IX-A 87% (POME als grondstof) Reststromen als grondstof Veel (fossiele) waterstof nodig bij productieproces; overstap naar hernieuwbare/ biogene waterstof nodig.				

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Bunkering bio-blended scheeps-brandstof in Rotterdam en Singapore; Singapore 150 kton FAME, aandeel van 0,2% (2023) Bio-blends Meestal 20-30% FAME, UCO, HVO in VLSFO; ook 100% biobrandstof	Haven Rotterdam Rotterdam	Bunkering in Rotterdam van blends met biobrandstoffen Biodiesel wordt ship-to-ship gebunkerd in North Sea Port Totaal bio-blended brandstof in Rotterdam 752 kton (2023) Rotterdam PRL 9 (volledige integratie) (nov. 2023)	Compatibel met bestaande infrastructuur. Monitoring brandstofkwaliteit en mogelijk verwarming van bunkers nodig. Instabiele brandstof bij langdurige opslag (niet langer opslaan dan 6 maanden en thermale conditionering nodig bij lage temperaturen en vrijhouden van water)	Geen veiligheidsissues	Geen veiligheidsissues	Kwaliteitsnormen: FAME norm EN 14214 (voor wegverkeer) Volgens handelsnorm ISO 8217:2017 bijmenging FAME nog beperkt: • In destillaat brandstoffen MDO/MGO (DFA, DFZ en DFB) tot 7 vol-% FAME toegestaan • In residuale brandstoffen HFO (DMA, DMZ, DMB) tot 0,1 vol-% toegestaan ("de minimis" sporen, dus geen moedwillige bijmenging) Norm voor FAME in ontwikkeling (NEN) Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 37 MJ/kg (gewicht) 33 MJ/liter (volume) (85% tov HFO; 92% tov diesel dus 8-15% lager) Luchtverontreinigende emissies: Zwavelvrij en (nagenoeg) geen SO _x emissies Reductie van CO en PM emissies (40-90%) NO _x emissies van FAME varieert van reductie tot 10-15% hoger	Bio-route V&V: 15-19-23 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie Bio-route Annex IX-B: 26-28-30 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie Bio-route Annex IX-A: Niet bekend Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie	Geen investering nodig ivm drop-in karakter
Bunkering bio-blended scheeps-brandstof in Rotterdam en Singapore (2022) Bio-blends Meestal 20-30% FAME, UCO, HVO in VLSFO; ook 100% biobrandstof	Haven Rotterdam Rotterdam	Rotterdam PRL 9 (volledige integratie) (nov. 2023) Terminals onderzoeken in North Sea Port de toepassing van HVO Totaal bio-blended brandstof in Rotterdam 752 kton (2023)	Compatibel met bestaande infrastructuur (blend met MDO/MGO; minder geschikt voor blending met HFO). Stabiele brandstof bij opslag.	Geen veiligheidsissues	Geen veiligheidsissues	Kwaliteitsnormen Geaccepteerd als scheepsbrandstof ivm drop-in karakter. Voldoet aan Europese norm voor paraffine brandstoffen EN 15940 Lijkt het meest op DMA (MGO) en voldoet aan ISO 8217 zonder blenden met conventionele brandstof Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 44 MJ/kg (gewicht) 34 MJ/liter (volume) (88% tov HFO; 94% tov diesel dus 6-12% lager) Luchtverontreinigende emissies: Zwavelvrij dus 0 SO _x emissies Reductie van emissies van NO _x (7-20%) en PM (28-46%)	Bio-route V&V: 23-29-38 €/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie Bio-route Annex IX-B: 26-29-32 €/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie Bio-route Annex IX-A: Niet bekend Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie	Geen investering nodig ivm drop-in karakter

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten		Toepassing aan boord		
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL	WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing
Fischer-Tropsch diesel	Bio-route: Grote beschikbaarheid van biogene reststromen (landbouw, bosbouw, stedelijk, industrie); ook lignocellulose energiegewassen; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Wereldwijd ca. 20 installaties voor FT-brandstoffen operationeel, in aanbouw of gepland. Met name in VS en Europa.	Bio-route: Aantrekkelijk ivm grote beschikbaarheid grondstoffen en hoogkwalitatieve brandstof Proces is energie-intensief (lage ketenefficiency) Hoge kapitaalkosten bij investering productie-installaties, opschaling afhankelijk van mogelijke kostendaling	6/8	Bio-route: 80 - 87% Reststromen als grondstof	Drop-in/ICE-CI Puur (100%) of blend met HFO of MDO/MGO Compatibel zonder aanpassingen aan motor- of brandstofsysteem; compatibiliteit met motor hoog. Stabiele brandstof met goede brandstof-eigenschappen.	Compatibel met bestaande infrastructuur Vanwege lagere energiedichtheid (6-12%) iets meer opslagvolume nodig tov. diesel/HFO	10	Nog geen demonstratie-projecten in scheepvaart
	E-fuel route: Afhankelijk van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare waterstof en CO ₂ (fossiel, biogeen, DAC); opschaling productie hernieuwbare waterstof moet nog plaatsvinden	E-fuel route: Nog geen productie?	E-fuel route: Relatief dure e-fuel; aantrekkelijkheid opschaling hangt af van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit/ waterstof en van CO ₂ (o.a. ontwikkeling, opschaling en kosten van DAC)	5/6	E-fuel route: 70 - 98% (**) E-fuel route kent een beperkte ketenefficiency (16-18%) bij toepassing in een ICE.	Vanwege relatief hoge energiedichtheid geschikt voor langere afstanden.			
LNG (Liquefied Natural Gas)	Fossiele route: Aardgas wereldwijd beschikbaar	Fossiele route: Grote wereldwijde productiecapaciteit en import en export; liquefactie- en import terminals beschikbaar	Fossiele route: Afhankelijk van beschikbaarheid en prijzen aardgas; productie van fossiele LNG is al volwassen industrie; Zonder on board CCS mogelijkheden voor opschaling op termijn beperkt ivm beperkte broeikasgas-reductie	10	Fossiele route: 0 - 16% Fossiele brandstof Methaanslip is aandachtspunt voor broeikasgasprestatie van LNG	Niet toepasbaar in bestaande ICE-CI; dual-fuel ICE-CI (LNG met HFO/ diesel) nodig of SI gasmotoren of gas- of stoomturbines. Grote 2-takt dual-fuel motoren op LNG met HFO/MGO/MDO beschikbaar. Retrofit 2-takt motoren voor o.a. LNG ook mogelijk.	Meer opslagvolume, lagere actieradius of vaker bunkeren nodig ivm 42-46% lagere energiedichtheid tov diesel/HFO.	10	1079 LNG schepen in de vaart, 829 besteld (juli 2023) Toenemend aantal LNG schepen in de vaart en in bestelling; grote verdere ingroei verwacht komende jaren.
	Bio-route: Vergisting Grote beschikbaarheid van biogene reststromen; ook lignocellulose energiegewassen; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Vergisting In NL en EU productie aanwezig van biomethaan en bio-LNG	Bio-route: Vergisting Productie biomethaan via vergisting is commercieel en opschaling voorzien in EU	10	Bio-route: Vergisting 190 - 206% (Annex IX-A) Reststromen als grondstof Methaanslip is aandachtspunt voor broeikasgasprestatie van bio-LNG	Kleine/medium dedicated gasmotoren beschikbaar voor LNG. Bio-LNG en e-LNG als drop-in brandstof in LNG motoren en schepen	Bij cilindrische en cryogene opslag (isolatie, lage druk) 4x zoveel opslagruimte nodig aan boord; daarom niet praktisch voor kleinere schepen en nieuwbouw of significante retrofit nodig; cryogene technologie complexer voor in bedrijfstelling en onderhoud	Zeer grote schepen gebruiken LNG tanks met membraan technologie; opslagtanks hebben reguliere vorm	
	Bio-route: Vergassing Grote beschikbaarheid van biogene reststromen; ook lignocellulose energiegewassen; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Vergassing Nog beperkte productie	Bio-route: Vergassing Vergassings-technologie is nog niet commercieel, maar kan gebruik maken van grote grondstoffenbasis.	6/8	Bio-route: Vergassing 54 - 70% (Annex IX-A) Reststromen als grondstof Methaanslip is aandachtspunt voor broeikasgasprestatie van bio-LNG		Brandstof beperkt houdbaar vanwege boil-off als schip stil ligt (verdamping)		
	E-fuel route: Afhankelijk van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare waterstof en CO ₂ (fossiel, biogeen, DAC); opschaling productie hernieuwbare waterstof moet nog plaatsvinden	E-fuel route: e-LNG wordt al geproduceerd; nog niet grootschalig, wel in kleine demo plants	E-fuel route: Aantrekkelijkheid opschaling hangt af van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit/ waterstof en van CO ₂ (o.a. ontwikkeling, opschaling en kosten van DAC)	5/6	E-fuel route: 70 - 98% (**) Methaanslip is aandachtspunt voor broeikasgasprestatie van e-LNG				

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Nog geen bunkering	Nog geen bunkering	Rotterdam PRL 9 (volledige integratie) (nov. 2023) Nog geen bunkering	Compatibel met bestaande infrastructuur. Stabiele brandstof bij opslag.	Geen veiligheidsissues	Geen veiligheidsissues	Kwaliteitsnormen Geaccepteerd als scheepsbrandstof ivm drop-in karakter. Voldoet aan de Europese norm voor paraffine brandstoffen EN 15940 Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 42,7 MJ/kg (gewicht) 34 MJ/liter (volume) (88% tov HFO; 94% tov diesel dus 6-12% lager) Luchtverontreinigende emissies Zwavelvrij dus 0 SOx emissies Reductie van emissies van NOx (10-30%) en PM (20-30%)	Bio-route Annex IX-A: 18-26-34 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie E-fuel route: 37-56-84 Euro/GJ (2030) Bepalende factoren: • Prijs hernieuw-bare elektriciteit / waterstof • Kosten CO ₂ -winning	Geen investering nodig ivm drop-in karakter
Wereldwijd ruim 140 havens met LNG bunkering faciliteiten. Bunkering in Singapore 111 kton (2023) Wereldwijde LNG distributie- en bunkering infrastructuur bestaat al; capaciteit kan uitgebreid worden LNG bunkerschepen beschikbaar Inmiddels duizenden LNG bunkeringen gedaan wereldwijd. Eerste leveringen bio-LNG aan scheepvaart zijn gedaan Eerste leveringen e-LNG aan scheepvaart zijn gedaan	Bestaande LNG (bunker) infrastructuur. Uitbreiding EU LNG bunker-punten verplicht via AFIR	Totaal fossiele LNG gebunkerd Rotterdam 619 kton; geen bio-LNG (2023) Rotterdam PRL 9 (volledige integratie) (nov. 2023) In North Sea Port shore-to-ship & ship-to-ship bunkerfaciliteiten aanwezig. Groningen Seaports heeft ship-to-ship bunkering van LNG; bunkering per vrachtwagen wordt onderzocht Haven Harlingen vergunning in aanvraag	Toepassing in conventionele distributie- en bunkering-infrastructuur niet mogelijk, maar inmiddels vindt LNG bunkering veelvuldig plaats. Bio-LNG en e-LNG kunnen in LNG-infrastructuur worden toegepast Cryogene (gekoelde) opslag in bunkerinfrastructuur vraagt aanvullende technische handelingen en leidt tot extra kosten o.a. cryogene opslagschepen voor opslag en transport van LNG, additionele veiligheidsmaatregelen	Gekoelde/ cryogene opslag nodig Ontvlambaarheids- en explosierisico's Laag vlampunt geeft extra veiligheids-maatregelen vanuit IGF code	Terminal procedures en systeemveiligheid al aanwezig, o.a. voor simultane operaties Gekoelde/ cryogene opslag nodig Ontvlambaarheids- en explosie-risico's	Kwaliteitsnormen ISO 23306 norm (2020) voor LNG voor toepassing als scheepsbrandstof Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 49,1 MJ/kg (-162 oC) (gewicht) 21 MJ/liter (-162 oC) (volume) (54% tov HFO; 58% tov diesel dus 42-46% lager) Luchtverontreinigende emissies (Bijna) geen SOx en PM emissies	Fossiele route: 6-10-13 Euro/GJ Bio-route vergisting: 19-31-41 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie Bio-route vergassing: 26-41-56 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie E-fuel route met CO₂ puntbron: 15-43-105 Euro/GJ E-fuel route met CO₂ via DAC: 45-71-106 (2030) Bepalende factoren: • Prijs hernieuw-bare elektriciteit / waterstof • Kosten CO ₂ -winning	Investering nodig ivm LNG gedreven schip

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten		Toepassing aan boord		
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL	WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing
LNG – CCS aan boord (Liquefied Natural Gas/ Carbon Capture and Storage)	Zie LNG routes	Zie LNG routes CCS Afvang van CO ₂ na verbranding kan met verschillende technieken zoals chemische absorptie, membraan-separatie of cryogene afvang.	Zie LNG routes CCS Technisch gezien zou 90% van de CO ₂ kunnen worden afgevangen aan boord, maar effectiviteit in de praktijk wordt bepaald door diverse technische en economische factoren; niet geschikt voor alle typen en groottes van schepen Opschaling ook afhankelijk van beleids- en marktontwikkelingen voor afgevangen CO ₂	8/9?	Zie LNG routes, WTW-broeikasgas-emissiereductie afhankelijk van gebruikte LNG-route CCS Afvang van CO ₂ technisch mogelijk tot 90%; vraagt extra energiegebruik van 10-40%	Zie LNG CCS CCS/CCU toepasbaar op LNG gedreven schepen	Systeem voor afvang, opslag en afladen van CO ₂ nodig aan boord. CCS aan boord vraagt ruimte en voegt gewicht toe Combinatie met methaanafvang in onderzoek	6/8	Zie LNG CCS Nu nog onderzoek en testen; eerste pilots reeds uitgevoerd, vervolg in 2024/2025
SVO/PPO (Straight Vegetable Oil / Pure Plant Oil)	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen Oliegewassen wereldwijd geproduceerd <i>NB Gewassen die als tussengewassen aangemerkt kunnen worden vallen niet onder de RED definitie van voedsel- en voedergewassen</i>	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen Productie van plantaardige oliën wereldwijd beschikbaar	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen Opschaling beperkt mogelijk ivm duurzaamheidsaspecten en binnen EU limitering in RED en gelijkstelling aan fossiel in FuelEU Maritime <i>NB Deze beperking geldt niet voor tussengewassen</i>	10	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen 56 – 63% (*) Risico's Indirect Land Use Change (ILUC) van oliegewassen (NB op EU niveau tot nu toe alleen oliepalm geclassificeerd als hoog ILUC risico).	Drop-in/ICE-CI Puur (100%) of blend met HFO (beperkt) Compatibiliteit met motor relatief laag Bij 4-takt motoren aanpassingen in de motor nodig Motorslijtage bij langdurig gebruik door hogere viscositeit en hoger kookpunt van SVO/PPO Weinig interesse vanuit maritieme sector ivm alleen toepasbaar bij diepzee scheepvaart motoren en negatief effect op de levensduur van de motor Vanwege relatief hoge energiedichtheid geschikt voor langere afstanden.	Vanwege lagere energiedichtheid (6-12%) iets meer opslagvolume nodig tov. diesel/HFO Compatibel met bestaande infrastructuur Instabiele brandstof bij langdurige opslag	9-10	Drop-in biobrandstof al ingezet in zeevaart; wereldwijd nog beperkt tov fossiel. Toepassing als scheepsbrandstof mogelijk; volume onbekend
Geraffineerde afvaloliën en -vetten	Bio-route: Annex IX-B Afvaloliën en -vetten wereldwijd beschikbaar en ingezameld	Bio-route: Annex IX-B Commerciële productie scheepsbrandstof uit afvaloliën en -vetten	Bio-route: Annex IX-B Opschaling beperkt mogelijk ivm binnen EU limitering in RED	10	Bio-route: Annex IX-B 96% Reststromen als grondstof	Drop-in/ICE-CI Puur (100%) of blend met HFO Compatibiliteit met motor relatief laag Toepasbaar in lage snelheid motoren in oceanvaart	Compatibel met bestaande infrastructuur Ivm hoge viscositeit is voorverwarming van de brandstof vereist (bv via dual-fuel systeem)	9-10	Drop-in biobrandstof al ingezet in zeevaart; wereldwijd nog beperkt tov fossiel. Toepassing als scheepsbrandstof mogelijk; volume onbekend
	Bio-route: Annex IX-A Inzet van industriële reststromen grondstoffen mogelijk en neemt toe; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Annex IX-A Commerciële productie scheepsbrandstof uit afvaloliën en -vetten	Bio-route: Annex IX-A Opschaling mogelijk i.v.m. grote wereldwijde beschikbaarheid productie(-capaciteit) en vanwege mogelijkheid tot gebruik van grondstoffen met een grote beschikbaarheid.	10	Bio-route: Annex IX-A Niet bekend Reststromen als grondstof	Drop-in / ICE-CI Blend tot 20% in diesel (mits upgrade naar HTL scheepsbrandstof; HTL biocrude is niet goed toepasbaar in bestaande motoren) Compatibiliteit met motor gemiddeld	Compatibel met bestaande infrastructuur	6-8	In onderzoek
HTL (Hydro Thermal Liquefaction)	Bio-route: Grondstoffen met significant watergehalte (tot 85%) die in grote volumes beschikbaar zijn bv MSW, mest, rioolslib, industrieel afvalwater, landbouwresiduen, algen, energiegewassen, voedselafval	Bio-route: Wereldwijd enkele installaties operationeel/in aanbouw/gepland	Bio-route: Mogelijk aantrekkelijk vanwege processing van breed palet aan natte biomassa reststromen en minder energie-intensief proces, wel upgrading nodig naar scheepsbrandstof	5/6	Bio-route: 68% (Annex IX-A) Reststromen als grondstof	Drop-in / ICE-CI Blend tot 20% in diesel (mits upgrade naar HTL scheepsbrandstof; HTL biocrude is niet goed toepasbaar in bestaande motoren) Compatibiliteit met motor gemiddeld	Compatibel met bestaande infrastructuur	6-8	In onderzoek

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Zie LNG	Zie LNG	Zie LNG	Vraagt infrastructuur aan wal voor opslag / gebruik van de aan boord afgevangen CO ₂ Haven Rotterdam treft voorbereidingen voor infrastructuur en regelgeving voor ontvangst van CO ₂ van on board CCS.	Zie LNG CCS Onderzocht, geen risico's Operationele complexiteit gaat beperkt omhoog.	Zie LNG CCS Onderzocht, geen risico's	Kwaliteitsnormen (Internationale) regels voor certificering voor on board CCS en integratie in EU/IMO regelgeving in ontwikkeling Beschikbaarheid regelgeving Zie LNG	Zie LNG	Zie LNG OPEX is sterk afhankelijk van beschikbare warmte en daarmee de aanvullende energie-vraag	Investering nodig ivm LNG gedreven schip en CCS aan boord
Mogelijk maar waarschijnlijk beperkt	Mogelijk maar waarschijnlijk beperkt	Rotterdam PRL 9 (volledige integratie) (analoog aan andere oliën)	Compatibel met bestaande infrastructuur Verwarming van bunkers mogelijk noodzakelijk Instabiele brandstof bij langdurige opslag	Geen veiligheidsissues	Geen veiligheidsissues	Kwaliteitsnormen Niet bekend Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 37 MJ/kg (gewicht) 34 MJ/liter (volume) (88% tov HFO; 9,4% tov diesel dus 6-12% lager) Luchtverontreinigende emissies: Zwavelvrij en (nagenoeg) geen SOx emissies Effect op emissies van CO, PM en NOx niet bekend	Bio-route V&V: 17-21-24 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie	Geen investering nodig ivm drop-in karakter
Bunkering bio-blended scheeps-brandstof in Rotterdam en Singapore (2022) Bio-blends Meestal 20-30% FAME, UCO, HVO in VLSFO; ook 100% biobrandstof	Haven Rotterdam	Rotterdam PRL 9 (volledige integratie) (analoog aan andere oliën) Totaal bio-blended brandstof in Rotterdam 752 kton (2023)	Compatibel met bestaande infrastructuur Aanpassingen nodig? (zie SVO/PPO?)	Geen veiligheidsissues	Geen veiligheidsissues	Kwaliteitsnormen Niet bekend Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 36 – 39 MJ/kg (gewicht) Luchtverontreinigende emissies: Niet bekend	Bio-route Annex IX-B: Niet bekend Bio-route Annex IX-A: Niet bekend Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie	Geen investering nodig ivm drop-in karakter
Nog geen bunkering	Nog geen bunkering	Nog geen bunkering	Compatibel met bestaande infrastructuur	Geen veiligheidsissues	Geen veiligheidsissues	Kwaliteitsnormen Specificaties en kwaliteitsnorm nodig Aanpassingen aan ISO 8217 norm nodig wat betreft o.a. dichtheid, zuurtegraad Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 34 – 38 MJ/kg (gewicht) Luchtverontreinigende emissies Zwavelvrij en (nagenoeg) geen SOx emissies Effect op emissies van CO, PM en NOx niet bekend	Bio-route Annex IX-A: 27-32-33 Euro/GJ (2030) Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie	Geen investering nodig ivm drop-in karakter

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten		Toepassing aan boord		
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL	WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing
UPO/HPO (Upgraded Pyrolysis Oil / Hydro-processed Pyrolysis Oil)	Bio-route: Lignocellulose energiegewassen en reststromen in grote volumes beschikbaar; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Wereldwijd enkele installaties, 2 in Nederland; kleinschalige productie	Bio-route: Potentieel aantrekkelijk vanwege mogelijk lagere productiekosten en breed palet aan grondstoffen (Annex IX-A), wel upgrading nodig voor scheepsbrandstof	5/6	Bio-route: 73% (Annex IX-A) Reststromen als grondstof	Drop-in/ ICE-CI Blend met HFO (mits upgrade; ruwe pyrolyse-olie is niet geschikt voor directe toepassing als scheepsbrandstof) Compatibiliteit met motor relatief laag	Compatibel met bestaande infrastructuur	5-7	In onderzoek
Methanol	Fossiele route: Grondstof aardgas wereldwijd beschikbaar, momenteel hoge prijzen.	Fossiele route: Fossiele methanol wordt op grote schaal geproduceerd en verhandeld.	Fossiele route Afhankelijk van beschikbaarheid en prijzen aardgas Zonder on board CCS mogelijkheden voor opschaling beperkt ivm hoge broeikasgasemissie	10	Fossiele route: 13% meer emissies dan de referentiewaarde	Niet geschikt voor ICE-CI (dieselmotoren); multi-fuel/ ICE-SI/dual fuel motoren nodig (met diesel) of dedicated motoren. 2-takt en 4-takt methanol scheepsmotoren beschikbaar; sommige motoren ontwikkeld voor grote variatie in vermogen	Meer opslagvolume, lagere actieradius of vaker bunkeren nodig ivm ca. 56-59% lagere energiedichtheid tov diesel/HFO NB Energiedichtheid kan worden verhoogd door gebruik van CLO (Crude Lignin Oil) als blendcomponent	ICE 7-9 FC 4-6 FC+ CCS 3-5	27 methanol schepen in de vaart en 151 besteld (juli 2023); verdere ingroei verwacht voor de komende jaren Interesse vanuit de maritieme sector bij groot aantal marktpartijen en onderzoeks-instituten Bio-methanol wordt (uit biomethaan) wordt al toegepast; e-methanol nog niet
	Bio-route: Vergisting (via biomethaan) Grote beschikbaarheid van biogene reststromen; ook lignocellulose energiegewassen; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Vergisting (via biomethaan) Productie bio-methanol via biomethaan commercieel beschikbaar maar productie wel nog verder opschalen	Bio-route: Vergisting (via biomethaan) Productie van bio-methanol op basis van biomethaan kan al opgeschaald worden	10	Bio-route: Vergisting (via biomethaan) Niet bekend Reststromen als grondstof	Aanpassingen aan motor, brandstof-systeem en materialen ivm lage viscositeit en corrosieve aard Dual fuel motoren (diesel/ methanol) mogelijk die starten op diesel (nodig voor ontsteking).	Extra opslagvolume heeft impact op ontwerp van het Schip, laad-vermogen en/of het operationele profiel, vooral bij compactere schepen Vloeistof; vergemakkelijkt handling en opslag aan boord		
	Bio-route: Vergassing Grote beschikbaarheid van biogene reststromen; ook lignocellulose energiegewassen; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Vergassing Vergassing is nog in vroeg commercieel stadium	Bio-route: Vergassing Opschaling mogelijk van productie uit lignocellulose biograndstoffen (reststromen) ivm grote beschikbaarheid grondstoffen	6/8	Bio-route: Vergassing 79 - 86% (Annex IX-A) Reststromen als grondstof	Multi-fuel motoren voor o.a. methanol beschikbaar (kan ook in blend met ethanol) Nieuwbouw methanol schepen zijn beschikbaar voor o.a. tankers, containerschepen, werkschepen, pilot boats en veerboten	Meer praktijk ervaring nodig met toepassing in operationele omstandigheden voor verschillende scheepstypen; pilots nodig		
	E-fuel route: Afhankelijk van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare waterstof en CO ₂ (fossiel, biogeen, DAC); opschaling productie hernieuwbare waterstof moet nog plaatsvinden	E-fuel route: Productie op demonstratie-schaal (enkele installaties in EU)	E-fuel route: Hoge productiekosten Aantrekkelijkheid opschaling hangt af van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit/ waterstof en van CO ₂ (o.a. ontwikkeling, opschaling en kosten van DAC)	5-6	E-fuel route 70 - 98% (**) E-fuel route kent een beperkte ketenefficiency (17-19%) bij toepassing in een ICE	Retrofit mogelijk voor methanol met motorconversie kit (aanpassingen aan motor, brandstof-systeem, opslagtanks en materialen; nog niet beschikbaar voor alle motormodellen (vooral nog ontwikkeling 4-takt motoren nodig) Toepassing van methanol in stoom-boiler en in brandstofcel ook mogelijk (nog in ontwikkeling) Combinatie met afvang- en opslag van CO ₂ aan boord (on-board CCS) mogelijk			

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Nog geen bunkering	Nog geen bunkering	Nog geen bunkering	Compatibel met bestaande infrastructuur	Geen veiligheidsissues	Geen veiligheidsissues	Kwaliteitsnormen Specificaties en kwaliteitsnorm nodig Aanpassingen aan ISO 8217 norm nodig wat betreft o.a. dichtheid, zuurtegraad Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid 33,8 - 36,9 MJ/kg (gewicht) Luchtverontreinigende emissies Zwavelvrij en (nagenoeg) geen SOx emissies Effect op emissies van CO, PM en NOx niet bekend	Bio-route Annex IX-A: 27-32-39 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie	Geen investering nodig ivm drop-in karakter
Fossiele methanol beschikbaar in ruim 100 havens wereldwijd. Havens bereiden methanol bunkering; op dit moment methanol bunkering beschikbaar in enkele havens Bunkering (fossiele) methanol in Singapore 0,3 kton (2023)	Diverse Europese havens bieden methanol bunkering of hebben dit in voorbereiding Methanol-bunkering is op aanvraag per bunkering; vergunningen in ontwikkeling	Rotterdam PRL 7 (project-basis), PRL9 (volledige intergratie) verwacht in 2025 (nov. 2023) Geen bunkering in Rotterdam in 2023 (1.500 ton in 2022) Bio-methanol 750 ton (2023)	Toepasbaar in huidige infrastructuur (zonder druk); fossiele methanol wordt al wereldwijd toegepast en getransporteerd Distributie- en opslagsystemen bestaan al in 88 van de top 100 internationale havens en kunnen worden verbonden met bunkering infrastructuur Retrofitting van brandstofopslag-bunkers is eenvoudig. Eenvoudige en goedkope handling, opslag en transport (geen gekoelde, cryogene opslag of opslag onderdruk nodig)	IMO heeft methanol erkend als scheeps-brandstof (MSC102; 2020) Veiligheidsmaatregelen ivm laag vlampunt en toxiciteit moeten nog verder ontwikkeld worden Toepassing van methanol vereist aanpassing IGF code Klassebureaus hebben regels ontwikkeld voor toepassing van methanol op schepen. Onzichtbare vlam Gedrag van de energiedrager onder verschillende omstandigheden in tanks en eventuele lekkages Effecten van langdurig gebruik op de gebruikte materialen (corrosie) Veiligheidsregulering aan boord bij bunkering	Veiligheidsmaatregelen ivm laag vlampunt en toxiciteit moeten nog verder ontwikkeld worden Toepassing van methanol vereist aanpassing IGF code Klassebureaus hebben regels ontwikkeld voor toepassing van methanol op schepen. Onzichtbare vlam Gedrag van de energiedrager onder verschillende omstandigheden in tanks en eventuele lekkages Effecten van langdurig gebruik op de gebruikte materialen (corrosie) Veiligheidsregulering aan boord bij bunkering	Kwaliteitsnormen Methanol nog niet meegenomen in ISO 8217 Huidige methanol-fabrikanten produceren zuivere methanol volgens dezelfde specificaties; hoge zuiverheid is niet noodzakelijk voor toepassing in scheepvaart Beschikbaarheid regelgeving Gereed / enkele iteraties mogelijk ivm leren van opgeleverde installaties	Energie-dichtheid 20 MJ/kg (gewicht) 16 MJ/liter (volume) (41% tov HFO; 44% tov diesel dus 56-59% lager) Luchtverontreinigende emissies Zwavelvrij en (nagenoeg) geen SOx-emissies (0,007 g/kWh) Zeer lage PM-emissies (0,034 g/kWh) Medium NOx- emissies (5 g/kWh; 60% lager vergeleken met Tier II, aanvullende NOx-emissie reducerende maatregelen nodig voor Tier III. Mogelijk significante aldehyde emissies; verder onderzoek nodig	Fossiele route: 6-10-14 Euro/GJ Bio-route vergisting: 11-22-33 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kosten biomethaan • Kapitaal-investering productie Bio-route vergassing: 17-25-31 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie E-fuel route met CO₂ puntbron: 27-43-63 Euro/GJ E-fuel route met CO₂ via DAC: 46-75-105 (2030) Bepalende factoren: • Prijs hernieuw-bare elektriciteit / waterstof • Kosten CO ₂ -winning	investering nodig ivm methanol gedreven schip

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten		Toepassing aan boord		
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL	WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing
Ethanol	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen (conventioneel) Suiker- en zetmeelhoudende gewassen wereldwijd geproduceerd <i>NB Gewassen die als tussengewassen aangemerkt kunnen worden vallen niet onder de RED definitie van voedsel- en voedergewassen</i>	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen (conventioneel) Wereldwijd grootschalige productie van ethanol op basis van suiker- en zetmeelhoudende gewassen, vooral in Brazilië, VS en Europa	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen (conventioneel) Opschaling beperkt mogelijk ivm binnen EU limitering in RED en gelijkstelling aan fossiel in FuelEU Maritime NB Deze beperking geldt niet voor tussengewassen	10	Bio-route: Voedsel- en voedergewassen (conventioneel) 64 – 76% afhankelijk van het type gewas	Niet geschikt voor ICE-CI (dieselmotoren); multi-fuel/ICE-SI/dual fuel motoren nodig of dedicated motoren Bij dedicated motoren aanpassingen aan motor, brandstof-systeem en materialen ivm lage viscositeit en corrosieve aard	Meer opslagvolume, lagere actieradius of vaker bunkeren nodig ivm ca. 42-46% lagere energiedichtheid tov diesel/HFO; hogere energie-dichtheid dan methanol NB Energiedichtheid kan worden verhoogd door gebruik van CLO (Crude Lignin Oil) als blendcomponent	6-8	Geen projecten of testen bekend in de zeevaart. Nog weinig ontwikkeling in ethanol als brandstof voor schepen; nog geen schepen gebouwd voor bio-ethanol. Nog weinig interesse vanuit maritieme industrie
	Bio-route: Annex IX-A (geavanceerd) Grote beschikbaarheid van biogene reststromen (landbouw, bosbouw, stedelijk, industrie); ook lignocellulose energiegewassen; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Annex IX-A (geavanceerd) Voor bio-ethanol op basis van lignocellulose stromen wereldwijd enkele tientallen commerciële installaties operationeel en in aanbouw; veel mislukte projecten	Bio-route: Annex IX-A (geavanceerd) Opschaling mogelijk van productie uit lignocellulose biograndstoffen (reststromen) ivm grote beschikbaarheid grondstoffen, wel hoge productie-kosten en onduidelijke technische haalbaarheid voor opschaling	8/9?	Bio-route: Annex IX-A (geavanceerd) 83% Reststromen als grondstof	Multi-fuel motoren voor o.a. ethanol beschikbaar (kan ook in blend met methanol). Onderzoek nodig welke motoren systeemonderdelen aangepast/ herontworpen moeten worden voor ethanol	Compatibiliteit met materialen is aandachtspunt (corrosief)		
DME (Di Methyl Ether)	Fossiele route: Grondstof aardgas wereldwijd beschikbaar, momenteel hoge prijzen.	Fossiele route: Wereldwijde productie, toepassing vooral in chemie.	Fossiele route: Afhangelijk van beschikbaarheid en prijzen aardgas Zonder on board CCS mogelijkheden voor opschaling beperkt ivm broeikasgas-emissie	10	Fossiele route: 75 (aardgas) – 162% (kolen) meer emissies dan de referentiewaarde	Niet geschikt voor reguliere ICE-CI; wel puur in multi-fuel of dual-fuel ICE-CI (aangepaste dieselmotor) Blends tot 30% mogelijk in DM grade brandstoffen (o.a. MGO)	Meer opslagvolume, lagere actieradius of vaker bunkeren nodig ivm ca. 47-51% lagere energiedichtheid tov diesel/HFO DME gasvormig bij kamer-temperatuur; vloeibaar onder druk 5-6 bar of gekoeld bij -25 oC	6-8	DME is tot nu toe alleen getest in kleinere motoren, geschiktheid; getest in scheepsmotoren tot 40% blend met systeem-aanpassingen Ondanks gunstige eigenschappen (o.a. ideale ratio CO ₂ :H ₂ , hoog cetaantal) tot nu toe weinig aandacht als brandstof zonder duidelijke reden; wel opkomend (derivaat van methanol)
	Bio-route: Vergassing of via biomethanol Diverse (lignocellulose) reststromen en energiegewassen in grote volumes beschikbaar; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Vergassing of via bio-methanol Productie nog zeer beperkt	Bio-route: Vergassing of via bio-methanol Opschaling mogelijk van productie uit lignocellulose biograndstoffen (reststromen) ivm grote beschikbaarheid grondstoffen.	6/8	Bio-route: Vergassing of via bio-methanol 80 – 87% (Annex IX-A) Reststromen als grondstof	Aanpassingen bij dedicated motoren of retrofit betreffen brandstofhandling en injectieapparatuur (ivm benodigde hogere druk) Additief of aanpassing inspuitstelsel nodig ivm lagere viscositeit/ smering van DME ter voorkoming van slijtage-problemen met de inspuitpomp en injectoren.	NB Toepassing van OME (Oxy Methylene Ether) als alternatief is mogelijk interessant vanwege geen laag vlampunt brandstof en vloeibaar bij kamertemperatuur		
	E-fuel route: Afhangelijk van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare waterstof en CO ₂ (fossiel, biogeen, DAC); opschaling productie hernieuwbare waterstof moet nog plaatsvinden	E-fuel route: Nog geen productie?	E-fuel route: Hoge productiekosten Aantrekkelijkheid opschaling hangt af van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit/ waterstof en van CO ₂ (o.a. ontwikkeling, opschaling en kosten van DAC)	5/6	E-fuel route: 70 – 98% (**) E-fuel route kent een beperkte ketenefficiëntie bij toepassing in een ICE (analoog aan e-methanol)				

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Niet bekend, waarschijnlijk geen/gering	Niet bekend, waarschijnlijk geen/gering	Nog geen PRL Rotterdam; analoog aan methanol Bio ethanol projecten aanwezig in North Sea Port	Toepasbaar in huidige infrastructuur (zonder druk); bio ethanol wordt al wereldwijd op grote schaal getransporteerd Distributie- en opslagsystemen bestaan al bv in veel havens en kunnen worden verbonden met bunkering infrastructuur. Retrofitting van brandstofopslag-bunkers is eenvoudig	IMO heeft ethanol erkend als scheepsbrandstof (MSC102; 2020) Toepassing van ethanol vereist aanpassing IGF code Klassebureaus hebben regels ontwikkeld voor toepassing van ethanol op schepen. Laag vlampunt (aanpassing brandstoftanks nodig)	Laag vlampunt	Kwaliteitsnormen Ethanol nog niet meegenomen in ISO 8217 Beschikbaarheid regelgeving Gereed onder Low Flashpoint Fuel requirement (Klasse + IMO) maar nog niet toegepast, dus volledig op risk based approach	Energie-dichtheid 27 MJ/kg (gewicht) 21 MJ/liter (volume) (54% tov HFO; 58% tov diesel dus 42-46% lager) Luchtverontreinigende emissies Zwavelvrij en (nagenoeg) geen SOx-emissies Nog geen meetdata beschikbaar NOx en PM emissies voor grote verbrandings-motoren	Bio-route V&V: 14-20-24 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie Bio-route Annex IX-A: 28-37-58 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie	Investering nodig ivm ethanol gedreven schip
Niet bekend, waarschijnlijk geen/gering	Niet bekend, waarschijnlijk geen/gering	Geen bunkering Nog geen PRL Rotterdam; analoog aan methanol	Speciale opslag- en bunkering infrastructuur nodig (druk 5-6 bar of cryogeen -25 oC) Nog geen wereldwijde infrastructuur zoals bij methanol en ethanol	Laag vlampunt (aanpassing brandstof-tanks nodig)	Laag vlampunt	Kwaliteitsnormen DME nog niet meegenomen in ISO 8217 Beschikbaarheid regelgeving Gereed onder Low Flashpoint Fuel requirement (Klasse + IMO) maar nog niet toegepast, dus volledig op risk based approach	Energie-dichtheid 28 MJ/kg (gewicht) 19 MJ/liter (volume) (49% tov HFO; 53% tov diesel dus 47-51% lager) Luchtverontreinigende emissies Zwavelvrij en (nagenoeg) geen SOx-emissies Mogelijk zeer lage PM emissies (beperkte meetdata beschikbaar) NOx emissies variabel; van zeer laag tot hoger afhankelijk van belasting motor	Fossiele route: Niet bekend Bio-route vergassing: 35-60-80 Euro/GJ (2030) Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie Bio via bio-methanol: 17-30-35 Euro/GJ Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kosten bio-methanol • Kapitaal-investering productie E-fuel route met CO₂ puntbron: 10-25-55 Euro/GJ E-fuel route met CO₂ via DAC: 46-75-103 (2030) Bepalende factoren: • Prijs hernieuw-bare elektriciteit / waterstof • Kosten CO ₂ -winning	Investering nodig ivm DME gedreven schip

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten		Toepassing aan boord		
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL	WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing
Waterstof	Fossiele route: Grijs Grondstof aardgas wereldwijd beschikbaar	Fossiele route: Grijs Grootschalige industriële productie voornamelijk op basis van aardgas (toepassing vooral in de industrie)	Fossiele route: Grijs Afhankelijk van beschikbaarheid en prijzen aardgas Mogelijkheden voor opschaling beperkt ivm broeikasgasemissie	10	Fossiele route: Grijs 24% meer emissies dan de referentiewaarde <i>NB Met methaan pyrolyse is productie van waterstof zonder CO₂-emissie mogelijk</i> Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van waterstof (GWP 5) in de keten in onderzoek	Toepasbaar in speciale ICE-SI (of dual-fuel waterstof-diesel ICE-CI) of in een brandstofcel (elektrische aandrijving, FCEV) Waterstof is vooral geschikt voor kleinere schepen die vaak kunnen bunkeren (elke 1-4 dagen) en voor korte afstanden en veerboten	Meer opslagvolume, lagere actieradius of vaker bunkeren nodig ivm ca. 76-78% lagere energiedichtheid tov diesel/HFO Extra opslagvolume ivm lage energiedichtheid en cryogene opslagtanks (cilindrisch en geïsoleerd) heeft significante impact op scheepsdesign, laadvermogen en operationeel profiel (netto opslagcapaciteit tov LNG ivm dubbelwandige tank en lagere dichtheid en vulgraad)	ICE 6-8 FC 6-8 Klein formaat al toegepast in (seriematige) pilots.	Demonstratie van waterstof in zowel SHICE / dual fuel motor als brandstofcel 5 waterstof schepen in de vaart en 5 besteld (juli 2023) Diverse actuele projecten gericht op ontwikkeling en toepassing van waterstof in schepen, in zowel verbrandingsmotor als brandstofcel
	Fossiele route: Blauw (CCS) Grondstof aardgas wereldwijd beschikbaar	Fossiele route Blauw (CCS) Nog in ontwikkeling	Fossiele route Blauw (CCS) Afhankelijk van ontwikkeling CCS bij productie van waterstof en van toepassing blauwe waterstof in industrie	6/8	Fossiele route Blauw (CCS) Niet bekend Mogelijk beperkte reductie van broeikasgasemissies door methaanslip bij productie Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van waterstof (GWP 5) in de keten in onderzoek	Beperkt toepasbaar in 2-takt motoren in diepzee segment vanwege lage energiedichtheid en ruimtebeslag aan boord Grote motorfabrikanten experimenteren met blend-in technieken van waterstof in andere brandstof in kustvaart segment om de prestatie van 4-takt motoren te verbeteren	Rekening houden met relatief lage bunkerdebieten en duur van bunkeren Waterstof is moeilijk gasvormig op te slaan en cryogene opslag kost veel energie		
	Bio-route: Vergisting (via biomethaan) Diverse (lignocellulose) reststromen en energiegewassen in grote volumes beschikbaar; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Vergisting (via biomethaan) Beschikbaar	Bio-route Vergisting (via biomethaan) Productie van waterstof op basis van biomethaan kan opgeschaald worden	10	Bio-route: Vergisting (via biomethaan) 265% (Annex IX-A) Reststromen als grondstof Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van waterstof (GWP 5) in de keten in onderzoek	Blend-in technieken tot 25% waterstof (op energiebasis) mogelijk in LNG dual-fuel motoren. Aangepast materiaalgebruik in tanks, motoren en brandstofsyste men ivm corrosief karakter			
	Bio-route: Vergassing Diverse (lignocellulose) reststromen en energiegewassen in grote volumes beschikbaar; inzetten op ontwikkeling grondstofketens	Bio-route: Vergassing Enkele installaties gepland / in aanbouw voor productie via vergassing	Bio-route: Vergassing Productie van waterstof via de vergassingsroute is nog in ontwikkeling maar kan gebruik maken van grote grondstoffenbasis.	6/8	Bio-route: Vergassing Niet bekend Reststromen als grondstof Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van waterstof (GWP 5) in de keten in onderzoek				
	E-fuel route: Afhankelijk van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit (elektrolyse); opschaling productie hernieuwbare waterstof moet nog plaatsvinden	E-fuel route: Productie van hernieuwbare waterstof beperkt beschikbaar; wordt komende jaren sterk uitgebreid in NL en EU.	E-fuel route: Hoge productiekosten Aantrekkelijkheid opschaling hangt af van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit; aantrekkelijk ten opzichte van koolstofhoudende e-fuels bij hoge CO ₂ -prijzen	5/6	E-fuel route: 30 - 92% meer emissies bij EU elektriciteitsnet (***) 90% bij 100% hernieuwbare elektriciteit (wind) E-fuel route (elektrolyse) kent een beperkte keten-efficiency; hoger bij brandstofcel (FC) (17-34%) dan bij ICE (13-26%) Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van waterstof (GWP 5) in de keten in onderzoek				

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Niet bekend	Niet bekend	<p>Rotterdam Gecomprimeerde waterstof (truck-to-ship) PRL 6 (kader gedemonstreerd); PRL 9 verwacht in 2027 (nov. 2023)</p> <p>Waterstof in containers PRL 4 (beleid besloten); PRL 9 (volledige integratie) verwacht in 2025-2026 (nov. 2023)</p> <p>Vloeibare waterstof (truck-to-ship) PRL 2 (markt interesse); PRL 9 (volledige integratie) verwacht in 2028 (nov. 2023)</p> <p>Waterstof is als industriële molecuul ruim beschikbaar in North Sea Port</p> <p>Gecomprimeerde waterstof bunkering in Haven Amsterdam</p> <p>Groningen Sea Ports onderzoek bunkering per vrachtwagen van (vloeibare) waterstof</p> <p>Haven Harlingen vergunning in aanvraag</p>	<p>Nieuwe bunker-infrastructuur nodig bij vulpunten; evt. wisselbare waterstof-containers.</p> <p>Handling van waterstof in brandstofsysteem, opslag en transport vraagt om gespecialiseerde apparatuur ivm benodigde compressie of liquefactie.</p> <p>Waterstof kan worden vervoerd in de vorm van waterstofdragers (o.a. methanol, methaan, ammonia, LOHC, natriumboor-hydride) die gemakkelijker zijn op te slaan en te transporteren.</p> <p>Bestaande aardgasleidingen kunnen geschikt worden gemaakt voor waterstof.</p> <p>Een Europees waterstofdistributienetwerk is in ontwikkeling.</p> <p>Er zijn al (private) waterstof-leidingen in NL en omliggende landen.</p>	<p>Nog geen regels/standaarden voor gebruik van waterstof op schepen; interim guidelines in ontwikkeling (MSC)</p> <p>MSC goedkeuring interim richtlijnen voor veiligheid van schepen met brandstofcel vermogensinstallaties</p> <p>Gasvorming en kan gemakkelijk ontvlambare mengsels vormen</p> <p>Waterstof brandt bij lage concentraties in lucht en met weinig energie aanvoer; explosierisico's</p> <p>Temperatuur bij cryogene opslag (- 253 oC)</p>	<p>Waterstof brandt bij lage concentraties in lucht en met weinig energie aanvoer; explosierisico's</p> <p>Temperatuur bij cryogene opslag (- 253 oC)</p> <p>Haven Amsterdam en North Sea Port hebben al bunker-regulering voor waterstof</p>	<p>Kwaliteitsnormen Geen gestandaardiseerde waterstofkwalificatie</p> <p>Eisen aan zuiverheid van waterstof: voor toepassing in H2-ICE hoeft de waterstof minder zuiver te zijn dan voor gebruik in PEM brandstofcel vanwege impact van onzuiverheden op de levensduur (SOFC wel toleranter)</p> <p>Beschikbaarheid regelgeving Gereed / enkele iteraties mogelijk ivm leren van opgeleverde installaties</p>	<p>Energie-dichtheid 120 MJ/kg (-253 oC, vloeibaar) (gewicht)</p> <p>8,5 MJ/liter (-253 oC, vloeibaar) (volume) (22% tov HFO; 24% tov diesel dus 76-78% lager)</p> <p>Luchtverontreinigende emissies Bij toepassing in ICE: geen/zeer lage emissies van SOx, NOx en PM Bij toepassing in brandstofcel: (nagenoeg) geen emissies van SOx, NOx en PM</p>	<p>Fossiele route Grijs: 15-17-18 Euro/GJ</p> <p>Fossiele route Blauw (CCS): 17-21-26 Euro/GJ</p> <p>Bepalende factoren: • Kosten CCS bij productie</p> <p>Bio-route vergisting: Niet bekend</p> <p>Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kosten biomethaan • Kapitaal-investering productie</p> <p>Bio vergassing: Niet bekend</p> <p>Bepalende factoren: • Kosten bio-grondstoffen • Kapitaal-investering productie</p> <p>E-fuel route: 31-45-64 Euro/GJ</p> <p>Bepalende factoren: • Prijs hernieuwbare elektriciteit • Productie-locatie • Transport-vorm</p>	Hoge investering nodig ivm waterstof gedreven schip

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten		Toepassing aan boord		
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL	WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL	Huidige toepassing
Ammoniak	Fossiele route Grijs: Grondstof aardgas (fossiele ammoniak) wereldwijd beschikbaar	Fossiele route: Grijs Grootschalige wereldwijde productie; veel import naar EU, beperkt naar NL; NL belangrijke productielocatie voor ammoniak uit aardgas.	Fossiele route: Grijs Afhankelijk van beschikbaarheid en prijzen aardgas Mogelijkheden voor opschaling beperkt ivm broeikasgasemissie	10	Fossiele route: Grijs 36% meer emissies dan de referentiewaarde Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van ammoniak in de keten (N ₂ O emissies met GWP 273)	Niet toepasbaar in bestaande ICE-CI; toepasbaar in dual fuel ICE (met diesel als pilot fuel; mogelijk later met waterstof) of in een brandstofcel (elektrische aandrijving, FCEV) of combinaties hiervan (bv ICE en SOFC) Aangepast materiaalgebruik in tanks, motoren en brandstofsysteem ivm corrosief karakter	Meer opslagvolume, lagere actieradius of vaker bunkeren nodig ivm ca. 65-67% lagere energiedichtheid tov diesel/HFO NB Energiedichtheid kan worden verhoogd door gebruik van CLO (Crude Lignin Oil) als blendcomponent	ICE & FC 4-6 (eerste demonstratieschepen moeten nog komen)	Nog geen toepassing van (e-)ammonia als scheepsbrandstof Eerste demonstratie (2-takt motoren) verwacht in 2024/2025 58 "ammonia ready" schepen in DNV Class (juli 2023)
	Fossiele route: Blauw (CCS) Grondstof aardgas wereldwijd beschikbaar	Fossiele route Blauw (CCS) Nog in ontwikkeling	Fossiele route Blauw (CCS) Afhankelijk van ontwikkeling CCS bij productie van waterstof	6/8	Fossiele route Blauw (CCS) Niet bekend Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van ammoniak in de keten (N ₂ O emissies met GWP 273)	Slechte ontbranding bij ammoniak als brandstof Verbrandingsmotoren en brandstofcellen voor ammoniak mogelijk complex, vooral kleinere; full range motoren ontwikkeling nodig.	Extra opslagvolume en daarbij compressie (tot ca. 10 bar) of koeling (tot ca. -33 oC) en veiligheidsmaatregelen hebben impact op scheepsdesign, laadvermogen en operationeel profiel; scheepsontwerp moet nog ontwikkeld worden		
	E-fuel route: Afhankelijk van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit/waterstof; opschaling productie hernieuwbare waterstof moet nog plaatsvinden	E-fuel route: Nog geen productie?	E-fuel route: Hoge productiecosten Aantrekkelijkheid opschaling hangt af van productiecapaciteit en prijzen van hernieuwbare elektriciteit; aantrekkelijk ten opzichte van koolstofhoudende e-fuels bij hoge CO ₂ -prijzen	5/6	E-fuel route: 70 - 98% (**) Mogelijke impact op broeikasgasprestatie van vrijkomen van ammoniak in de keten (N ₂ O emissies met GWP 273)	Toepassing vooralsnog verwacht op grote schepen en lange afstanden (diepzeevaart) met 2-takt motoren 2-takt en 4-takt motoren nog in ontwikkeling; toepassing in stoomboiler en brandstofcel (SOFC) nog lang ontwikkelpad (>2034)			
Elektrisch	Hernieuwbare elektriciteit in potentie in zeer groot volume beschikbaar. Afhankelijk van mogelijkheden voor uitbreiding productiecapaciteit hernieuwbare elektriciteit (o.a. zon, wind), inpassing in het net en energieopslag.	Veel productiecapaciteit van hernieuwbare elektriciteit maar nog sterke uitbreiding nodig voor elektrificatie van de energievoorziening in NL/EU	Aantrekkelijk vanwege lagere productiecosten, potentieel grote volumes en veel hogere ketenefficiency ten opzichte van e-fuels. Opschaling afhankelijk van mogelijkheden om nieuwe productiefaciliteiten te exploiteren en deze in te passen in het elektriciteitsnet, de capaciteit van het net en de uitrol laadinfrastructuur/walstroom.	9	Grote bandbreedte, afhankelijk van de elektriciteitsmix; bij 100% hernieuwbare elektriciteit 100% reductie van broeikasgasemissies mogelijk Ketenefficiency van directe elektrificatie (61-72%) zeer hoog	Aantrekkelijk ivm emissievrij en hoge efficiëntie. Elektrisch waarschijnlijk voorlopig niet geschikt voor grote vermogens en lange afstanden bij zeevarende schepen; geschikt voor kleinere schepen, korte afstanden, operaties op zee; wel in ontwikkeling voor afstanden tot 500 mijl. Hybride voorstuwing (diesel-elektrisch) kan gebruikt worden bij grote diepzee schepen om bij varen in havens lokale luchtverontreinigende emissies te reduceren	Groot ruimtebeslag van batterijen aan boord; gaat ten koste van laad volume/ruimte	7-9 (uitgebreid toegepast op kleine schepen)	Batterij-elektrische schepen in demonstratiefase, voornamelijk kleinere schepen 800 batterij-elektrische / hybride schepen in de vaart, 295 besteld (juli 2023)

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Fossiele ammoniak wereldwijd geproduceerd en getransporteerd MoU ondertekend om ammoniak bunkering op te zetten (start in 2030)	Nog in ontwikkeling	Rotterdam Vloeibare waterstof PRL 3 (voldoende informatie) PRL 9 (volledige integratie) verwacht in 2028 (nov. 2023) Ammoniak is als commodity ruim beschikbaar in North Sea Port	Infrastructuur voor verscheppen en opslag van ammonia bestaat al en bestaande LPG infrastructuur kan benut worden voor ammoniak; bunkering (ship-to-ship?) kan hierop aansluiten Compressie of liquefactie maakt infrastructuur meer complex met meer veiligheidsmaatregelen Gemakkelijk vloeibaar te maken (minder lage temperaturen) en te transporteren dan waterstof	Nog geen regels/standaarde; interim guidelines in ontwikkeling; aanpassing IGF code nodig Veiligheids- en operationele maatregelen moeten ontwikkeld worden voor veilig gebruik van ammoniak gebaseerd op IGF code eisen Gasvormig bij kamertemperatuur en zeer goed oplosbaar in water Zeer giftig bij inademen en contact met ogen en huid, en voor het (zee)milieu. Explosierisico's	Hoge toxiciteit; zeer giftig bij inademen en contact met ogen en huid, en voor het (zee)milieu. Explosierisico's	Kwaliteitsnormen Niet bekend Beschikbaarheid regelgeving Gereed / enkele iteraties mogelijk ivm leren van opgeleverde installaties.	Energie-dichtheid 18,6 MJ/kg (-33 oC, vloeibaar) (gewicht) 10,6 MJ/liter (45 oC, onder druk) 12,7 MJ/liter (-33 oC, vloeibaar) (volume) (33% tov HFO; 35% tov diesel dus 65-67% lager) Luchtverontreinigende emissies Bij toepassing in ICE: NOx en PM emissies onbekend, waarschijnlijk (nagenoeg) geen SOx-emissies Bij toepassing in brandstofcel: NOx emissies onbekend, (nagenoeg) geen PM en SOx emissies	Fossiele route Grijs: 14 Euro/GJ Fossiele route Blauw (CCS): 19 Euro/GJ Bepalende factoren: -Kosten CCS bij productie E-fuel route: 35-52-63 Euro/GJ Bepalende factoren: • Prijs hernieuwbare elektriciteit / waterstof	Hoge investering nodig ivm ammoniak gedreven schip
Laadinfrastructuur / walstroom	Laadinfrastructuur/walstroom	Uitrol walstroom in ontwikkeling (nav verplichtingen Europese regelgeving)	Aanleg/uitbreiding (laad) infrastructuur nodig. Mobiele oplossingen (batterij-containers) wellicht mogelijk (ook ivm opslag van elektriciteit aan de kade)	Specifieke veiligheidsmaatregelen voor batterijen in regulering: zoals ventilatie-systeem, batterij-monitoring, blussystemen/ isolatie tegen brand. Risico's groter bij groter vermogen	Specifieke veiligheidsmaatregelen voor batterijen in regulering: zoals ventilatie-systeem, batterij-monitoring, blussystemen/ isolatie tegen brand. Risico's groter bij groter vermogen	Kwaliteitsnormen Nog geen uniforme aansluitingen voor laden, harmonisatie nodig Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Energie-dichtheid Lage actieradius Luchtverontreinigende emissies Emissies van NOx, SOx en PM zijn 0.	Afhankelijk van prijs (hernieuwbare) elektriciteit	Hoge investering nodig ivm elektrisch aangedreven schip

Aspecten	Beschikbaarheid grondstof	Productieketen energiedrager			Duurzaamheidsaspecten	Toepassing aan boord			
		Beschikbaarheid energiedrager	Opschaalbaarheid	TRL		WTW broeikasgasemissiereductie Duurzaamheid	Compatibiliteit huidige aandrijflijn	Compatibiliteit huidige infrastructuur aan boord	TRL
Nucleair	Verrijkt uranium of thorium (meer beschikbaar en minder afval en minder risicovol dan uranium; nog onderzoek nodig voor verdere toepassing)	Niet commercieel haalbaar op dit moment en hoge initiële kosten.	Nog verdere ontwikkeling nodig voor opschaling. Eerste toepassingen mogelijk beschikbaar vanaf 2035.	3-5	Geen CO ₂ -emissies Afvalverwerking Publieke perceptie en acceptatie	Kernfusie/ stoomgenerator/ turbine of warmtegenerator (afhankelijk van reactor) Eerste toepassingen mogelijk vanaf 2035	Zeer grote actieradius (15-25 jaar zonder tanken) Vraagt om aanpassingen aan schip, beschermd compartiment rondom reactor nodig. Op termijn mogelijk meer modulair	Afhankelijk van type reactor. Vooraf voor (zeer) grote schepen ivm grootte en gewicht van de mantel van de reactor 7-9 (militaire schepen) Small medium reactors (2-3)	Toepassing tot nu toe bij o.a. militaire schepen, momenteel ca. 160 schepen; momenteel geen civiele schepen met nucleair aandrijfsysteem Generatie IV reactoren in modulair ontwerp (SMR)
Wind assisted propulsion systemen (WAPS)	Direct gebruik van windenergie	Toepassing op enkele tientallen schepen	Windaandrijf-systemen met 20-30% brandstofbesparing grote kans om breder te worden toegepast; schepen die met windaandrijving een besparing van 50% of meer bereiken zullen waarschijnlijk een niche blijven in de markt WAPS wordt in FuelEU Maritime gestimuleerd met een "reward factor"	Sommige technieken in 2025 commercieel TRL/CRL Afhankelijk van technische optie	Draagt bij aan brandstofbesparing (5-15% per jaar) op het schip en dus lagere emissies; besparing kan ook in orde 20-30% of zelfs 50% of meer zijn afhankelijk van de techniek	Voor systemen die 5-10% brandstofbesparing opleveren zijn weinig aanpassingen nodig aan boord Bij meer aandrijving uit de wind zijn meer aanpassingen aan schip en ontwerp nodig	Vooraf nuttig bij cargo-schepen en tankers die lange afstanden varen Veel dek-oppervlakte nodig	6-9 Sommige technieken in 2025 commercieel TRL/CRL Afhankelijk van technische optie	Momenteel 28 commerciële schepen met WAPS, ca. 50% rotor zeil techniek en met name retrofit Eerste contracten getekend voor sterk aangepaste schepen met wind als primaire aandrijving met besparing van 50% of meer Verdubbeling verwacht in toepassing van WAPS in komende jaren

Bunkermogelijkheden		Bunkerpositie NL	Infrastructuur / toepassing aan wal	Veiligheid		Kwaliteitsnormen Beschikbaarheid regelgeving voor toepassing aan boord	Energiedichtheid brandstof Luchtverontreinigende emissies	Brandstofproductiekosten	Investeringskosten voor de reder
Wereldwijd	EU			Schip	Wal				
Niet bekend	Niet bekend	Haven Rotterdam niet beschikbaar op korte tot middellange termijn	Aanleg nieuwe infrastructuur, met name gericht op veilige afvalverwerking.	Nog geen regels voor gebruik van nucleair aandrijfsysteem op een schip; update SOLAS nodig Generatie IV voor nucleair gebruik is intrinsiek veilig, maar grote veiligheidsrisico's		Kwaliteitsnormen Nog veel onduidelijkheden op het gebied van certificering Beschikbaarheid regelgeving Geen up-to-date maritieme commerciële regelgeving beschikbaar op het moment. Maar veel ervaring met nucleaire maritieme installaties en goed begrip van haar risico's. Een technisch regelgeving framework zou redelijk eenvoudig op te zetten zijn wanneer nuclear een commercieel beschikbaar product wordt	Energie-dichtheid Zeer hoge vermogens-dichtheid Luchtverontreinigende emissies Emissies van NOx, SOx en PM zijn 0.	Niet bekend	Hoge investering nodig ivm nucleair aangedreven schip
Nvt	Nvt	Nvt	Nvt	Niet bekend	Niet bekend	Kwaliteitsnormen Niet bekend Beschikbaarheid regelgeving Gereed / volwassen	Nvt	Niet bekend	Afhankelijk van technische optie

2.4 GERAADPLEEGDE BRONNEN VOOR DE KANSENTABEL

- 't Hart, Pieter (NL Maritiem Kennis Centrum, MKC, 2022): Outlook on green methanol for shipping. Presentatie 19-05-2022. [Presentation \(hernieuwbarebrandstoffen.nl\)](#)
- Advanced Motor Fuels (AMF) informatie over brandstofeigenschappen bio-butanol als transportbrandstof [AMF \(iea-amf.org\)](#)
- Alvarez Alberdi, Angel (EWABA, 2022): The Contribution of Waste-based and Advanced Biodiesel to the Decarbonization of Maritime Transport. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 19-09-2022. [PowerPoint Presentation \(eu-shipping-bce.com\)](#).
- Bezergianni, Stella (CERTH, 2022): Low carbon fuels for maritime transport. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 19-09-2022. [Biofuels & Biorefineries \(eu-shipping-bce.com\)](#).
- Bikos, Stelios (HECC, 2022): Energy competence in the service of shipping. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 19-09-2022. [EKI – Νέος Διαχειριστής \(eu-shipping-bce.com\)](#)
- Breneol, Armelle, et al (2022): Marine Fuel Stability and Compatibility – Issues, Tests and Management. Exxon Mobil. <https://www.exxonmobil.com/marine/-/media/files/global/us/marine/news-and-resources/marine-fuel-stability-and-compatibility.pdf>
- Bunse, Mark (2021): Sustainable supply chains for maritime biofuels. Insights into the link between technology and feedstocks. [2021_PDB_Bunse_Sustainable-supply-chains-for-maritime-biofuels.pdf \(platformduurzamebiobrandstoffen.nl\)](#)
- Carvalho, Eric de, et al (2023). EverLoNG: Regulatory review and CO₂ hazards. [Home | EverLoNG \(everlongccus.eu\)](#)
- Caterpillar (2023): Sviter and Caterpillar team up to test 100% biofuel operation. [Sviter and Caterpillar team up to test 100% Biofuel Operation | Cat | Caterpillar](#)
- DNV (2022): Maritime forecast to 2050 – 2022 edition. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)
- DNV (2023): Emerging alternative ship fuels – focus on methanol and biofuels. Webinar 28-2-2023 en slide deck. [Emerging alternative ship fuels – focus on methanol and biofuels - DNV](#)
- DNV (2023): Maritime forecast to 2050 – 2023 edition. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)
- DNV (2023): White paper biofuels in shipping. [Biofuels in Shipping - DNV](#)
- E4Tech (2018): Masterplan for CO₂ reduction in the Dutch shipping sector. [Microsoft Word - 18_1011_E4tech_PDB-Masterplan_FinalReport_v6.0_FV_met_dutch_summary.docx \(platformduurzamebiobrandstoffen.nl\)](#)
- ETIP Bioenergy informatie over biobutanol: [Biobutanol \(etipbioenergy.eu\)](#)
- EurObserver (2022): RES in transport barometer. <https://www.eurobserv-er.org/pdf/res-in-transport-barometer-2021/>
- European Commission (2018): Renewable Energy Directive (REDII). [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 \(europa.eu\)](#)
- European Commission (2023): Innovation Fund - SOL: Sugar Oil as sustainable marine fuels. Vertoro project. [101103462.pdf \(europa.eu\)](#)
- European Commission (2023): Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC. [Regulation - 2023/1805 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#) (FuelEU Maritime)
- European Commission (2023): Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652. [Directive - EU - 2023/2413 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#) (REDIII)
- Fluor (2023): Large scale industrial ammonia cracking plant. [large-scale-industrial-ammonia-cracking-plant.pdf \(portofrotterdam.com\)](#)
- Gravalos et al (2008): Energetic study on animal fats and vegetable oils using combustion bomb calorimeter. [119060 \(dergipark.org.tr\)](#)
- Havenbedrijf Amsterdam/DNV (2021): Onderzoek externe veiligheid bunkeren van alternatieve brandstoffen voor de zeescheepvaart. [DNV POA Finaal Rapport Onderzoek externe veiligheid bunkeren van alternatieve brandstoffen voor de zeescheepvaart_Rev1_19-04-2021.pdf \(portofamsterdam.com\)](#)
- Havenbedrijf Rotterdam (2024): Bunker sales Port of Rotterdam 2021-2023. [bunkersales-2021-2023_0.pdf \(portofrotterdam.com\)](#)
- Heijstra, Björn (Lanzatech, 2022): Lanzatech - Carbon-based fuels from various industrial feedstocks. Presentatie 19-05-2022. [Presentation \(hernieuwbarebrandstoffen.nl\)](#)
- Houtkoop, Koen (2022): Thesis: nuclear reactors for marine propulsion and power generation systems. TU Delft. [Nuclear reactors for marine propulsion and power generation systems | TU Delft Repositories](#)
- Howarth, Robert, et al (2021): How green is blue hydrogen? [How green is blue hydrogen? - Howarth - 2021 - Energy Science & Engineering - Wiley Online Library](#)
- IEA (2022): Hydrogen projects database. [Hydrogen Projects Database - Data product - IEA](#)
- IEA Bioenergy Task 39 (2017): Biofuels for the marine shipping sector. [Marine-bio-fuel-report-final-Oct-2017.pdf \(ieabioenergy.com\)](#)

- IEA Bioenergy Task 39 (2021): Progress towards biofuels for marine shipping: [Progress-towards-biofuels-for-marine-shippingT39-report_June-2021_Final.pdf](#) (ieabioenergy.com)
- IEA Bioenergy Task 39: BEST database on facilities for the production of advanced liquid and gaseous biofuels for transport. [Task 39 - Database \(best-research.eu\)](#) (actueel overzicht)
- IEA Bioenergy Task 41 (2020): Advanced biofuels – Potential for cost reduction. zie: [T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf](#) (ieabioenergy.com)
- International Council on Clean Transportation (ICCT, 2020): Working paper 2020-21 The potential of liquid biofuels in reducing ship emissions. [The potential of liquid biofuels in reducing ship emissions - International Council on Clean Transportation](#) (theicct.org)
- International Council on Clean Transport (ICCT, 2022): Comparing the future demand for, supply of, and life-cycle emissions from bio, synthetic, and fossil LNG marine fuels in the European Union. [Renewable-LNG-Europe_report_FINAL.pdf](#) (theicct.org)
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KIM, 2022): Energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit (brochure). [Energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit | Publicatie | Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid \(kimnet.nl\)](#)
- Kokarakis, John (Bureau Veritas, 2022): Regulatory insights on ammonia as a marine fuel. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 19-09-2022. [PowerPoint Presentation \(eu-shipping-bce.com\)](#)
- Kokossis, A., S. Kiartzis (NTUA/Hellenic Petroleum, 2022): On the use of hydrothermal liquefaction (HTL) to produce sustainable biofuels for the shipping industry: a new pilot and collaborative scheme between the refinery industry and NTUA. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 20-09-2022. [THIS IS YOUR PRESENTATION TITLE \(eu-shipping-bce.com\)](#).
- Könemann, Jan-Willem (TNO, 2022). TNO: Electricity to carbon fuels - methanol / DME / kerosene jet fuel. Presentatie 19-05-2022. [Presentation \(hernieuwbare-brandstoffen.nl\)](#)
- Kouris, Panos (Vertoro, 2022). Cost-competitive and RED II-IXA-compliant marine fuel solutions from lignocellulosic biomass. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 19-09-2022. [Vertoro \(eu-shipping-bce.com\)](#)
- Liapis, Nikolaos (ELINOIL, 2022): New energy products for shipping: Is supply feasible and secured?. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 20-09-2022. ["New energy products for shipping: Is supply feasible and secured?" \(eu-shipping-bce.com\)](#)
- Litinas, Alexandros (Elin Verd, 2022): Waste-based biodiesel: A viable and prompt solution for decarbonizing maritime transport. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 19-09-2022. [PowerPoint Presentation \(eu-shipping-bce.com\)](#).
- Lloyd's Register (2022): IMO Carriage of Cargoes & Containers, Eighth session (CCC8) - Summary Report. https://maritime.lr.org/e/941163/CCC-8-Summary-Report/53vtr/623615668?h=0Ab806f1xQ5ByUYqcLsbpYLbSHmFwx5Nqj0iRg_Zzg
- Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (2022): Bio-oils as marine fuel - Prospects for the shipping industry. [Bio Oils Documentation for NavigaTE 1.0 | Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping](#)
- MKC, TUDelft, GoodFuels (2022): Final report – bio-ethanol as an alternative fuel for vessels. [Report_MIIIP004_2022_BioEOHpublic.pdf \(tudelft.nl\)](#)
- Molenbroek, Ruud (BTG, 2022): BTG Bioliquids: The potential to scale pyrolysis oil for various transport fuels. Presentatie 19-05-2022. [Presentation \(hernieuwbare-brandstoffen.nl\)](#)
- Nederlandse Emissieautoriteit (NEa, 2022): Rapportage Energie voor Vervoer 2021. https://www.emissieautoriteit.nl/binaries/nederlandse-emissieautoriteit/document/publicatie/2022/07/01/totaalrapportage-energie-voor-vervoer-2021/NEA+Rapportage+Energie+voor+Vervoer+2021_v1.0_15062022.PDF
- Nieuwbericht Lloyd's Register (mei 2023): [LR, SDARI and MAN ES join forces on ammonia containership | LR](#)
- Nieuwsbericht Havenbedrijf Rotterdam (juli 2023): [Ook X-Press Feeders gaat groene methanol bunkeren bij OCI Global in Rotterdam | Port of Rotterdam](#)
- Nieuwsbericht MAN (2021): World's first bunkering of containership with renewable synthetic natural gas advances sustainable shipping. [World's first bunkering of containership with renewable synthetic natural gas advances sustainable shipping \(man-es.com\)](#)
- Nieuwsbericht Offshore Energy (2022): Unifeeder bunkers VARO's renewable biofuel in 'major decarbonisation move'. [Unifeeder bunkers VARO's renewable biofuel in 'major decarbonisation move' - Offshore Energy \(offshore-energy.biz\)](#)
- Nieuwsbericht Wagenborg (mei 2023): [Wagenborg's First Atlantic Crossing on Biofuels – Heavy Lift News](#)
- Obydenkova, Svetlana, et al (2022): Environmental and Economic Assessment of a Novel Solvolysis-Based Biorefinery Producing Lignin-Derived Marine Biofuel and Cellulosic Ethanol. [Energies | Free Full-Text | Environmental and Economic Assessment of a Novel Solvolysis-Based Biorefinery Producing Lignin-Derived Marine Biofuel and Cellulosic Ethanol \(mdpi.com\)](#)
- Platform Hernieuwbare Brandstoffen (2021). Presentatie slide "Background data and references"; GHG reduction estimate (vs. HFO). [Resources – Platform Hernieuwbare Brandstoffen](#)
- Platform Hernieuwbare Brandstoffen: Een kaart van productiecapaciteit biobrandstoffen en e-fuels in Nederland. [News \(hernieuwbarebrandstoffen.nl\)](#) (actueel overzicht)

- Reumermann, Patrick (Biomass Technology Group, BTG, 2022): Pyrolysis oil production and upgrading to renewable marine fuel. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 20-09-2022. [PowerPoint-Präsentation \(eu-shipping-bce.com\)](#)
- Somers, Bart (TU Eindhoven, 2022): TU Eindhoven: Challenges of applying novel fuels in engines – options beyond hydrogen. Presentatie 19-05-2022. [Presentation \(hernieuwbarebrandstoffen.nl\)](#)
- Square Commodities (2022). Square Commodities, Issue no. 22, 14 april 2022. [Square Commodities | Renewable Fuels Markets Intelligence](#)
- SubGroup Advanced Biofuels (2018): Building up the future (inschatting TRL niveaus Tabel 16). [untitled \(artfuelsforum.eu\)](#)
- TNO (2021): Green Maritime Methanol: Towards a zero emission shipping industry. <https://publications.tno.nl/publication/34637808/eJBbD9/harmsen-2021-maritime.pdf> en voor alle rapporten: [Reports – green maritime methanol](#)
- TNO (2021): Verkenning brandstoftransitie zeevaart. <https://publications.tno.nl/publication/34639986/WEU67r/TNO-2021-P10979.pdf>
- TNO, MKC en TU Delft (2020): Assessment of alternative fuels for seagoing vessels using Heavy Fuel Oil. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:531f5251-4841-4109-9e06-4338b78fdf70/datastream/OBJ/download>
- TNO, Voltachem en Smartport (2020): E-fuels - Towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation. <http://publications.tno.nl/publication/34636875/KDhcac/vankranenburg-2020-efuels.pdf>
- TNO/Gerritse et al (2023): Green maritime methanol – a call for action. [Rapport: Varen op groene methanol binnenkort mogelijk \(tno.nl\)](#)
- UIUC (2021): Nieuwsbericht [New biobutanol production technology increases yield while lowering cost | Bioengineering | UIUC \(illinois.edu\)](#)
- Visser, Klaas (2022): Energietransitie: stand van zaken technologie. Presentatie Platform Schone Scheepvaart 22 november 2022.
- Website ChangeInc (2020). [Uitstootvrije Japanse rondvaartboten varen op ammoniak uit waterstof | Change Inc.](#)
- Website ERCE News: [IPCC Sixth Assessment Report \(AR6\) Global Warming Potentials - \(errevolution.energy\)](#)
- Website Eurisles (november 2022). [Nieuwe partner sluit zich aan bij het Noorse Ammoniak-aangedreven Short Sea Shipping-project - Eurisles](#)
- Website Jupiter 1000: [English | Jupiter1000](#)
- Website Maritiem Nederland (2021). [Klimaatneutraal schip in 2023: 'eerst zien, dan geloven' | Maritiem Nederland](#)
- Website OG Clean Fuels: [OG maakt haar eigen 100% Bio-CNG \(Groengas\) - OG \(ogcleanfuels.com\)](#)
- Website Technische Universiteit Delft (TUD): AmmoniaDrive concept. [Ammonia](#)

[Drive \(tudelft.nl\)](#)

- Wermuth, Nicole (Large Engines Competence Center, LEC, 2022): HyMethShip – A methanol-hydrogen propulsion concept for sustainable shipping. Presentatie EU-Shipping-BCE conferentie 20-09-2022. [PowerPoint-Präsentation \(eu-shipping-bce.com\)](#)
- Wikipedia (2023): [Pyrolysis oil - Wikipedia](#)
- Wikipedia (2023). [Compressed natural gas - Wikipedia.](#)

B.5 Geraadpleegde bronnen voor bandbreedtes voor brandstofproductiekosten

- Bunse, Mark (2021): Sustainable supply chains for maritime biofuels. Insights into the link between technology and feedstocks. [2021_PDB_Bunse_Sustainable-supply-chains-for-maritime-biofuels.pdf \(platformduurzamebiobrandstoffen.nl\)](#)
- CE Delft (2022): 50% green hydrogen for Dutch industry. [CE_Delft_210426_50_percent_green_hydrogen_for_Dutch_industry_FINAL.pdf \(cedelft.eu\)](#)
- CE Delft (2021): Availability and costs of liquefied bio- and synthetic methane – the maritime shipping perspective. [CE_Delft_190236_Availability_and_costs_of_liquefied_bio-_and_synthetic_methane_Def.pdf \(cedelft.eu\)](#)
- CE Delft en Ecorys (2021): Assessment of impacts from accelerating the uptake of sustainable alternative fuels in maritime transport – final report. [CE_Delft_Ecorys_200249_Final_Report.pdf](#)
- Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) (2023): Monitoring renewable energies in transport. [DBFZ Report No. 44: Monitoring renewable energies in transport](#)
- Guidehouse (2021): Assessment of the potential of RFNBOs and RCFs over the period 2020 to 2050 in the EU transport sector. [Technical assistance to assess the potential of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin \(RFNBOs\) as well as recycled carbon fuels \(RCFs\), to establish a methodology to determine the share of renewable energy from RFNBOs as well as to develop a framework on additionality in the transport sector - Publications Office of the EU \(europa.eu\)](#)
- IEA Bioenergy Task 41 (2020): Advanced biofuels – Potential for cost reduction. zie: [T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf \(ieabioenergy.com\)](#)
- International Renewable Energy Agency (IRENA) en Methanol Institute (2021). Innovation outlook renewable methanol. [Innovation Outlook: Renewable Methanol \(irena.org\)](#)
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KIM, 2022): Energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit (brochure). [Energieketens voor CO₂-neutrale mobiliteit | Publicatie | Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid \(kimnet.nl\)](#)
- Lloyd's Register / UMAS (2019): Fuel production cost estimates and assumptions. [Lloyds-Register_2019_Fuel-production-cost-estimates-and-assumptions-report.pdf](#)

sustainableworldports.org)

- Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (2022): Bio-oils as marine fuel - Prospects for the shipping industry. [Bio Oils Documentation for NavigaTE 1.0 | Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping](#)
- MKC, TUDelft, GoodFuels (2022): Final report – bio-ethanol as an alternative fuel for vessels. [Report_MIIP004_2022_BioEOHpublic.pdf \(tudelft.nl\)](#)
- Mukherjee, et al (2023): Techno-economic competitiveness of renewable fuel alternatives in the marine sector. [Techno-economic competitiveness of renewable fuel alternatives in the marine sector - ScienceDirect](#).
- SmartPort (2021): Transition to e-fuels: a strategy for the Harbour Industrial Cluster Rotterdam. [SmartPort_TNO_Voltachem-Transition-to-e-fuels_final.pdf](#)
- Studio Gear Up (2021): Conversion efficiencies of fuel pathways for Used Cooking Oil. [Used cooking oil: one feedstock, different renewable fuels – a comparative study > studio Gear Up](#).
- Studio Gear Up (2022): 'To drop-in or to adapt' Total cost of ownership of renewables in heavy-duty trucks A first overview of fuel/powertrain combinations. [22_0324_sGU_TCO-analysis-Annex-report_final.pdf \(studiogearup.com\)](#)
- TNO (2020): Demand for Renewable Hydrocarbons in 2030 and 2050. www.tno.nl
- TNO, MKC en TU Delft (2020): Assessment of alternative fuels for seagoing vessels using Heavy Fuel Oil. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:531f5251-4841-4109-9e06-4338b78fdf70/datastream/OBJ/download>
- TNO, Voltachem en Smartport (2020): E-fuels - Towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation. <http://publications.tno.nl/publication/34636875/KDhcac/vankranenburg-2020-efuels.pdf>
- Website ICE Dutch TTF Natural Gas Futures. [Dutch TTF Natural Gas Futures Pricing \(ice.com\)](https://www.ice.com)
- [Website Ship & Bunker: Rotterdam Bunker Prices - Ship & Bunker \(shipandbunker.com\)](#)
- Website Square Commodities: [Home | Square Commodities Square Commodities | Renewable Fuels Markets Intelligence](#)



Bijlage 3

Toelichting berekeningen
ontwikkeling alternatieve
energiedragers



Deze bijlage dient als toelichting op de figuur met de verwachte vraagontwikkeling van alternatieve energiedragers, [Figuur 9](#) in paragraaf 3.2.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de doelstellingen van de verschillende instrumenten die zijn meegenomen in de analyse van de benodigde hoeveelheden energie:

		2025	2030	2035	2040	2045	2050
IMO	CO ₂ -reductiedoel		20%		70%		100%
	Energiedoel		5%				
EU							
FuelEU Maritime	Doel reductie WTW BKG Intensiteit	2%	6%	14,5%	31%	62%	80%
RED	Doel reductie WTW BKG Intensiteit		14,5%				

Voor de berekening en de weergave in de figuur van de benodigde hoeveelheden energie aan alternatieve energiedragers zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De lijnen in de figuur kennen voor 2019-2022 hetzelfde verloop, gebaseerd op historische gegevens (gebaseerd op NPE voor 2019 en KEV2022/2023 voor 2020-2022).
- IMO en FuelEU Maritime kennen doelstellingen voor 2050 en tussenliggende jaren. In de figuur is tussen deze jaren geïnterpoleerd.
- In de figuur is, naast de energie benodigd voor de IMO en de FuelEU Maritime doelen, weergegeven welke energie nodig is voor 2030 en 2050 (interpolatie daartussen voor 2040) voortkomend uit de doorrekening van lenW voor het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) op basis van huidig beleid. Hierbij is uitgegaan van de vorige IMO doelstelling van 50% CO₂-reductie in 2050 ten opzichte van 2008 en op onderliggende gegevens van PBL, CE Delft en DNV.
- De doelen van IMO zijn op dit moment nog niet gedefinieerd of verder uitgewerkt dus voor deze analyse zijn aannames gedaan hoe deze te interpreteren. Bij IMO is voor 2030 alleen het doel van 5% “zero and near zero Greenhouse Gas fuels and technologies” meegenomen en er is aangenomen dat dit een energie-aandeel betreft dat wordt ingevuld met alternatieve energiedragers (het “streven naar 10%” is niet meegenomen in deze analyse, maar betekent een verdubbeling van de benodigde hoeveelheid ten opzichte van 5%). Het doel voor 2030 van 20% CO₂-emissiereductie – waar de inzet van alternatieve energiedragers aan moet bijdragen is niet apart meegenomen in de analyse. Voor het doel van 70% CO₂-emissiereductie in 2040 is aangenomen dat dit een tank-to-wake doelstelling betreft en dat de helft

hiervan wordt bereikt door inzet van alternatieve energiedragers (met een tank-to-wake CO₂-emissie van nul) en de andere helft door energiebesparing [DNV 2023].

- Omwille van de eenvoud van de berekening is geen onderscheid gemaakt naar brandstoftypen binnen de brandstofmix (en is er één gemiddelde waarde aangenomen voor de broeikasgasemissiereductie in de keten voor de brandstofmix als geheel). Mogelijke variaties in de brandstofmix kunnen echter wel een significante impact hebben op de berekende energievraag van alternatieve energiedragers. Zo is bij veel inzet van LNG een grotere hoeveelheid alternatieve energiedragers nodig, vanwege de relatief lage reductie van broeikasgasemissies door LNG (zie FuelEU Maritime, Annex II). Als RFNBO's een rol spelen in de brandstofmix, dan is de totale benodigde hoeveelheid alternatieve energiedragers kleiner omdat deze synthetische hernieuwbare brandstoffen/e-fuels dubbel meetellen voor de doelen van FuelEU Maritime, in elk geval tot en met 2030.
- Voor de omrekening van de doelen voor reductie van de broeikasgasintensiteit (well-to-wake) van energiedragers voor FuelEU Maritime is uitgegaan van een gemiddelde reductie van de broeikasgasemissies in de keten van 70% voor de brandstofmix van alternatieve energiedragers voor de periode 2025-2034 en van 80% voor de periode 2035-2050. Bij een hogere gemiddelde reductie van de ketenemissies is de benodigde hoeveelheid uiteraard lager. Er is hierbij geen verder onderscheid gemaakt tussen typen alternatieve energiedragers.
- Voor FuelEU Maritime is aangenomen dat tweederde van de in Nederlands geleverde bunkerbrandstoffen onder de reikwijdte van de verordening valt. Hierbij is rekening gehouden dat vooralsnog alleen schepen groter dan 5000 bruto tonnage hieronder vallen en dat reizen binnen de EU voor 100% meetellen en reizen van en naar de EU voor 50% (deze laatste categorie omvat tweederde van de CO₂-emissies van de schepen binnen de reikwijdte van EU-MRV⁹³).
- De REDIII heeft alleen een doelstelling voor 2030 van 14,5% reductie van de broeikasgasintensiteit door middel van inzet van hernieuwbare energiedragers in transport (of een hernieuwbare energie-aandeel in de transportsector van 29%). Deze is van toepassing op brandstoffen geleverd aan alle vormen van vervoer, dus niet alleen aan zeevaart (waarbij voor zeevaart wel een maximum van toepassing is van 13% van het bruto nationale energiegebruik). Omdat de REDIII een richtlijn is die door de lidstaten in nationale regelgeving moet worden geïmplementeerd, kan Nederland zelf bepalen wat de verdeling wordt van de bijdragen aan die totale doelstelling over de verschillende sectoren in transport. Hiervoor is het Nederlandse traject voor de implementatie van de REDIII nog geen definitief besluit over genomen.

⁹³ CE Delft / Ecofys (2021): Assessment of the impacts from accelerating the uptake of sustainable alternative fuels in maritime transport. [CE_Delft_Ecofys_200249_Final_Report.pdf](#) (paragraaf 2.1)

Bijlage 4

Internationale beleidskaders



INHOUD

Inleiding

1 International Maritime Organization (IMO) 136

1.1	MEPC en MARPOL Annex VI	136
1.2	Huidig instrumentarium (SEEMP, EEDI, EEXI, CII, IMO DCS)	136
1.2.1	SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan	136
1.2.2	EEDI: Energy Efficiency Design Index	136
1.2.3	EEXI: Energy Efficiency Existing Ship Index	137
1.2.4	CII: Carbon Intensity Indicator	137
1.2.5	Dataverzameling over brandstofgebruik en broeikasgasemissies (IMO DCS)	137
1.3	Herziene broeikasgasstrategie en toekomstig instrumentarium	138
1.3.1	Ambities van de herziene strategie van 2023	138
1.3.2	Ontwikkeling van een aanvullend instrumentarium	139
1.3.3	IMO "Life Cycle GHG assessment guidelines"	139
1.4	Regulering van luchtverontreinigende emissies	139
1.4.1	SO _x -emissies	139
1.4.2	NO _x -emissies	140

2 Europese Unie 140

2.1	Europese Green Deal en "Fit for 55"	140
2.2	EU-MRV: Verordening monitoring, rapportage en verificatie CO ₂ -emissies	142
2.2.1	Herziening EU-MRV in 2024	142
2.3	AFID/AFIR: infrastructuur voor alternatieve brandstoffen	142
2.3.1	AFID: Richtlijn infrastructuur voor alternatieve brandstoffen	142
2.3.2	AFIR: Verordening infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (herziening)	142
2.4	EU zwavelrichtlijn: Richtlijn voor reductie van zwavelhalte brandstoffen	143
2.5	FuelEUMaritime: Verordening voor alternatieve brandstoffen zeevaart	143
2.6	REDII/REDIII: Richtlijn voor hernieuwbare energie - transport	145
2.6.1	REDII: Richtlijn voor hernieuwbare energie - transport	145

134

136

136

136

136

136

137

137

137

137

138

138

139

139

139

140

140

140

142

142

142

142

142

143

143

145

145

2.6.2	Vrijwillige inboekbevoegdheid ("opt-in") voor zeevaart in nationale systematiek	145
2.6.3	REDIII: Richtlijn voor hernieuwbare energie – transport (herziening)	146
2.6.4	Verschillen tussen REDIII en FuelEU Maritime	146
2.7	EU-ETS: Europese CO ₂ -emissiehandelsstelsel (uitbreiding naar zeevaart)	148
2.7.1	Werking van EU-ETS	148
2.7.2	Zeevaart in EU-ETS	148
2.8	ETD: Richtlijn energiebelastingen (herziening)	149
2.9	Duurzaamheidsrapportage en duurzaamheidskader	149
2.9.1	CSR: Europese richtlijn voor duurzaamheidsrapportage	149
2.9.2	EU Taxonomie voor duurzame activiteiten	149

3 Geraadpleegde bronnen 150

INLEIDING

Disclaimer

Dit overzicht van internationaal beleid is gemaakt door RVO ten behoeve van de Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart. Dit niet-uitputtende overzicht betreft een momentopname (tot en met maart 2024).

Zeevaart maakt momenteel vrijwel uitsluitend gebruik van fossiele brandstoffen en is verantwoordelijk voor ca. 3% van de wereldwijde emissies van broeikasgassen, waaronder CO₂. Zonder verdere maatregelen zullen de broeikasgasemissies van internationale zeevaart de komende decennia verder toenemen. Broeikasgasemissies kunnen worden gereduceerd door bijvoorbeeld operationele maatregelen, zoals langzamer varen, en nieuwe schepen met een energie-efficiënter ontwerp. Om echter naar een klimaatneutrale zeevaart in 2050 te kunnen gaan, moet de maritieme sector een transitie maken van fossiele brandstoffen naar alternatieve brandstoffen met een zo laag mogelijke broeikasgasemissie in de keten ("well-to-wake"). Vanwege haar internationale karakter is hiervoor internationale regelgeving nodig, bij voorkeur op mondiaal niveau.

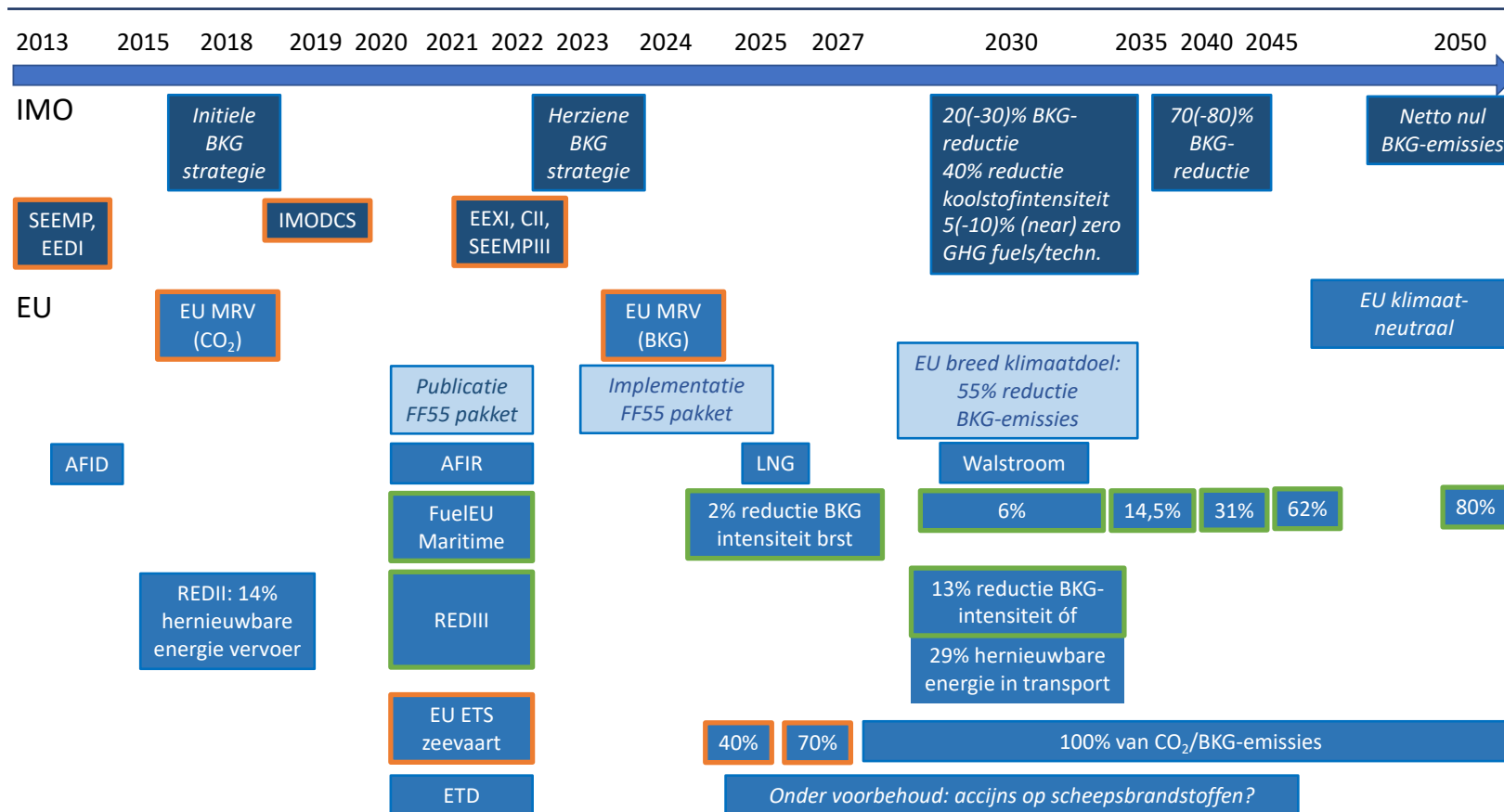
Dit beleidsoverzicht beschrijft de internationale regelgeving gericht op het reduceren van broeikasgasemissies van schepen en/of het stimuleren van toepassing van alternatieve brandstoffen in zeevaart, zowel op mondiaal (IMO) als Europees niveau (EU, o.a. "Fit for 55"). Figuur 1 geeft in een tijdslijn een overzicht van wanneer welke instrumenten in werking zijn getreden/zullen treden.

Naast deze instrumenten wordt in dit document ook kort aandacht besteed aan maatregelen die zich richten op reductie van luchtverontreinigende emissies, zoals zwaveloxiden (SO_x), stikstofoxiden (NO_x) en deeltjes (PM). Deze instrumenten richten zich weliswaar niet op reductie van broeikasgasemissies, maar hebben wel impact op de brandstofkeuze op schepen. Immers, luchtverontreinigende emissies kunnen enerzijds worden verminderd door maatregelen aan boord van een schip, bijvoorbeeld door gebruik van een efficiëntere motor of van nabehandelings-technieken, en anderzijds door keuze voor alternatieve brandstoffen die zwavelvrij zijn en/of een lagere NO_x-emissies met zich meebrengen dan conventionele scheepsbrandstoffen.

In aanvulling op regelgeving die zich specifiek richt op reductie van emissies in zeevaart, geven ook andere Europese beleidskaders een stimulans voor verduurzaming van de zeevaart, zoals de Europese richtlijn voor duurzaamheidsrapportage en de Europese Taxonomie voor duurzame activiteiten en investeringen. Deze instrumenten worden in dit document ook kort beschreven.

Verduurzaming van de zeevaart krijgt ook een impuls door Europese onderzoeks- en innovatieprogramma's en – fondsen (o.a. Horizon Europe, Innovation Fund) en door initiatieven vanuit de markt zoals de Poseidon Principles en SBTi (Science Based Targets Initiative). Deze worden in dit document niet verder besproken.

Figuur 1 Tijdslijn met maatregelen gericht op reductie van broeikasgasemissies van zeevaart op wereldwijd (IMO) en Europees (EU) niveau



Toelichting:

- Gekleurde kaders, groen = well-to-wake (WTW) emissies, oranje = tank-to-wake (TTW) emissies, geen kleur = onbekend / nader te bepalen;
- Instrumenten richten zich op reductie van CO₂-emissies tenzij "BKG" aangegeven is; BKG = broeikasgasemissies, dus emissies van CO₂, CH₄ en N₂O uitgedrukt in CO₂-equivalenten;
- De percentages in de figuur bij EU-ETS hebben betrekking op de fasering voor het onderbrengen van zeevaart in de uitbreiding van EU-ETS, namelijk welk percentage van de gerapporteerde CO₂-/ broeikasgasemissies van zeevaart in welk jaar onder ETS gaat vallen. Met ingang van 2027 is dit 100%.
- Huidige instrumenten en doelen zijn opgenomen in de figuur; informatie over toekomstige herzieningen is te vinden in de beschrijvingen van de instrumenten in Hoofdstuk 1 en 2.

1 INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO)

1.1 MEPC EN MARPOL ANNEX VI

Op mondiaal niveau is de International Maritime Organization (IMO), een gespecialiseerd agentschap van de Verenigde Naties, verantwoordelijk voor het regelgevende kader voor internationale scheepvaart (kustvaart, diepzeevaart, zeehavens). Binnenvaart en binnenlandse havens vallen hier niet onder.

IMO regulering omvat onder andere veiligheid, efficiency en milieuaspecten. Binnen IMO is het Marine Environment Protection Committee (MEPC) belast met alle aspecten die te maken hebben met preventie en regulering van vervuiling door schepen, waaronder luchtverontreinigende emissies en broeikasgasemissies. Deze regulering is vastgelegd in de International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) Annex VI. MARPOL stamt al uit 1973 en is inmiddels geratificeerd door meer dan 100 staten, die gezamenlijk 97% van het wereldwijde tonnage omvatten. MARPOL bevat bindende eisen, waarbij het toezicht en de handhaving wordt uitgevoerd door maritieme autoriteiten in vlaggenstaten en havenautoriteiten in havenstaten.

Hieronder volgt een verdere toelichting op huidige instrumenten van IMO (zie bovenste gedeelte Figuur 2). Eerst wordt het huidige instrumentarium kort beschreven, dat zich vooral richt op verbetering van de energie-efficiëntie, vermindering van de koolstofintensiteit en op verzameling van data over brandstofgebruik en broeikasgasemissies (zie 1.2). Vervolgens wordt ingegaan op de in 2023 herziene broeikasgasstrategie van IMO, als gevolg waarvan de komende jaren aanvullende maatregelen ontwikkeld en ingevoerd worden (zie 1.3). Als laatste wordt IMO regulering voor vermindering van luchtverontreinigende emissies (SO_x en NO_x) kort besproken (zie 1.4, niet opgenomen in Figuur 1).

1.2 HUIDIG INSTRUMENTARIUM (SEEMP, EEDI, EEXI, CII, IMO DCS)

Afgelopen decennium heeft IMO diverse maatregelen genomen om broeikasgasemissies van internationale zeevaart te monitoren en te reduceren. EEDI en SEEMP zijn al zo'n 10 jaar geleden ingevoerd. Andere korte termijn maatregelen uit de eerste IMO klimaat strategie zijn van recentere datum (november 2022). Deze worden hieronder kort beschreven. De instrumenten die in 2022 van kracht zijn geworden zullen in

2025/2026 wordt geëvalueerd en indien nodig verder worden aangescherpt¹.

1.2.1 SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan

Sinds 2013 moeten elk schip een eigen Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) aan boord hebben. Dit SEEMP heeft als doel om de bemanning meer handvatten te geven om het schip zo efficiënt mogelijk in te zetten en de efficiëntie van schepen continu te verbeteren door toepassing van (nieuwe) technische en/of operationele maatregelen. Hierbij kan men denken aan maatregelen zoals optimalisatie van de vaarsnelheid, monitoring en onderhoud van de scheepsromp, installatie van warmteterugwinningssystemen. Met het invoeren van enkele andere aanvullende maatregelen door IMO in november 2022 (zie EEXI, 1.2.3 en CII, 1.2.4) is ook het SEEMP verder uitgebreid ("enhanced SEEMP" of "SEEMP III").

Het SEEMP bestaat uit drie onderdelen:

- Part I: Managementplan ter verbetering van de energie-efficiëntie van het schip;
- Part II: Plan voor dataverzameling over brandstofconsumptie van het schip;
- Part III: Operationeel plan voor de koolstofintensiteit ("carbon intensity").

Part I is verplicht en moet aanwezig zijn aan boord van alle schepen boven 400 bruto tonnage. Met behulp van bijvoorbeeld de monitoring tool EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) kunnen scheepseigenaren de operationele brandstofefficiëntie van een schip en een vloot monitoren. Een geverifieerd Part II is verplicht voor alle schepen boven 5000 bruto tonnage als onderdeel van het Data Collection System (IMO DCS, zie 1.2.5). Een geverifieerd Part III is vereist voor alle schepen die moeten voldoen aan de "Carbon Intensity Indicator" (CII, zie 1.2.4).

1.2.2 EEDI: Energy Efficiency Design Index

Sinds 1 januari 2013 (praktische inwerkingtreding in 2015) moeten nieuwe schepen voldoen aan een referentieniveau voor de energie-efficiëntie: de Energy Efficiency Design Index (EEDI). Per scheepstype en per groottecategorie is een referentieniveau bepaald voor de minimale energie-efficiëntie uitgedrukt in gram CO₂ per ton-mijl (gebaseerd op "tank-to-wake" CO₂-emissiefactoren). Dit referentieniveau wordt elke vijf jaar geleidelijk aangescherpt totdat EEDI fase 3 bereikt is. De EEDI is erop gericht om op deze manier continue innovatie en technologische ontwikkeling van alle componen-

¹ Voor een compleet overzicht van de afgesproken tijdslijnen voor IMO tot aan de volgende revisie van de broeikasgasstrategie in 2028, zie: [Revised GHG reduction strategy for global shipping adopted \(imo.org\)](https://www.imo.org/en/about/press-releases/Pages/pr20220927.aspx)

ten in het scheepsontwerp te stimuleren om op die manier de brandstofefficiëntie te verbeteren. De benadering is technologie-neutraal, oftewel scheepsontwerpers en scheepsbouwers zijn vrij om de technologieën te kiezen waarmee ze aan de eisen van de EEDI voldoen.

1.2.3 EEXI: Energy Efficiency Existing Ship Index

In november 2022 zijn enkele aanvullende maatregelen van IMO in werking getreden om de koolstofintensiteit van de wereldwijde vloot te reduceren. Met ingang van 1 januari 2023 is het voor alle schepen boven 400 bruto tonnage verplicht om de Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) te berekenen en de schepen eenmalig te laten certificeren (gebaseerd op “tank-to-wake” CO₂-emissiefactoren). De EEXI (EEDI voor bestaande schepen) van een schip geeft de energie-efficiëntie van een schip aan ten opzichte van een referentieniveau (EEDI fase 2 niveau), dat is vastgesteld voor verschillende scheepstypen en groottecategorieën. De EEXI van een schip moet lager zijn dan het referentieniveau, zodat het schip voldoet aan een minimale norm voor energie-efficiëntie. De EEXI waarde van het schip wordt verzameld in IMO DCS. De EEXI zorgt er dus voor dat niet alleen de schepen gebouwd na 2013, maar *alle* schepen ten minste aan de EEDI fase 2 norm moeten voldoen. Voor sommige schepen betekent dit dus dat ze energiebesparende maatregelen moeten treffen. Mocht dit niet lukken door andere optimalisatie, dan is het naar beneden bijstellen van het motorvermogen een belangrijke methode om aan de EEXI eisen te kunnen voldoen.

1.2.4 CII: Carbon Intensity Indicator

Per 2024 krijgen schepen een jaarlijkse score voor hun operationele koolstofintensiteit, de zogenaamde de Carbon Intensity Indicator (CII). Deze CII is een maat voor hoe efficiënt een schip boven 5000 bruto tonnage goederen of passagiers vervoert, uitgedrukt in gram CO₂ uitgestoten per ton-mijl (draagvermogen of bruto tonnage afhankelijk van het scheepstype). In 2023 vindt de eerste berekening en rapportage van de CII plaats voor deze schepen. Op basis van die rapportage krijgt een schip in 2024 een “CII rating” toegekend. De CII is een zogenaamde “supply based” indicator, omdat het op basis van draagvermogen (“dead weight”) de berekening uitvoert in plaats van op daadwerkelijk vervoerde vracht (“demand based”).

De CII rating geeft de relatieve prestatie van het schip wat betreft de koolstofintensiteit aan: A, B, C, D of E (waarbij A het beste is). Deze “rating”, die richting 2030 steeds strenger wordt, dient als stimulans voor gebruik van de meest efficiënte schepen. Immers, schepen met een rating D voor drie aaneengesloten jaren of een rating E voor 1 jaar moeten een plan indienen met maatregelen die laten zien hoe ze aan de vereiste “required CII” (midden van de C-rating) waarden gaan voldoen in het daarop

volgende rapportagejaar. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan schoonmaak van de scheepsromp, optimalisatie van snelheid en vaarroute, vermindering van het elektriciteitsgebruik aan boord of overstap naar andere brandstoffen, zoals biobrandstoffen.

Via de CII rating worden ook nationale en havenautoriteiten en andere stakeholders in de maritieme sector aangemoedigd om het gebruik van schepen met een A of B rating (dus bovengemiddeld) te stimuleren. Op dit moment zijn alleen de reductiewaarden tot en met 2027 vastgesteld. Voor 2026 moet een review van de korte termijn maatregelen uitgevoerd worden en zullen voorstellen gedaan worden voor de reductiewaarden voor de jaren na 2027.

Net als de andere bestaande instrumenten van IMO, richt de CII zich op reductie van CO₂-emissies aan de uitlaat (“tank-to-wake”, TTW). Hierdoor is er in die instrumenten geen of beperkte stimulans om alternatieve brandstoffen, zoals biobrandstoffen, toe te passen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Op MEPC 80 in juli 2023 heeft IMO de MEPC.1/Circ.905 “Interim guidance on the use of biofuels under regulations 26, 27 and 28 of MARPOL Annex VI” aangenomen, waarmee het gebruik van biobrandstoffen een stimulans krijgt in zowel de CII als in het rapportagesysteem IMO DCS (zie 1.2.5). Hiermee mogen gecertificeerde duurzame biobrandstoffen met een minimale reductie van broeikasgasemissies in de keten (WTW) van 65% ten opzichte van de fossiele brandstof MGO gebruik maken van een lagere TTW CO₂-emissiefactor binnen IMO DCS en de CII. Deze lagere emissiefactor is dan gelijk aan de WTW waarde voor de broeikasgasemissie van de biobrandstof vermenigvuldigd met de energie-inhoud (Lower Calorific Value, LCV). Voor blends met biobrandstof wordt de emissiefactor naar rato van het blendpercentage verlaagd.

1.2.5 Dataverzameling over brandstofgebruik en broeikasgasemissies (IMO DCS)

Sinds 2019 is het verplicht voor schepen van boven 5000 bruto tonnage (“Gross Tonnage”, GT) om te rapporteren over hun jaarlijkse brandstofconsumptie. Data op het gebied van brandstofgebruik worden vastgelegd in het Fuel Consumption Data Collection System (DCS) van IMO. In 2021 werd wereldwijd voor ruim 28.000 schepen de brandstofconsumptie gerapporteerd in IMO-DCS, met een totaal verbruik van 212 miljoen ton brandstof.

Op MEPC79 is een voorstel behandeld om via een wijziging van MARPOL Annex VI de verplichte data in IMO DCS verder uit te breiden met de verkregen en vereiste Carbon Intensity Indicator (CII), de CII rating (zie 1.2.4) en de Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI, zie 1.2.3). Informatie uit op het gebied van brandstofconsumptie en

CO₂-emissies van schepen biedt de mogelijkheid om de voortgang van emissiereductie maatregelen te volgen en dient verder als basis voor toekomstige maatregelen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen (zie 1.3).

1.3 HERZIENE BROEIKASGASSTRATEGIE EN TOEKOMSTIG INSTRUMENTARIUM

1.3.1 Ambities van de herziene strategie van 2023

In juli 2023 heeft IMO (MEPC 80) de herziening aangenomen van haar strategie om de broeikasgasemissies van internationale scheepvaart te reduceren. De initiële broeikasgasstrategie van IMO dateerde van 2018 en richtte zich op het verminderen van de broeikasgasemissies van internationale scheepvaart met 50% in 2050, ten opzichte van het niveau van 2008.

De herziene strategie (MEPC.377(80)) omvat een aangescherpte gezamenlijke ambitie om te komen tot netto nul ("net zero") broeikasgasemissies in of rond 2050, met indicatieve tussendoelen voor 2030 en 2040. Ook heeft IMO zich gecommitteerd aan de opschaling van de toepassing van "zero and near-zero GHG fuels" in 2030. Met dit akkoord heeft IMO een belangrijke stap gezet om een mondiale brandstoftransitie op gang te brengen, waarbij rechtvaardigheid en een gelijk speelveld ("a just and equitable transition") een randvoorwaarde is.

In onderstaande figuur zijn de ambities van de herziene strategie van 2023 weergegeven met een groene lijn. De rode lijn geeft het pad naar de 50% reductiedoelstelling voor 2050 weer van de initiële strategie van IMO uit 2018. Indien er geen reductie maatregelen genomen zouden worden, dan zullen de broeikasgasemissies van internationale zeevaart zich verder ontwikkelen volgens de blauwe lijn ("Business-as-usual emissions"). Het lichtblauw gekleurde vlak geeft aan welke emissiereductie bereikt moet worden met de maatregelen van IMO.

Figuur 3 Overzicht van de ambities van de herziene broeikasgasstrategie van IMO en de te realiseren broeikasgasemissiereductie (DNV, 2023)

	System	Current	2024	2025	2026	2027	2028
Ship types	MRV	Ships transporting cargo or passengers		Ships transporting cargo or passengers and offshore ships			
	ETS	-	Ships transporting cargo or passengers	Ships transporting cargo or passengers and offshore ships			
Ship sizes	MRV	5000+ GT		General cargo and offshore ships 400+ GT			
	ETS	-	5000+ GT	By end-2026 evaluate general cargo and offshore ships 400+ GT for possible inclusion			
GHGs	MRV	CO ₂	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O				
	ETS	-	CO ₂	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O			
Voyage scope	MRV	100% of emissions on voyages and port calls within the EU/EEA and 100% of emissions on voyages into and out of the EU/EEA.					
	ETS	-	100% of emissions on voyages and port calls within the EU/EEA. 50% of emissions on voyages into and out of the EU/EEA.				
Phase-in	MRV	100%					
	ETS	-	40%	70%	100%		

In meer detail heeft IMO een akkoord bereikt op de volgende ambities:

- 1. Reductie van de koolstofintensiteit van schepen** door verdere verbetering van de energie-efficiëntie van schepen, door herziening en verdere aanscherping van de ontwerp-eisen voor de energie-efficiëntie van schepen.
- 2. Reductie van de koolstofintensiteit van internationale scheepvaart** door reductie van de gemiddelde CO₂-emissie per vervoersprestatie (CO₂-emissie per ton-mijl) met minimaal 40% in 2030 ten opzichte van 2008.
- 3. Toepassing van technologieën, brandstoffen en/of energiebronnen met nul of bijna nul broeikasgasemissies** ("zero or near-zero GHG emission technologies, fuels and/or energy sources") met een aandeel van minimaal 5%, strevend naar 10%, in de energie gebruikt door internationale scheepvaart in 2030.
- 4. Reductie van de broeikasgasemissies van internationale scheepvaart naar netto nul in of rond 2050**, rekening houdend met verschillende nationale omstandigheden, terwijl inspanningen worden nagestreefd om de broeikasgasemissies uit te faseren in lijn met het lange termijn temperatuurdoel zoals vastgelegd in Artikel 2 van het Parijsakkoord. Hierbij:
 - moeten de broeikasgasemissies van internationale scheepvaart zo snel mogelijk hun piek bereiken;
 - geldt een indicatief tussendoel voor de broeikasgasreductie in 2030 van 20%, strevend naar 30%, ten opzichte van 2008;

- geldt een indicatief tussendoel voor de broeikasgasreductie in 2040 van 70%, strevend naar 80%, ten opzichte van 2008.

1.3.2 Ontwikkeling van een aanvullend instrumentarium

Om de hierboven genoemde ambities te kunnen realiseren werkt IMO momenteel aan een aanvullend instrumentarium. Deze "basket of measures" zal volgens de herziene strategie moeten bestaan uit twee typen maatregelen, namelijk:

- een technisch element, namelijk een mondiale standaard voor gefaseerde reductie van de broeikasgasintensiteit van scheepsbrandstoffen, én
- een economisch element, een mondiaal systeem voor de beprijzing van broeikasgasemissies van internationale scheepvaart.

Bij de ontwikkeling van de maatregelen moeten de broeikasgasemissies in de gehele keten ("well-to-wake", WTW) van de brandstoffen in acht worden genomen ("take into account well to wake").

De herziene strategie geeft aan dat voor elke maatregel of combinatie van maatregelen de effecten op IMO staten moet worden beoordeeld. Hier moet speciale aandacht worden besteed aan de behoeften van ontwikkelingslanden, met name kleine eilandstaten (SIDS) en de laagst ontwikkelde landen (LDCs), zoals op het gebied van capacity-building en technologische samenwerking.

Deze maatregelen zullen de komende jaren verder ontwikkeld worden. Volgens de afgesproken tijdlijn moeten de nieuwe maatregelen akkoord worden bevonden eind 2025. De instrumenten zullen dan in werking treden in 2027, 16 maanden na akkoord. In de zomer van 2027 zal een nieuwe herziening van de broeikasgasstrategie worden gestart, waarna deze in 2028 moet worden aangenomen².

1.3.3 IMO "Life Cycle GHG assessment guidelines"

Een belangrijke basis voor de toekomstige instrumenten die gaan sturen op reductie van de broeikasgasemissies is de onderliggende methodiek voor de bepaling van de broeikasgasemissies in de gehele keten ("well-to-wake", WTW) van scheepsbrandstoffen. Hier is de afgelopen jaren door IMO aan gewerkt in de vorm van een "Correspondence Group" (CG). De eerste versie van deze "Guidelines on lifecycle GHG

intensity of marine fuels (LCA guidelines)" is akkoord bevonden tijdens MEPC 80³. Deze systematiek moet de komende jaren nog verder worden uitgewerkt. Zo zullen hierin standaardwaarden voor de broeikasgasemissies van scheepsbrandstoffen moeten worden bepaald en vastgesteld. Ook moeten duurzaamheidseisen verder worden uitgewerkt en moet er een aanpak worden gedefinieerd voor het toetsen en erkennen van certificeringssystemen waarmee de duurzaamheid volgens de IMO eisen kan worden aangetoond. Afvang en opslag van CO₂ aan boord van schepen ("on board carbon capture and storage, OCCS") kan op dit moment nog niet bijdragen aan de IMO instrumenten. Eisen hieraan moeten nog verder worden uitgewerkt in de "Life Cycle GHG assessment guidelines".

Tijdens MEPC 81 in maart 2024 is afgesproken dat er onder GESAMP ("Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection") een "expert group" wordt ingericht met experts die advies gaan geven over een aantal LCA onderwerpen zoals standaardwaarden voor de broeikasgasemissies van brandstoffen ("default values"), indirecte veranderingen van landgebruik ("Indirect Land Use Change, ILUC) en certificeringsschema's. Voor verdere uitwerking van sociale en economische duurzaamheidscriteria zal een nieuwe CG aan de slag gaan. Daarnaast zal een andere CG gaan werken aan eisen aan OCCS en aan methoden voor feitelijke waarden voor uitlatemissies ("tank-to-wake", TTW) voor N₂O en CH₄ emissies.

1.4 REGULERING VAN LUCHTVERONTREINIGENDE EMISSIES

1.4.1 SOx-emissies

Regulering van luchtverontreinigende emissies door IMO bestaat enerzijds uit wereldwijde eisen en anderzijds uit strengere eisen in Emission Control Areas (ECAs). Om de emissies van luchtverontreinigende emissies van SO_x (en PM) te reguleren heeft IMO zogenaamde Sulphur Emission Control Areas (SECAs) ingesteld.

In deze SECAs gelden strengere eisen aan het toegestane zwavelgehalte dan daarbuiten. Binnen SECAs – waaronder het Noordzeegebied – mag sinds 2015 het zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen maximaal 0,10 massa-% bedragen. Op MEPC79 van IMO in december 2022 is besloten om een nieuwe SECA voor SO_x en PM toe te voegen – het Middellandse Zee gebied – waarin deze eis ook gaat gelden met ingang van 1 mei 2025.

² Voor een compleet overzicht van de afgesproken tijdslijnen voor IMO tot aan de volgende revisie van de broeikasgasstrategie in 2028, zie: [Revised GHG reduction strategy for global shipping adopted \(imo.org\)](https://www.imo.org/en/About/Pages/Revised-GHG-reduction-strategy-for-global-shipping-adopted.aspx)

³ Zie voor de eerste versie van de LCA Guidelines: [Guidelines on life cycle GHG intensity of marine fuels \(LCA Guidelines\) \(imo.org\)](https://www.imo.org/en/About/Pages/Guidelines-on-life-cycle-GHG-intensity-of-marine-fuels-(LCA-Guidelines).aspx)

Buiten SECAs is de limiet voor het zwavelgehalte per 1 januari 2020 aangescherpt van 3,5 massa-% naar 0,5 massa-%. Deze maatregel heeft directe impact op de brandstoffen die schepen mogen gebruiken. De meeste zware stookolie (HFO) kan hier alleen aan voldoen indien gebruik wordt gemaakt van nabehandelings-technieken voor uitlaatgassen (SO_x scrubbers, Exhaust Gas Cleaning Systems (EGCS)). Men kan ook aan de deze strengere eisen voldoen door gebruik te maken van scheepsbrandstoffen met een (veel) lager zwavelgehalte zoals VLSFO, ULSFO, MDO/MGO, LNG en bio-brandstoffen.

1.4.2 NO_x-emissies

NO_x-emissies zijn niet alleen afhankelijk van het type brandstof maar ook van de verbranding van de brandstof in de scheepsmotor. Voor reductie van NO_x-emissies hanteert IMO een soortgelijke aanpak als voor SO_x-emissies met een wereldwijde limiet en een strengere eis voor bepaalde gebieden. Het toegestane niveau van NO_x-emissies (in gram/kWh) is afhankelijk van de motorsnelheid (gemeten in rpm). De wereldwijde eis bestaat uit twee limieten, Tier I en Tier II. Tier I geldt voor oudere schepen en Tier II voor nieuwe schepen, sinds 2011. In de NO_x Emission Control Area (ECA) – waaronder het Noordzeegebied - is Tier III van toepassing, die aanzienlijk strikter is dan Tier I en II.

Specifiek voor biobrandstoffen is in MARPOL Annex VI Regulation 18.3 opgenomen dat voor brandstoffen die maximaal 30% biobrandstof bevatten geen test of toetsing van de scheepsmotor voor NO_x-emissies nodig is. Gebruik van brandstoffen met een gehalte biobrandstof hoger dan 30% is toegestaan, mits de scheepsmotor op de brandstof kan functioneren zonder veranderingen in de voor NO_x-emissies kritieke componenten.

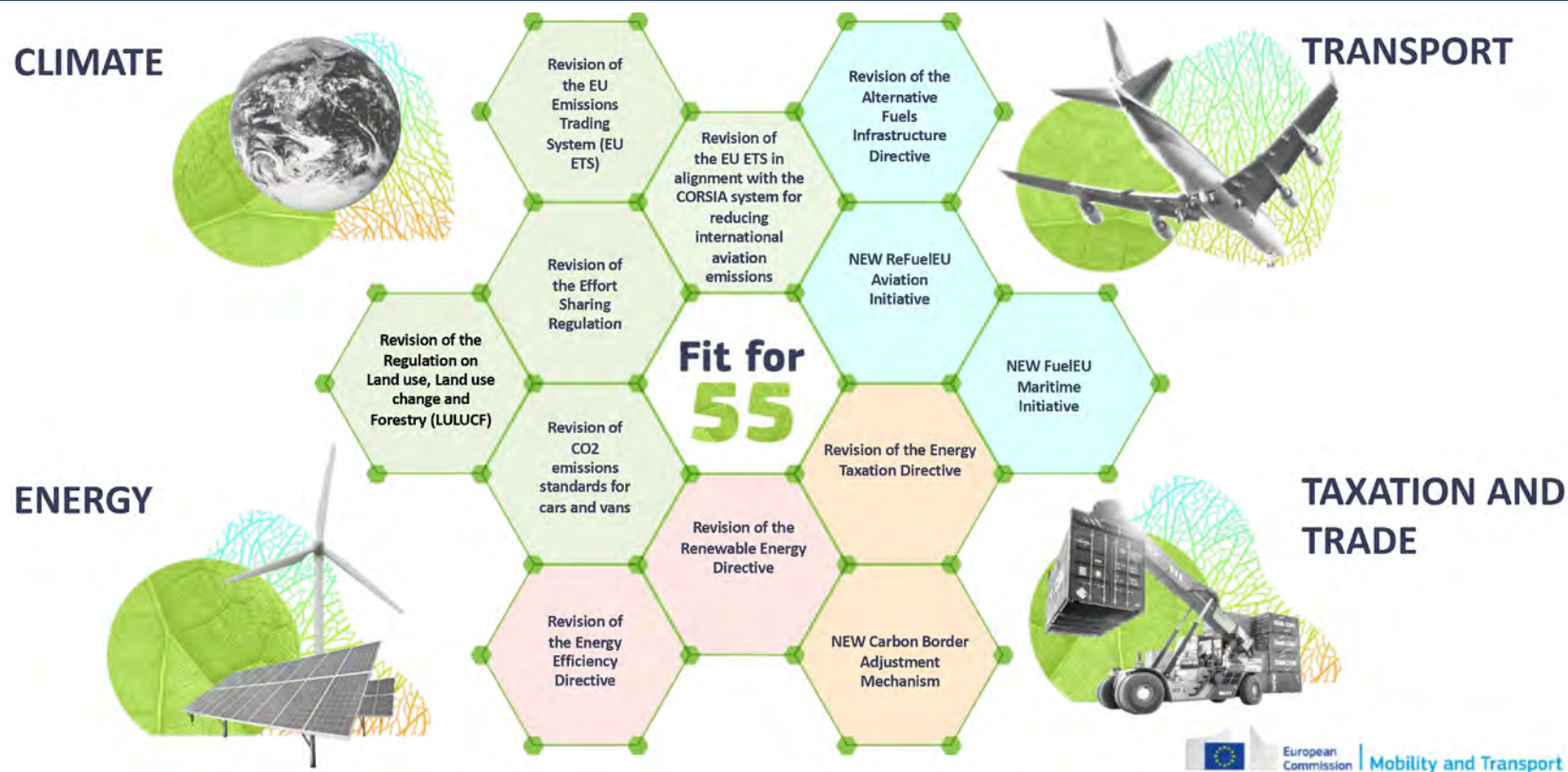
2 EUROPESE UNIE

2.1 EUROPESE GREEN DEAL EN “FIT FOR 55”

Tot enkele jaren geleden viel internationale zeevaart grotendeels buiten internationale afspraken en nationale plannen om broeikasgasemissies te reduceren. Dit veranderde met de publicatie van de Europese Green Deal in 2019 met daarin de ambitie om Europa klimaatneutraal te maken in 2050. Met het oog op dit einddoel omvat deze Green Deal een set van beleidsinitiatieven en revisies van bestaande Europese regelgeving gericht op het reduceren van de netto broeikasgasemissies van de EU als geheel met minstens 49% in 2030 ten opzichte van 1990. Als gevolg van een akkoord in december 2020 werd dit reductiedoel voor 2030 verder aangescherpt van naar 55%. Deze doelstelling is juridisch bindend en vastgelegd in de Europese Klimaatwet.

Alle sectoren in de Europese economie moeten hieraan bijdragen, waaronder mobiliteit en daarmee ook internationale zeevaart. In december 2020 presenteerde de Europese Commissie haar plannen om het Europese transportsysteem te transformeren in lijn met de doelen van de Europese Green Deal in haar “Sustainable and Smart Mobility Strategy”. Om hier verder invulling aan te geven, publiceerde de Europese Commissie in juli 2021 een pakket met beleidsvoorstellen om het Europese beleid ten aanzien van klimaat, energie, landgebruik, transport en belastingen aan te laten sluiten bij de eerder genoemde 55% reductiedoelstelling, aangeduid als het “Fit for 55” pakket. Een overzicht van alle beleidsvoorstellen in “Fit for 55” wordt gegeven in onderstaande figuur. De voorstellen die relevant zijn voor internationale zeevaart en bunkering van scheepsbrandstoffen zijn met een cirkel gemarkeerd.

Figuur 4 Overzicht van "Fit for 55" beleidsvoorstellen (juli 2021) (ISCC, 2023)



Er zijn vijf wetsvoorstellen in "Fit for 55" die van invloed zijn op internationale zeevaart en die elkaar moeten versterken om de brandstoftransitie in zeevaart te realiseren. Deze instrumenten richten zich enerzijds op het stimuleren van vraag naar en aanbod van alternatieve energiedragers en anderzijds op het ontmoedigen van het gebruik van fossiele brandstoffen. In het kort zijn dit de volgende voorstellen:

- **FuelEU Maritime:** een nieuwe verordening gericht op vermindering van de broeikasgasintensiteit van de energie gebruikt aan boord van schepen;
- **Renewable Energy Directive (REDIII):** herziening van een bestaande richtlijn die gericht is op het vergroten van het aanbod van hernieuwbare energiedragers, met daarin een verplichting aan brandstofleveranciers om een bepaald aandeel her-

nieuwbare energie te leveren aan vervoer;

- **EU Emissions Trading System (EU-ETS):** herziening van het Europese CO₂-emissiehandelsstelsel, met daarin onder andere een uitbreiding waarmee internationale zeevaart onder dit systeem komt te vallen;
- **Energy Taxation Directive (ETD):** herziening van een bestaande richtlijn met als doel het accijnsstelsel voor brandstoffen te wijzigen onder andere zodat brandstoffen gebruikt in zeevaart ook belast worden met accijns (dit was voorheen niet het geval);
- **Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR):** herziening van bestaande richtlijn – nu een verordening - gericht op de totstandkoming van een laad- en tankinfrastructuur voor alternatieve energiedragers voor mobiliteit, waaronder de verplichting aan zeehavens om walstroom beschikbaar te stellen.

De meeste “Fit for 55” voorstellen bevinden zich momenteel nog in de onderhandelingsfase (bij sommige is al wel een voorlopig akkoord bereikt) en treden bij een Europees akkoord in werking in 2024 of 2025. Tot die tijd is er beperkt Europees beleid dat vraag en aanbod van alternatieve brandstoffen in de zeevaart stimuleert.

In de volgende paragrafen volgt een beschrijving van de instrumenten op Europees niveau die invloed hebben op het gebruik van (alternatieve) brandstoffen op schepen. Het gaat hierbij om instrumenten die momenteel in werking zijn en toekomstige instrumenten die worden ingevoerd als onderdeel van “Fit for 55” (zie Figuur 2). Daar waar in “Fit for 55” een herziening is opgenomen van een reeds bestaande richtlijn of verordening, dan wordt deze herziening in de paragraaf van het bestaande instrument besproken. Als laatste worden ook de Europese richtlijn voor duurzaamheidsrapportage en de Europese taxonomie voor duurzame activiteiten kort toegelicht.

2.2 EU-MRV: VERORDENING MONITORING, RAPPORTAGE EN VERIFICATIE CO₂-EMISSIES

Om de maritieme sector mee te kunnen nemen in de Europese reductiedoelen voor broeikasgasemissies, trad per 1 januari 2018 de eerste stap om broeikasgasemissies van internationale zeevaart te monitoren in werking, namelijk de “EU-MRV” verordening (“Regulation on the monitoring, reporting and verification of CO₂-emissions from maritime transport”; 2015/757/EU).

Volgens deze Europese verordening voor monitoring, rapportage en verificatie van CO₂-emissies van maritiem transport moeten schepen boven 5000 bruto tonnage jaarlijks data over CO₂-emissies en andere relevante informatie rapporteren. Dit is van toepassing op alle schepen naar, van en tussen havens die behoren tot de EER⁴. Geaggregeerde informatie wordt op publiekelijk beschikbaar gesteld via de website THETIS-MRV van EMSA (European Maritime Safety Agency). De Europese Commissie stelt jaarlijks een rapport op over de gerapporteerde MRV data. De rapportageplicht van EU-MRV heeft sterke overlap met de het wereldwijde systeem van IMO (Fuel Consumption Data Collection System (DCS), zie 1.2.5).

⁴ EER = Europese Economische Ruimte: dit zijn de 27 EU lidstaten plus Liechtenstein, Noorwegen en IJsland.

2.2.1 Herziening EU-MRV in 2024

EU-MRV omvat nu alleen CO₂-emissies aan de uitlaat (“tank-to-wake”) maar wordt vanaf 2024 uitgebreid naar emissies van de broeikasgassen methaan (CH₄) en distikstofoxide /lachgas (N₂O) (dus CO₂-equivalenten). Vanaf 2025 wordt de scope van EU-MRV uitgebreid naar algemene lading en off-shore schepen boven 400 bruto tonnage. Eind 2024 staat een – verdere – herziening van de MRV-verordening op de agenda. De genoemde aanpassingen in EU-MRV vormen een belangrijke basis voor de uitbreiding van het Europese CO₂-emissiehandelssysteem EU-ETS naar internationale zeevaart in 2025 (meer informatie over de herziening van EU-MRV en de relatie tot EU-ETS is te vinden in [2.7.2](#)).

2.3 AFID/AFIR: INFRASTRUCTUUR VOOR ALTERNATIEVE BRANDSTOFFEN

2.3.1 AFID: Richtlijn infrastructuur voor alternatieve brandstoffen

Om het aanbod van alternatieve energiedragers voor mobiliteit te stimuleren is in 2014 de Europese richtlijn voor de uitrol van een tank- en laadinfrastructuur voor alternatieve energiedragers (“Alternative Fuels Infrastructure Directive”, AFID, 2014/94/EU) in werking getreden. Deze richtlijn verplicht lidstaten tot het aanleggen van een infrastructuur voor alternatieve brandstoffen, in lijn met hun nationale beleidskaders. Specifiek voor scheepvaart bevat de AFID de volgende eisen:

- **LNG voor schepen:** een passend aantal tankpunten voor LNG in zeehavens, om het mogelijk te maken dat binnenvaartschepen of zeeschepen die LNG gebruiken rond kunnen varen binnen het TEN-T Core Network tegen eind 2025 en in binnenhavens tegen eind 2030;
- **Elektriciteitslevering aan wal (“walstroom”):** aanbod van walstroom voor binnenvaartschepen en zeeschepen en zee- en binnenhavens geïnstalleerd in het TEN-T Core Network havens tegen eind 2025, tenzij er geen vraag is en de kosten disproportioneel zijn ten opzichte van de voordelen.

Als onderdeel van het “Fit for 55” pakket heeft de Europese Commissie een voorstel gepresenteerd voor de revisie van deze richtlijn en om deze om te zetten in een verordening (zie AFIR, 2.3.2).

2.3.2 AFIR: Verordening infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (herziening)

De AFIR – de herziening van de Richtlijn voor de infrastructuur van alternatieve brandstoffen (zie 2.3.1) in de vorm van een verordening - omvat de minimale eisen aan de infrastructuur ter stimulering van het gebruik van vervoer op alternatieve brandstoffen in alle modaliteiten, om de Europese klimaatdoelen te halen. EU lidstaten moeten in

ationale beleidskaders de ontwikkeling van de markt voor alternatieve brandstoffen en de daarvoor relevante infrastructuur verder vormgeven in gedetailleerde strategieën gericht op de lange termijn. Voor 1 januari 2024 moet elke lidstaat een ontwerp voor het nationale beleidskader voorbereiden en naar de Europese Commissie sturen dat voldoet aan de in de AFIR gestelde eisen.

Specifiek voor zeevaart is de AFIR erop gericht om de beschikbaarheid van de bunkerinfrastructuur voor LNG in zeehavens te vergroten. Lidstaten moeten ervoor zorgen dat per 1 januari 2025 een passend aantal LNG-tankpunten aanwezig is in de zogenaamde "TEN-T core maritime ports", zodat zeegaande schepen door dit netwerk van havens kunnen varen op LNG. Ook heeft de AFIR als doel om richting 2030 walstroom verder uit te rollen in grote EU havens.

2.4 EU ZWAVELRICHTLIJN: RICHTLIJN VOOR REDUCTIE VAN ZWAVELHALTE BRANDSTOFFEN

Sinds 2021 heeft de EU diverse maatregelen genomen om het zwavelgehalte in scheepsbrandstoffen te verlagen en daarmee de emissies van zwaveloxiden (SO_x) te reduceren. In 2016 werd de Europese zwavelrichtlijn ("Directive on a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels"; "Sulphur Directive", 2016/802/EU) gepubliceerd, de opvolger en vervanger van enkele andere verordeningen en richtlijnen over dit onderwerp. Deze richtlijn vereist dat het zwavelgehalte in scheepsbrandstof maximaal 0,1 massa-% bedraagt bij gebruik binnen EU havens. Verder zijn de mondiale limieten binnen en buiten SECAs onder MARPOL van toepassing in de EU (zie 1.4.1).

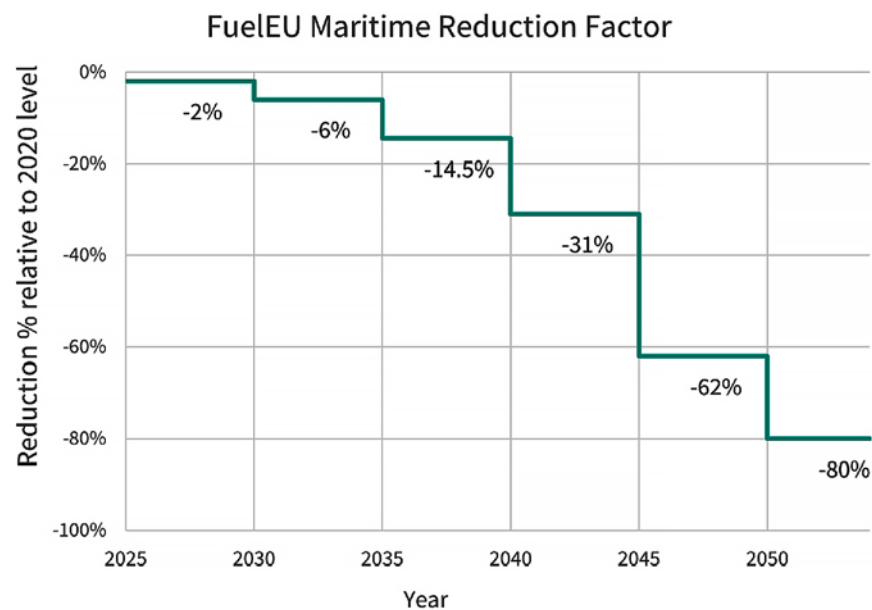
2.5 FUELEUMARITIME: VERORDENING VOOR ALTERNATIEVE BRANDSTOFFEN ZEEVAART

FuelEU Maritime ("Regulation on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport") is een nieuwe verordening in het "Fit for 55" pakket specifiek gericht op de maritieme sector. In deze verordening is een verplichting opgenomen voor schepen, die Europese havens aandoen, om de broeikasgasintensiteit van de energie gebruikt aan boord te verminderen. Hiermee wordt een impuls gegeven aan de vraag naar scheepsbrandstoffen met een lagere broeikasgasemissie ("Renewable and low carbon fuels", RLF). Op 13 september 2023 werd de definitieve versie van de verordening vastgesteld.

De FuelEU Maritime verordening treedt in werking per 1 januari 2025. In dat jaar moet de gemiddelde broeikasgasintensiteit 2% lager zijn dan de gemiddelde broeikasgasintensiteit van de EU vloot in het referentiejaar 2020. In 2030 is het reductiepercentage 6%. Daarna wordt de limiet elke 5 jaar verder aangescherpt waarbij er vooral na 2030 een versnelling plaatsvindt, zoals te zien is in Figuur 5. In 2050 moet de broeikasgasintensiteit met 80% verminderd zijn. De broeikasgasemissies die meegenomen worden in de broeikasgasintensiteit in FuelEU Maritime zijn koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4) en distikstofoxide/ lachgas (N_2O). Het gaat hierbij om de broeikasgasemissies over de gehele brandstofketen ("well-to-wake", WTW). De broeikasgasintensiteit wordt uitgedrukt in CO_2 -equivalenten per MegaJoule brandstof (gram CO_2 -eq/MJ). De referentiewaarde is vastgesteld op vastgesteld op 91,16 gram CO_2 -eq/MJ.

Scheepseigenaren zijn verantwoordelijk voor het naleven van de verordening. Schepen boven 5000 bruto tonnage, die personen of lading vervoeren voor commerciële doeleinden, moeten voldoen aan de limieten voor de broeikasgasintensiteit. Hiermee is de reikwijdte van de verordening hetzelfde als die van EU-MRV en EU-ETS. Broeikasgasemissies van de energie gebruikt aan boord van een schip binnen en tussen EU havens vallen volledig binnen deze verordening; vaarten van en naar havens buiten de EU tellen voor de helft mee. Daarnaast moeten container- en passagiersschepen (vanaf 5000 bruto tonnage) die langer dan 2 uur in een EU haven verblijven, gebruik maken van walstroom ("Onshore Power Supply", OPS), tenzij deze schepen gebruik maken van zero-emissie technologieën. Deze eis is van toepassing vanaf 2030 met enkele uitzonderingen tot 2035.

Figuur 5 Verplichte percentages voor de reductie van de broeikasgasintensiteit (“well-to-wake”, WTW) van de energie gebruikt aan boord van schepen op jaarbasis ten opzichte van de referentie in FuelEU Maritime (Lloyd’s Register, 2023)



Scheepseigenaren mogen zelf kiezen waar ze willen bunkeren (binnen of buiten de EU) en met welke energiedragers ze de reductiedoelen willen behalen. Hiervoor kunnen ze hernieuwbare energiedragers inzetten zoals biobrandstoffen, biogas en hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBOs; dit zijn dit zijn synthetische brandstoffen op basis van hernieuwbare elektriciteit, waaronder hernieuwbare waterstof). Ook energiedragers gebaseerd op fossiele bronnen met een lage(re) broeikasgasintensiteit kunnen bijdragen, net als brandstoffen op basis van hergebruikte koolstof (Recycled Carbon Fuels, RCFs). Daarnaast mag bij de berekening van de jaarlijkse gemiddelde broeikasgas-intensiteit van de energie gebruikt aan boord een beloningsfactor worden toegepast indien een schip gebruik maakt van windenergie bij de voortstuwing (“wind assisted propulsion”). Afvang en opslag van CO₂ aan boord van schepen (“on board carbon capture and storage, OCCS”) mag op dit moment nog niet bijdragen aan de doelen van FuelEU Maritime. De verordening bevat een mogelijkheid voor herziening voor OCCS en andere nieuwe technieken en brandstoffen per 1 januari 2027.

In Annex II van de FuelEU Maritime verordening zijn voor de verschillende energiedragers standaardwaarden (“default values”) opgenomen voor de broeikasgasemissies, zowel voor het “well-to-tank” (WTT; emissies in de brandstofketen) deel als het “tank-to-wake” (TTW, uitlaatemissies) deel. Voor alle energiedragers - met uitzondering van fossiele brandstoffen voor de WTT broeikasgasemissies en de TTW CO₂-emissies - mogen ook eigen berekende waarden (“actual values”) worden gebruikt, mits aan de daarvoor geldende (certificerings)eisen is voldaan.

Biobrandstoffen, RFNBOs en RCFs moeten, om bij te mogen dragen aan de reductiedoelen, aan de duurzaamheids- en broeikasgasemissie-eisen uit de RED (zie 2.6) voldoen. Voor de borging hiervan door middel van certificering bouwt FuelEU Maritime ook voort op de systematiek van de RED met door de Europese Commissie erkende certificeringssystemen (“voluntary schemes”). Brandstoffen die niet aan deze eisen voldoen, krijgen de emissiefactor toegekend van de minst gunstige fossiele brandstofroute voor dit type brandstof. Hetzelfde geldt voor biobrandstoffen die zijn geproduceerd uit voedsel- en voedergewassen (die vallen onder de definitie hiervan in de RED).

Voor het voldoen aan de FuelEU Maritime verordening moet voor niet-fossiele brandstoffen de Bunker Delivery Note (BDN, vastgelegd in MARPOL Annex VI van IMO) worden aangevuld met gegevens over de broeikasgasintensiteit en duurzaamheidskenmerken.

Binnen FuelEU Maritime wordt inzet van RFNBOs gestimuleerd door een vermenigvuldigingsfactor (factor waarmee deze brandstoffen meetellen voor de (reductie van) broeikasgasintensiteit) van 2 in de periode van 2025 tot en met 2033. Daarnaast wordt het gebruik van RFNBOs gemonitord en als het aandeel RFNBOs in 2031 minder is dan 1% van het energieverbruik van de vloot, dan gaat met ingang van 2034 voor RFNBOs een subdoelstelling van 2% gelden. Deze eventuele subdoelstelling geldt niet voor een schip dat aantoonbaar hetzelfde aandeel van de energie gebruikt aan boord heeft ingevuld met gecertificeerde brandstoffen met een vergelijkbare broeikasgasemissiereductie, met uitzondering van biobrandstoffen op basis van grondstoffen die zijn opgenomen in Annex IX-B van de RED (zie 2.6).

Elk individueel schip moet aan de eisen van FuelEU Maritime voldoen door middel van een “FuelEU document of compliance”, die wordt vastgelegd in de FuelEU database. Scheepseigenaren hebben enige flexibiliteit in de naleving van de eisen van de verordening. Zo mogen zij overschotten en (kleine) tekorten meenemen naar het volgende jaar (“banking and borrowing”). Ook kan men door middel van een vrijwillig en open “pooling” mechanisme met twee of meer schepen gezamenlijk aan de eisen voldoen. Dit betekent dat een groep schepen een gemiddelde broeikasgasintensiteit moet heb-

ben die zich onder de limiet bevindt, terwijl individuele schepen een hogere broeikasgasintensiteit mogen hebben dan de limiet. Dit is bedoeld om overprestaties te belonen en om de snelle ontwikkeling van de energiedragers met de laagste broeikasgasintensiteit extra te stimuleren. De flexibiliteitsmechanismen voor naleving zijn ook toepasbaar bij de eventuele subdoelstelling voor RFNBOs. Bij “pooling” mogen twee verschillende groepen worden gebruikt voor naleving van de doelstelling voor reductie van de broeikasgasintensiteit en voor het voldoen aan de eventuele subdoelstelling voor RFNBOs.

Monitoring en rapportage in het kader van FuelEUMaritime bouwt voort op de reeds bestaande systematiek van EU-MRV (zie 2.2) met enkele additionele gegevens (onder andere berekening van de nalevingsbalans voor FuelEUMaritime). Toezicht op en handhaving van naleving van de verordening is belegd bij nationale en havenautoriteiten. Bij niet-naleving krijgt de scheepseigenaar een boete opgelegd. De hoogte van de boete wordt bepaald aan de hand van een formule die in de verordening is opgenomen. De inkomsten uit boetes komen ten goede aan de lidstaten en de verordening stelt daarbij dat lidstaten ernaar moeten streven dat deze inkomsten gebruikt worden om de productie en het gebruik van scheepsbrandstoffen met een lage broeikasgasintensiteit verder te stimuleren.

2.6 REDII/REDIII: RICHTLIJN VOOR HERNIEUWBARE ENERGIE - TRANSPORT

2.6.1 REDII: Richtlijn voor hernieuwbare energie - transport

Sinds 2009 wordt in de EU het gebruik van hernieuwbare energie gestimuleerd middels de Europese richtlijn voor hernieuwbare energie (“Renewable Energy Directive” (RED); 2018/2001/EU). In 2018 trad een herziening van deze richtlijn in werking, REDII. De REDII is erop gericht om in de gehele EU in 2030 een totaal aandeel hernieuwbare energie van 32% in 2030 te realiseren. Daarnaast geldt voor transport een specifieke doelstelling, want de REDII verplicht EU lidstaten om brandstofleveranciers aan vervoer (weg- en railvervoer) een verplichting op te leggen om in 2030 een aandeel van 14% hernieuwbare energie te leveren (Artikel 25). Door de diverse vermenigvuldigingsfactoren⁵ voor diverse energiedragers die de REDII toestaat, staat dit percentage overigens niet voor 14% fysieke inzet aan hernieuwbare energie.

⁵ Bijvoorbeeld een factor 4 voor hernieuwbare elektriciteit en een factor 2 voor biobrandstoffen die zijn geproduceerd uit grondstoffen die voorkomen in Bijlage IX (deel A en B, zogenaamde “Annex IX-A” en “Annex IX-B” biobrandstoffen) van de REDII.

De volgende energiedragers mogen meetellen voor deze vervoersdoelstelling:

- biobrandstoffen en biogas;
- hernieuwbare elektriciteit;
- hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBOs); dit zijn synthetische brandstoffen op basis van hernieuwbare elektriciteit, waaronder hernieuwbare waterstof;
- brandstoffen op basis van hergebruikte koolstof (Recycled Carbon Fuels, RCFs).

Als voorwaarde om mee te mogen tellen voor de doelstelling moeten alle hierboven genoemde energiedragers een minimale reductie van broeikasgasemissies in de gehele keten (“well-to-wheel”, WTW) realiseren ten opzichte van een in de RED vastgelegde referentiewaarde (“fossil fuel comparator”). Voor biobrandstoffen bedraagt deze minimale reductie-eis voor nieuwe productie-installaties 65%; voor bestaande installaties is dit 50% of 60%, afhankelijk van de datum waarop de installatie operationeel is geworden. RFNBOs en RCFs moeten een minimale broeikasgasreductie in de keten realiseren van 70% om mee te mogen tellen voor de doelen van de RED. Rekenregels en eisen hiervoor zijn uitgewerkt in gedelegeerde handelingen onder de RED. Biobrandstoffen en biogas moeten daarnaast aan duurzaamheidseisen voldoen. Dit kunnen bedrijven aantonen door gebruik te maken van vrijwillige schema’s (“voluntary schemes”) oftewel certificeringssystemen, die hiervoor door de Europese Commissie zijn erkend.

Daarnaast kent de REDII diverse mechanismen om de aandelen van de verschillende typen (bio)brandstoffen binnen de totale doelstelling van 14% te sturen. Zo is er een subdoelstelling voor geavanceerde biobrandstoffen die zijn geproduceerd uit reststromen die zijn opgenomen in Annex IX-A van de richtlijn. Voor biobrandstoffen die zijn geproduceerd uit reststromen die zijn opgenomen in Annex IX-B (gebruikte frituurolie, dierlijke vetten) en uit voedsel- en voedergewassen gelden limieten voor het mogen meetellen voor de vervoersdoelstelling van de REDII. Leveringen van brandstoffen aan nationale zeevaart en luchtvaart mogen met een vermenigvuldigingsfactor van 1,2 meetellen voor de doelstelling voor vervoer (en bij Annex-IX-A en B biobrandstoffen ook met de vermenigvuldigingsfactor die daarop van toepassing is).

2.6.2 Vrijwillige inboekbevoegdheid (“opt-in”) voor zeevaart in nationale systematiek

Hoewel de REDII geen verplichtingen omvat voor leveringen van brandstoffen aan zeevaart, vormde deze richtlijn wel aanleiding om in de nationale systematiek de mogelijkheid te creëren om leveringen van hernieuwbare energiedragers aan zeevaart vrijwillig te laten bijdragen aan de jaarverplichting hernieuwbare energie vervoer (“opt-in”). Dit heeft ertoe geleid dat de afgelopen jaren de leveringen van biobrandstoffen aan zee-

vaart in Nederland sterk zijn gegroeid. Met de nationale implementatie van de REDIII (zie 2.6.3) en de invoering van FuelEU Maritime (zie 2.5) komt de mogelijkheid voor zeevaart om vrijwillig bij te dragen aan de jaarverplichting te vervallen.

2.6.3 REDIII: Richtlijn voor hernieuwbare energie – transport (herziening)

In het “Fit for 55” pakket is een herziening opgenomen van de Europese richtlijn voor hernieuwbare energie (“Renewable Energy Directive”, REDIII). De definitieve tekst is vastgesteld op 18 oktober 2023. De REDIII omvat een aantal belangrijke wijzigingen ten opzichte van de vorige herziening, de REDII (zie 2.6.1). In de eerste plaats is in de REDIII het EU-brede doel voor het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het totale EU energiegebruik in 2030 opgehoogd naar 42,5% (dit was 32% in de REDII), met een additionele vrijwillige ophoging van 2,5% tot 45%. Elke EU lidstaat moet bijdragen aan deze gemeenschappelijke doelstelling. Verder moeten alle lidstaten een indicatief doel stellen voor innovatieve hernieuwbare energietechnologie van minimaal 5% van de nieuw geïnstalleerde hernieuwbare energiecapaciteit in 2030.

Daarnaast zijn de doelstelling en de kaders specifiek voor gebruik van hernieuwbare energiedragers in vervoer (Artikel 25) gewijzigd. De REDIII is erop gericht om in alle vormen van transport het aandeel hernieuwbare energiedragers te laten toenemen en daarmee de broeikasgasintensiteit over de gehele brandstofketen van de gebruikte brandstoffen te reduceren. Hiertoe moeten EU lidstaten aan brandstofleveranciers een verplichting opleggen, zoals ook het geval is bij de REDII. Met deze verplichting moeten lidstaten garanderen dat de hoeveelheid hernieuwbare energie die wordt geleverd aan transport voldoet aan:

- a. een bindend aandeel van ten minste 29% hernieuwbare energie in het finale energiegebruik van transport in 2030 (dit sluit aan bij huidige systematiek in de REDII), of
- b. een bindend doel van 14,5% reductie van de broeikasgasintensiteit (WTW) in transport in 2030 door middel van het gebruik van hernieuwbare energie.

Lidstaten hebben bij het vormgeven van de verplichting voor brandstofleveranciers de vrijheid om te sturen op volumes, energie-inhoud of broeikasgasemissies. Ook kunnen zij daarbij onderscheid maken tussen verschillende energiedragers en tussen maritiem transport en andere sectoren. Met invoering van de REDIII valt namelijk ook

zeevaart onder de reikwijdte van de richtlijn. Voor de berekeningen voor het behalen van de doelstellingen hoeft echter de hoeveelheid energie die wordt geleverd aan de maritieme sector niet volledig te worden meegenomen. Deze wordt gelimiteerd op 13% van het bruto finale energiegebruik van een lidstaat.

In de REDII was er al sprake van een subdoelstelling voor geavanceerde biobrandstoffen (Annex IX-A). In de REDIII is deze vervangen door een verplichte gecombineerd subdoelstelling voor Annex IX-A biobrandstoffen en RFNBOs (“Renewable Fuels of Non-Biological Origin”; synthetische brandstoffen op basis van hernieuwbare elektriciteit/waterstof) van minimaal 1% in 2025 en van minimaal 5,5% in 2030, met daarbij een verplicht aandeel van ten minste 1% voor RFNBOs. Specifiek voor lidstaten met maritieme havens geldt een indicatieve doelstelling dat vanaf 2030 het aandeel RFNBOs in de totale hoeveelheid energie geleverd aan de maritieme sector ten minste 1,2% bedraagt.

De REDIII bevat, net als de REDII, vermenigvuldigingsfactoren voor diverse typen energiedragers. Deze zijn *alleen* van toepassing wanneer een lidstaat rapporteert voor de doelstelling van 29% hernieuwbare energie (a) en *niet* voor de doelstelling van 14,5% reductie van de broeikasgasintensiteit (b). Dit geldt ook voor de vermenigvuldigingsfactoren die specifiek van toepassing zijn voor zeevaart (en luchtvaart), namelijk een factor van 1,2 voor biobrandstoffen en biogas geproduceerd uit Annex IX-A grondstoffen en een factor van 1,5 voor RFNBOs.

De herziene RED moet door de lidstaten in nationaal beleid worden geïmplementeerd. De richtlijn laat veel vrijheid aan de lidstaten om de kaders om te zetten in nationale wet- en regelgeving, waardoor tussen lidstaten grote verschillen kunnen bestaan. Het is aan de lidstaten om, binnen de kaders van de REDIII, de opgave te verdelen over de vervoerssectoren, waaronder zeevaart.

2.6.4 Verschillen tussen REDIII en FuelEU Maritime

Met de inwerkingtreding van de REDIII en FuelEU Maritime ontstaat er een impuls voor de levering en het gebruik van hernieuwbare energiedragers en broeikasgasreductie in de zeevaart. De REDIII en FuelEU Maritime verschillen op een aantal punten, die zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 1 Belangrijkste verschillen tussen REDIII en FuelEU Maritime voor zeevaart

	REDIII	FuelEU Maritime
Richtjaar doelstellingen	Alleen 2030	5-jaarlijks, 2025 - 2050
Doelstellingen	14,5% reductie van de WTW broeikasgasintensiteit, óf 29% hernieuwbare energie in transport in 2030	2% reductie van de WTW broeikasgasintensiteit in 2025; 6% in 2030; 14,5% in 2035; 31% in 2040; 62% in 2045; 80% in 2050;
Verplichte partijen	Brandstofleveranciers	Scheepseigenaren
Brandstofleveringen	Nationaal aan alle transport (zeevaart tot een maximum van 13% van het bruto finale energiegebruik van een lidstaat)	Schepen > 5000 GT
Voldoen aan doelstelling	Met brandstofleveringen in de EU	Met brandstof gebunkerd binnen of buiten EU
Annex IX-B biobrandstoffen	Mogen bijdragen tot limiet	Mogen bijdragen zonder limiet
Biobrandstoffen uit voedsel- en voedergewassen	Mogen bijdragen tot limiet	Dragen niet bij aan reductie (emissiefactor gelijkgesteld aan minst gunstige fossiele equivalent)
Annex IX-A biobrandstoffen	Subdoelstelling met RFNBOs van 5,5%	Geen subdoelstelling
RFNBOs	Subdoelstelling met Annex IX-A biobrandstoffen van 5,5%, met verplicht aandeel van 1% voor RFNBOs in 2030 Indicatief subdoel van 1,2% voor lidstaten met maritieme havens in 2030	Multiplier van 2 in 2025-2033; bij aandeel > 1% in 2031 invoering van een subdoelstelling ⁶ van 2% met ingang van 2034
LNG	Mag niet bijdragen	Mag wel bijdragen
Referentie voor reductie van broeikasgasintensiteit	94 g CO ₂ -eq/MJ als "fossil fuel comparator" voor alle modaliteiten in transport	91,16 g CO ₂ -eq/MJ (gebaseerd op de gemiddelde broeikasgas-intensiteit scheepvaart in 2020)

⁶ Invulling hiervan mag ook met hernieuwbare brandstoffen met een gelijkwaardige broeikasgasemissiereductie als RFNBO's, met uitzondering van Annex IX-B biobrandstoffen.

2.7 EU-ETS: EUROPESE CO₂-EMISSIEHANDELSYSTEEM (UITBREIDING NAAR ZEEVAART)

2.7.1 Werking van EU-ETS

Het Europese CO₂-emissiehandelsysteem (EU Emissions Trading System; EU-ETS) is ingevoerd in 2005 en is een marktinstrument ("cap-and-trade") gericht op de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen in de EU. Dit systeem omvat een plafond voor de CO₂-emissies van de bedrijven die onder het systeem vallen. Momenteel vallen zo'n 11.000 bedrijven (elektriciteitsproductie, energie-intensieve industrie) en luchtvaartmaatschappijen met vluchten binnen Europa onder het ETS. Deze bedrijven moeten emissierechten hebben voor de CO₂ die zij uitstoten (één emissierecht is equivalent aan 1 ton CO₂). Als bedrijven niet voldoende emissierechten hebben, kunnen zij ervoor kiezen om zelf hun CO₂-uitstoot te reduceren of om emissierechten te kopen van andere bedrijven, die een overschot aan emissierechten hebben. Doordat vragers en aanbieders handelen in emissierechten, krijgt de uitstoot van CO₂ een prijs en ontstaat een financiële prikkel om CO₂-emissies te reduceren. Reductie van broeikasemissies gebeurt daar waar dit het goedkoopste kan.

Doordat de maximale hoeveelheid broeikasgassen die de bedrijven gezamenlijk mogen uitstoten jaarlijks steeds lager wordt, neemt het aantal emissierechten in het ETS-systeem in de tijd af. Het emissieplafond zal met ingang van 2024 versneld te dalen met 4,3% per jaar (dit is nu 2,2% per jaar) en tussen 2028 – 2030 met 4,4% per jaar. Hierdoor zal naar verwachting de prijs voor emissierechten blijven stijgen. Indien de jaarlijkse verlaging met 4,4% wordt voortgezet na 2030, dan zullen in 2039 geen emissierechten meer beschikbaar zijn.

2.7.2 Zeevaart in EU-ETS

In december 2022 is een Europees akkoord bereikt over de herziening van het ETS, waarbij het systeem wordt uitgebreid naar de zeevaart. Hiermee komen de CO₂-emissies van schepen die vracht- en/of passagiers vervoeren boven 5000 bruto tonnage onder ETS te vallen. Op deze manier gaat ook zeevaart via het ETS bijdragen aan de Europese CO₂-emissiereductiedoelstelling van 55% in 2030.

Naar verwachting zullen de brandstofkosten voor zeevaart binnen de EU stijgen als gevolg van het onderbrengen van deze sector in ETS. Hierbij moet worden opgemerkt dat de CO₂-prijs wordt bepaald door de kosten voor het reduceren van broeikasgasemissies in alle industriële sectoren die onder ETS vallen, dus niet alleen door de kosten in zeevaart.

Met de uitbreiding van het ETS naar zeevaart moeten scheepseigenaren jaarlijks emissierechten inleveren voor hun CO₂-emissies, voor het eerst in 2025. Dit gebeurt in fases, namelijk in 2025 voor 40% van de gerapporteerde emissies in 2024, in 2026 voor 70% van de gerapporteerde emissies in 2025 en vanaf 2027 voor 100% van de gerapporteerde emissies. CO₂-emissies in havens en tussen havens in de EU/EER tellen volledig mee en vaarten van havens in de EU/EER naar niet-Europese havens en andersom tellen voor 50% mee. Bij de start gaat het hierbij alleen om CO₂-emissies die aan boord van schepen ontstaan, dus de uitlaatemissies ("tank-to-wake", TTW). Vanaf 2026 vallen ook methaan (CH₄) en distikstofoxide/lachgas (N₂O) onder het systeem. De CO₂-uitstoot aan de uitlaat van biobrandstoffen die voldoen aan de duurzaamheids- en broeikasgasemissie-eisen van de Richtlijn hernieuwbare energie (RED, zie 2.6) wordt in het ETS op nul gesteld. Hiervoor hoeven scheepseigenaren dus geen emissierechten in te leveren. Voor hoe hernieuwbare synthetische brandstoffen (RFN-BO's) en brandstoffen uit gebruikte koolwaterstof (RCFs) worden behandeld onder ETS wordt besluitvorming verwacht in de loop van 2024. Voor gebruik van CCS aan boord van schepen is ook nog niet duidelijk hoe dit wordt meegenomen in ETS.

Bij het onderbrengen van zeevaart onder het ETS wordt voor de rapportage van CO₂-emissies aangesloten bij de bestaande systematiek van monitoring, rapportage en verificatie van de EU-MRV verordening (zie 2.2). Deze wordt op onderdelen aangepast, onder andere in verband met het gewenste toezicht door nationale autoriteiten in de EU lidstaten (waar private verificateurs tot op heden een centrale rol spelen), in Nederland de Nederlandse Emissieautoriteit (NEa). Het niet kunnen overleggen van het vereiste aantal emissierechten kan leiden tot hoge boetes of zelfs verwijdering uit EU havens.

In 2026 wordt het ETS herzien. Zoals hierboven genoemd wordt per 2026 de scope van ETS uitgebreid naar emissies van andere broeikasgassen dan CO₂, namelijk CH₄ en N₂O (deze worden vanaf 2024 gerapporteerd onder EU-MRV). Ook zullen er besluiten genomen worden over uitbreiding naar kleinere schepen (vanaf 400 bruto tonnage) en/of andere scheepstypes. Ook kan een uitbreiding van uitlaatemissies ("tank-to-wake") naar ketenemissies ("well-to-wake") deel uitmaken van een mogelijke herziening. Figuur 6 bevat een schematische weergave van de verschillen in systematiek tussen EU-MRV en EU-ETS en (mogelijke) wijzigingen hierin in de komende jaren.

Figuur 6 Verschillen in systematiek tussen EU-ETS en EU-MRV⁷ (DNV, 2022b)

	System	Current	2024	2025	2026	2027	2028
Ship types	MRV	Ships transporting cargo or passengers		Ships transporting cargo or passengers and offshore ships			
	ETS	-	Ships transporting cargo or passengers	Ships transporting cargo or passengers and offshore ships			
Ship sizes	MRV	5000+ GT		General cargo and offshore ships 400+ GT			
	ETS	-	5000+ GT	By end-2026 evaluate general cargo and offshore ships 400+ GT for possible inclusion			
GHGs	MRV	CO ₂	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O				
	ETS	-	CO ₂	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O			
Voyage scope	MRV	100% of emissions on voyages and port calls within the EU/EEA and 100% of emissions on voyages into and out of the EU/EEA.					
	ETS	-	100% of emissions on voyages and port calls within the EU/EEA. 50% of emissions on voyages into and out of the EU/EEA.				
Phase-in	MRV	100%					
	ETS	-	40%	70%	100%		

2.8 ETD: RICHTLIJN ENERGIEBELASTINGEN (HERZIENING)

De Richtlijn energiebelastingen ("Energy Taxation Directive", ETD) vormt het Europese kader voor de accijns op brandstoffen voor vervoer in de Europese lidstaten. De revisie van de ETD is erop gericht om het gebruik van fossiele brandstoffen te ontmoedigen en het gebruik van alternatieven met een lagere broeikasgasemissie te stimuleren. Op dit moment zijn bunkerbrandstoffen voor zeevaart die in de EU worden verkocht voor vaarten binnen de EU vrij van accijns. De onderhandelingen over de herziening lopen nog ten tijde van het schrijven dit beleidsoverzicht. De hoofdpunten hieronder die relevant zijn voor zeevaart zijn daarom gebaseerd op het voorstel van de Europese Commissie voor herziening van de ETD van 14 juli 2021.

Als de revisie van de ETD doorgang vindt, dan krijgen alle fossiele brandstoffen, ook die voor zeevaart, een hoog (minimum) accijnstarief. Verder wordt er in de accijnstarieven een rangschikking aangebracht om zo het prijsverschil tussen fossiele brandstoffen en hernieuwbare energiedragers verder te verkleinen. In het voorstel krijgen duurzame biobrandstoffen een lager tarief en worden hernieuwbare synthetische brandstoffen (RFNBOs in REDII/III, 2.6), geavanceerde duurzame biobrandstoffen en elektriciteit met het laagste tarief belast.

⁷ In de figuur staat aangegeven "ships transporting cargo or passengers" maar er zijn ook schepen die beide vervoeren zoals veerboten.

2.9 DUURZAAMHEIDSRAPPORTAGE EN DUURZAAMHEIDSKADER

2.9.1 CSRD: Europese richtlijn voor duurzaamheidsrapportage

In januari 2023 is de Europese richtlijn voor duurzaamheidsrapportage ("Corporate Sustainability Reporting Directive", CSRD) in werking getreden. Deze richtlijn verplicht grote Europese bedrijven om te rapporteren over de duurzaamheid van hun activiteiten. Dit geldt ook voor sommige niet-EU bedrijven die meer dan 150 miljoen Euro omzet behalen op de Europese markt. Deze richtlijn is de opvolger van de "Non-financial Reporting Directive" (NFRD) uit 2014. Bedrijven met een rapportageverplichting vanuit de CSRD moeten rapporteren volgens geharmoniseerde regels, de "European Sustainability Reporting Standards" (ESRS), die eind 2023 zijn gepubliceerd⁸. Bedrijven moeten de nieuwe rapportageregels voor het eerst toepassen op het financiële jaar 2024, voor rapporten die worden gepubliceerd in 2025. Hiermee hebben investeerders en andere belanghebbenden toegang tot de informatie die zij nodig hebben om de duurzaamheidsimpact van bedrijven in te schatten en (financiële) kansen en risico's die daarmee samenhangen.

In hun rapportage moeten bedrijven hun uitstoot van broeikasgasemissies in kaart brengen⁹. Het gaat hierbij enerzijds om de directe emissies van de activiteiten van het bedrijf, zogenaamde Scope 1 emissies. Hieronder vallen dus de directe emissies van verbranding van niet-biogene brandstoffen. Directe CO₂-emissies van verbranding van biobrandstoffen vallen niet onder een van de scopes maar moeten apart worden gerapporteerd. Anderzijds moet gekeken worden naar indirecte emissies. Indirecte emissies van productie van elektriciteit en warmte die elders wordt opgewekt maar gebruikt wordt door het bedrijf vallen onder Scope 2 emissies. Scope 3 emissies omvatten andere indirecte emissies als gevolg van de activiteiten van een bedrijf, upstream en downstream in de keten. Daarmee vallen de emissies van brandstofproductie van de brandstoffen die bijvoorbeeld een scheepvaartonderneming gebruikt onder Scope 3 emissies. Voor bijvoorbeeld verladers en banken vallen scheepsemissies onder hun Scope 3 emissies. Op dit moment bevat de CSRD alleen een rapportageverplichting voor bedrijven en (nog) geen reductieverplichting. Wel moeten zij in hun rapportage een plan opnemen waarmee zij de uitstoot van broeikasgassen willen verminderen.

2.9.2 EU Taxonomie voor duurzame activiteiten

Duurzame financiering is een essentieel onderdeel om de CO₂-reductiedoelen van de Europese Green Deal te realiseren. Om een duurzame investering te kunnen doen is

⁸ Zie voor de ESRS: [Delegated regulation - EU - 2023/2772 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

⁹ Zie voor GHG Protocol en Scope 1/2/3 emissies: [Homepage | GHG Protocol](#)

het belangrijk om te weten of een investering daadwerkelijk duurzaam is. Oftewel, er moet een eenduidige, geharmoniseerde definitie zijn van een duurzame investering en “green washing” moet worden voorkomen. Met het oog hierop heeft de Europese Commissie in juli 2020 een nieuw wetgevend kader gepubliceerd, de zogenaamde Taxonomie Verordening (“Taxonomy Regulation”¹⁰), die in werking is getreden in 2020. Sinds januari 2023 moeten Europese bedrijven en financiële instellingen met een rapportageverplichting aangeven welk percentage van hun investeringen als duurzame economische activiteiten aangemerkt kunnen worden volgens de Europese taxonomie (“taxonomy aligned”).

De taxonomie omvat een classificatiesysteem, dat criteria definieert voor economische activiteiten, die in lijn zijn met een klimaatneutrale economie in 2050 en die daarnaast ook andere milieuaspecten omvat. De afgelopen jaren heeft de Europese Commissie een lijst ontwikkeld met activiteiten die als duurzaam beschouwd mogen worden onder welke voorwaarden. Aanvankelijk omvatte de taxonomie alleen criteria met betrekking tot klimaatmitigatie en -adaptatie. Later zijn ook milieueisen toegevoegd, zoals op het gebied van duurzaam watergebruik, transitie naar een circulaire economie, preventie en controle op vervuiling en bescherming en herstel van biodiversiteit en ecosystemen.

De classificatie van economische activiteiten omvat diverse activiteiten die van belang zijn voor transport, waaronder de productie en het gebruik van vervoermiddelen, laad- en tankinfrastructuur en productie van energiedragers, zoals hernieuwbare elektriciteit, biobrandstoffen, biogas en waterstof. Bij de criteria die van toepassing zijn op duurzame brandstofproductie en zeevaart wordt veelal verwezen naar andere regelgeving op Europees (RED (zie 2.6), FuelEU Maritime (zie 2.5)) of mondiaal (IMO EEDI/EEXI, zie 1.2) niveau. Als hulpmiddel bij het rapporteren is de EU Taxonomy Navigator¹¹ ontwikkeld. Om de criteria per economische activiteit gemakkelijker te kunnen terugvinden, kan men gebruik maken van het EU Taxonomy Compass¹².

3 GERAADPLEEGDE BRONNEN

- DNV (2022a): Maritime forecast to 2050 – 2022 edition. [Maritime Forecast to 2050, 2022 edition \(dnv.com\)](#)
- DNV (2022b): Webinar MEPC 79 in focus – Revising future GHG ambitions.
- DNV (2023): Maritime forecast to 2050 – 2023 edition. [Maritime Forecast to 2050 - DNV](#)
- E4Tech (2018): Masterplan for CO₂ reduction in the Dutch shipping sector. [180601_E4tech_PDB-Masterplan_FinalReport_v5.0.pdf \(artfuelsforum.eu\)](#)
- Guidehouse (2022): ReFuel, FuelEU and REDIII. Discrepancies in the proposals and potential impacts on the Dutch transport sector. [ReFuel, FuelEU and REDIII. Discrepancies in the proposals and potential impacts on the Dutch transport sector | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)
- IEA Bioenergy Task 39 (2021): Progress towards biofuels in marine shipping. [Progress towards biofuels for marine shipping | Bioenergy \(ieabioenergy.com\)](#)
- International Maritime Organization (2023): [Revised GHG reduction strategy for global shipping adopted \(imo.org\)](#)
- ISCC presentaties workshop Sustainable Marine Fuels (2023). [Sustainable Marine Fuels › ISCC System \(iscc-system.org\)](#)
- Lloyd's Register (2023): EU 'Fit for 55' – FuelEU Regulation. Class news release 30-03-2023. [EU 'Fit for 55' – FuelEU Regulation \(pardot.com\)](#)
- [Lloyd's Register \(2023\): IMO Marine Environment Protection Committee - Eightieth Session \(MEPC 80\) Summary Report. maritime.lr.org/MEPC-80-Summary-Report](#)
- [MEPC 79 in focus – Revising future GHG ambitions - DNV](#) (december 2022).
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2022). Kamerbrief over klimaatbeleid zeevaart. [Kamerbrief over klimaatbeleid zeevaart | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)
- PROW (2023): The financial consequences of bringing shipping under ETS: a preliminary review.
- [Sustainable maritime fuels \(europa.eu\)](#); Briefing Sustainable Marine Fuels
- Website DNV ([Decarbonize shipping - DNV](#))
- Website Europese Commissie: [European Commission, official website - European Commission \(europa.eu\)](#) (REDII/REDIII, FuelEU Maritime, AFIR, ETS, CSRD, EU Taxonomie)
- Website [Fit for 55: hervorming van het EU-emissiehandelssysteem - Consilium \(europa.eu\)](#)
- Website IMO ([www.imo.org](#))
- Website Nederlandse emissieautoriteit (NEa) ([www.emissieautoriteit.nl](#))

¹⁰ Voor meer informatie over de Taxonomy Regulation, zie: https://ec.europa.eu/info/publications/210421-sustainable-finance-communication_en

¹¹ [EU Taxonomy Navigator \(europa.eu\)](#)

¹² [EU Taxonomy Compass | European Commission \(europa.eu\)](#)

