



# KLIMAATNEUTRALE BINNENVAART IN 2050

Een verkenning van beelden en paden daar naartoe

**M. Traa, R. Verbeek, G. Geilenkirchen, J. Harmsen**

26 maart 2024

## Colofon

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving  
Den Haag, 2024  
PBL-publicatienummer: 5220  
TNO nummer: TNO 2024 P10122

## Contact

Michel.Traa@pbl.nl

## Auteurs

Michel Traa (PBL), Ruud Verbeek (TNO), Gerben Geilenkirchen (PBL), Jorrit Harmsen (TNO)

## Met dank aan

Het PBL en TNO zijn dank verschuldigd aan Richard Smokers (TNO) voor het reviewen van recente versies van dit rapport en aan Martin Quispel (EICB), Robert Hekkenberg (TU Delft) en Rens Vermeulen (Ministerie IenW) voor het reviewen van eerdere versies.

## Redactie figuren

Inge Stammes

## Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via [info@pbl.nl](mailto:info@pbl.nl). Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Traa et al. (2024), Klimaatneutrale binnenvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het PBL doet onderzoek naar de leefomgeving en het leefomgevingsbeleid in Nederland en daarbuiten. Denk aan milieu, natuur en ruimtelijke inrichting. Met onze verkenningen, analyses en evaluaties leveren we strategische kennis voor beleid, politiek, maatschappelijke organisaties en het bredere publiek. We geven daarbij niet alleen feiten en inzichten over het hier en nu, maar kijken ook vooruit naar de nabije en verdere toekomst. We doen ons onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk onderbouwd.

TNO is een onafhankelijke onderzoeksorganisatie. Wij verbinden mensen en kennis om innovaties te creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken. Hiertoe zijn wij bij wet opgericht als publiekrechtelijke rechtspersoon. Deze TNO-wet geeft ons een aantal bijzondere taken en kaders en verbindt daaraan specifieke voorwaarden waaronder wij ons werk moeten uitvoeren. Het doel daarvan is dat wij onafhankelijk en betrouwbaar oplossingen kunnen blijven creëren voor de uitdagingen die de samenleving ons stelt.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>15</b>
<b>2 Het speelveld</b>	<b>19</b>
2.1 Trends in vervoersvolumes en emissies	19
2.2 Hoe is de sector gereguleerd?	22
2.3 Europees beleid en onderliggende onderzoeken	24
2.3.1 Beleidsdoelen en onderzoeken van de CCR	24
2.3.2 Beleidsvoorstellen en actieplannen van de EU	27
2.4 Nationaal beleid voor verduurzaming binnenvaart	31
<b>3 Duurzame technologieën en energiedragers</b>	<b>34</b>
3.1 Overzicht energiedragers	34
3.2 Technology & Commercial Readiness Level	36
3.3 Kosten	39
3.4 Milieu-impact en energievraag	44
3.5 Toepasbaarheid	46
3.6 Verwachte vervangingssnelheid van de vloot	49
<b>4 Beelden voor klimaatneutrale binnenvaart in 2050</b>	<b>52</b>
4.1 Efficiëntieverbetering	52
4.2 Volumeontwikkeling	55
4.3 Beelden voor de energievraag	58
<b>5 Onzekerheden en uitdagingen</b>	<b>64</b>
<b>6 Handelingsperspectief</b>	<b>68</b>
<b>Referenties</b>	<b>71</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>75</b>
Bijlage 1 Toelichting TRL & CRL	75
Bijlage 2 Bio- en e-brandstoffen voor binnenvaart	77
Bijlage 3 Energiedichtheid brandstoffen	79
Bijlage 4 Energie-efficiëntie	80
Bijlage 5 Raming energievraag tot 2050	82

# Samenvatting

De binnenvaart heeft een relatief groot aandeel in het goederenvervoer in Nederland (42% van de ladingtonkilometers van de goederenvervoersector exclusief bestelauto's op Nederlands grondgebied), en speelt hiermee een belangrijke rol in Europa. De belangrijke rol van Nederland in de internationale binnenvaart zit in het verbinden van de Nederlandse zeehavens met het achterland. Nederland heeft tevens de grootste binnenvaartvloot van Europa. De binnenvaartvloot op de Rijn bestond in 2020 uit bijna 10.000 schepen voor het goederenvervoer en ongeveer 2.200 passagiersschepen. Een groot gedeelte van deze schepen vaart onder Nederlandse vlag (iets meer dan de helft met respectievelijk ongeveer 5.000 en 1.200 schepen). Tegelijkertijd veroorzaakt de binnenvaartsector een uitstoot van broeikasgassen van 3 megaton CO<sub>2</sub>-equivalenten<sup>1</sup> en is er nog geen zicht op een snelle afname daarvan. Sinds enkele jaren vormen beleidsplannen en -maatregelen om klimaatverandering tegen te gaan een politieke prioriteit. Ook de binnenvaart zal een significante bijdrage moeten leveren aan de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Zo heeft de Europese Commissie (EC) in haar *Sustainable and Smart Mobility Strategy* als doel gesteld om in 2050 de CO<sub>2</sub>-emissies in de transportsector met 90% te reduceren ten opzichte van het niveau in 1990. De Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) streeft naar een reductie van broeikasgassen van de binnenvaart van 35% in 2035 en 90% in 2050 ten opzichte van het niveau in 2015. Nederland heeft als doel om de binnenvaart in 2050 klimaatneutraal te hebben. Daarnaast hebben Nederland en de EU zichzelf ten doel gesteld om als samenleving in (uiterlijk) 2050 volledig klimaatneutraal te zijn.

Om een beeld te krijgen van de consequenties van deze doelen verkennen PBL en TNO hoe klimaatneutrale binnenvaart in 2050 eruit kan zien in Nederland en hoe de paden daar naartoe kunnen verlopen. We schetsen hiervoor twee beelden van de samenstelling van de energievraag in 2050 en transitiepaden ernaartoe om te verkennen welke mogelijkheden, uitdagingen en onzekerheden we tegenkomen. We sluiten het rapport af met handelingsperspectieven voor beleid, industrie en de binnenvaartsector om de komende 10 tot 15 jaar stappen richting een klimaatneutrale binnenvaart te zetten. Dit onderzoek maakt onderdeel uit van een gezamenlijke studie van PBL en TNO naar een klimaatneutraal mobiliteitssysteem in 2050. In een aanpalende studie van PBL genaamd 'Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050' (TVKN) wordt onderzocht hoe de Nederlandse samenleving als geheel klimaatneutraal kan worden in 2050 en welke emissiereducties daarbij passen in de verschillende delen van de economie en de samenleving (PBL 2024). De transitiepaden voor de binnenvaart, die in de voorliggende studie zijn uitgewerkt, dienen daarvoor als input.

## ***Duurzame energiedragers met bijbehorende technologieën aan boord zijn cruciaal***

Het energiegebruik in de binnenvaart bestaat historisch vrijwel volledig uit fossiele brandstof. De Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022 raamt bij vastgesteld en voorgenomen beleid een lichte

---

<sup>1</sup> In 2019 bedroegen de broeikasgasemissies van de binnenlandse mobiliteit (van de gehele mobiliteitssector inclusief mobiele werktuigen) ongeveer 35 megaton CO<sub>2</sub>-equivalenten en de broeikasgasemissies die gerelateerd zijn aan de in Nederland verkochte brandstoffen voor de internationale lucht- en scheepvaart ongeveer 49 megaton (KEV 2022). De uitstoot van de binnenlandse binnenvaart en de in Nederland verkochte bunkerbrandstoffen aan de internationale binnenvaart bedroeg 3 megaton CO<sub>2</sub>-equivalenten.

toename van biobrandstoffen tot 2040, maar ook een groei van het gebruik van fossiele brandstof.<sup>2</sup> De uitstoot van broeikasgassen neemt hierdoor ook verder toe. De binnenvaart zit dus nog niet op een pad naar klimaatneutraal. Om tot klimaatneutrale binnenvaart in 2050 te komen is naast energiebesparing de inzet van duurzame energiedragers met bijbehorende technologieën aan boord van schepen cruciaal. In dit rapport verkennen we de mogelijkheden van verschillende technologieën, onder te verdelen in biobrandstoffen (biodiesel, biogas en biomethanol) en op elektriciteit gebaseerde energiedragers en aandrijvingen (e-brandstoffen als e-diesel, e-methanol, e-ammoniak en duurzame waterstof of batterij-elektrische aandrijving). De impact van deze brandstof- en aandrijflijnopties is geëvalueerd op verschillende criteria: technische en commerciële beschikbaarheid, kosten, milieu-impact en primaire energievraag en toepasbaarheid in schepen.

### *Duurzame alternatieven nog volop in ontwikkeling*

De technische volwassenheid en commerciële beschikbaarheid zijn cruciale randvoorwaarden voor opschaling van technologieën en toepassing in de markt. Momenteel (medio 2023) zijn alleen de aandrijflijnen en energie-infrastructuur voor duurzame diesel en bio-LNG volledig technisch uitgewerkt en commercieel beschikbaar. De andere technologieën zijn nog in ontwikkeling, wat groot-schalige uitrol op dit moment nog niet mogelijk maakt. Er is een eerste toepassing van batterij-elektrische aandrijving met verwisselbare batterijcontainers. Voor methanol en waterstof in combinatie met verbrandingsmotoren of brandstofcellen zijn nog geen standaardproducten beschikbaar voor de binnenvaart. Wel zijn met name voor waterstof eerste proeftoepassingen gedaan of gepland. De benodigde infrastructuur ontbreekt nog, zeker buiten de zeehavens.

Voor ontwikkeling van motoren wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van motoren die oorspronkelijk voor andere markten zijn ontwikkeld zoals voor wegtransport, stationaire markten of zeevaart. Dit zal ook voor de nieuwe energieomzetters<sup>3</sup> gelden. Een groot productievolume is nodig om productiekosten te verlagen. Vooral voor waterstof en methanol kan een beperkt aanbod van energieomzetters voor de binnenvaart de inzetbaarheid van deze opties gaan hinderen. Voor accu-elektrische aandrijving is reeds een aantal commerciële producten beschikbaar.

### *Kosten duurzame energiedragers en aandrijflijnen liggen hoger*

De onzekerheden over de toekomstige productiekosten van de verschillende typen biobrandstoffen en e-brandstoffen zijn groot, vooral omdat veel typen momenteel nog niet op wezenlijke schaal geproduceerd worden. Verwacht wordt dat door verduurzaming de energiekosten in de binnenvaart gaan toenemen ten opzichte van historische niveaus. Of de duurzame energiedragers en aandrijflijnen in de toekomst voor de eindgebruiker ook duurder zullen zijn dan het gebruik van fossiele dieselbrandstof hangt ook af van hoe de prijs van diesel zich ontwikkelt. Bij ambitieus klimaatbeleid en bijbehorende koolstofbelastingen zou in 2040 de prijs van biobrandstoffen vergelijkbaar kunnen zijn met die van fossiele diesel. Duurzame waterstof kan in 2040 naar verwachting

---

<sup>2</sup> De KEV2023 levert hetzelfde beeld op. Wel is de toename van het gebruik van biobrandstof door de binnenvaart licht naar boven en die van fossiele brandstof licht naar beneden bijgesteld als gevolg van de REDIII. De geraamde uitstoot van broeikasgassen door de binnenvaart in 2040 is hierdoor nog marginaal groter dan in 2019.

<sup>3</sup> We hanteren in dit rapport de term “energieomzetters” die meer omvat dan motoren alleen. Onder energieomzetters vallen motoren (verbrandingsmotoren of elektromotoren) en brandstofcell-systemen.

redelijk concurrerend met biobrandstoffen worden geproduceerd (hoewel de onzekerheden groot zijn). De geprojecteerde kostprijs voor e-diesel en e-methanol ligt een factor 2 tot 3 hoger dan die voor de biologische equivalenten.

De investeringskosten in de aandrijflijn aan boord van het schip kunnen factoren hoger zijn dan voor een standaard dieselaandrijflijn. Dit geldt met name voor bio-LNG en in nog sterkere mate voor waterstof in combinatie met brandstofcellen. De meerkosten van deze technologieën nemen naar verwachting wel af, maar omdat de systemen complexer en uitgebreider zijn zal sprake blijven van hogere kosten in vergelijking met de dieselaandrijving die nu wordt toegepast. Ook de kosten van batterijen zullen naar verwachting dalen, omdat op dit gebied veel onderzoek plaatsvindt en er geprofiteerd wordt van schaalvoordelen door grootschalige inzet in andere toepassingen. Door de grote onzekerheden in (de ontwikkeling van de) brandstof- en aandrijflijnkosten, is er nog geen goede vergelijking van de verschillende opties op basis van totale kosten (total cost of ownership) op langere termijn mogelijk. Belangrijke kanttekening is bovendien dat marktprijzen van energiedragers door schaarste (veel) hoger kunnen zijn dan de productiekosten. Toekomstige marktprijzen zijn niet te voorspellen, maar er is een reëel risico op schaarste van hernieuwbare energiedragers als productievolumes niet snel genoeg op gang komen om aan de toenemende vraag vanuit verschillende delen van de economie te voldoen.

#### *Meeste routes zijn niet volledig nulmissie, energierendement varieert sterk*

Het gebruik van biobrandstoffen en e-brandstoffen in combinatie met een verbrandingsmotor resulteert, net als het huidige gebruik van fossiele diesel, in uitstoot van luchtverontreinigende stoffen zoals stikstofoxiden en fijnstof. Alleen bij gebruik van waterstof in brandstofcellen of batterij-elektrische aandrijving is daadwerkelijk sprake van nulmissie aan de uitlaat. De hoogte van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen bij toepassing van andere energiedragers wordt bepaald door de Europese regelgeving voor nieuwe motoren. Als gevolg van de zogenoemde Stage-V emissienormen moeten nieuwe dieselmotoren sinds 2020/2021 relatief schoon zijn, met lage uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en fijnstof. Hiervoor wordt uitlaatgasnabehandeling toegepast. Bij gebruik van biobrandstoffen, methanol of waterstof in Stage-V verbrandingsmotoren gelden dezelfde emissienormen en resulteren min of meer dezelfde emissieniveaus. Daardoor zal naar verwachting de NO<sub>x</sub>- en fijnstofuitstoot niet wezenlijk veranderen bij gebruik van biobrandstoffen, methanol of waterstof in een verbrandingsmotor (in plaats van fossiele diesel).

De primaire duurzame energievraag van de verschillende klimaatneutrale opties kan sterk uiteen lopen door verschillen in het totale ketenrendement. Dit is het rendement van bron tot mechanische arbeid in het schip. In de literatuur wordt de totale keten vaak aangeduid met de deeltakken van bron tot tank (well-to-tank; WtT) en van tank tot kielzog (tank-to-wake; TtW). Batterij-elektrisch varen heeft hier een voordeel vanwege het zeer hoge ketenrendement van bron tot kielzog. Voor vrijwel alle andere opties (geavanceerde biobrandstoffen, e-brandstoffen, waterstof) ligt het ketenrendement veel lager (als gevolg van verliezen in zowel de WtT-keten als de energieomzetting aan boord) en is er dus veel meer hernieuwbare energie nodig voor dezelfde vervoersprestatie. Bij gebruik van waterstof en e-fuels zijn elektrolyzers nodig om duurzame elektriciteit om te zetten in waterstof. De huidige duurzame waterstofproductie is nog minimaal, terwijl de vraag snel kan oplopen vanuit onder andere de industrie en de lucht- en scheepvaart.

#### *Toepasbaarheid in schepen varieert sterk tussen de alternatieven*

De energiedichtheid op basis van massa en volume verschilt sterk tussen de verschillende energiedragers, vooral omdat het tankgewicht en de vorm van de tank moeten worden meegenomen.

Methanol en vloeibaar (bio)gas nemen aan boord van het schip al snel een factor 2 tot 3 meer volume in beslag dan dieselbrandstof bij een vergelijkbare autonome vaarduur<sup>4</sup>. Bij ammoniak en waterstof kan dat oplopen tot een factor 6 à 18, terwijl voor batterij-elektrisch dit een factor 50-100 betreft.<sup>5</sup> Voor waterstof en batterij-elektrisch zal moeten worden geaccepteerd dat de autonome vaarduur ingekort wordt tot één of enkele dagen. Dit vereist een fijnmazige energie-infrastructuur. Ter vergelijking: voor dieselbrandstof is een autonome vaarduur van 1 tot 2 weken gebruikelijk.

Ook veiligheid is voor toepassing van de energiedrager aan boord en voor het bunkerproces een belangrijke factor. Voor batterij-elektrisch en toepassing van waterstof en methanol zijn veiligheidsstudies gemaakt en is wetgeving in de maak vanuit de CCR. Voor ammoniak is nog onvoldoende zicht op veiligheidsaspecten. Hier moet nog onderzoek naar worden gedaan. In de binnenvaartsector is er nog nauwelijks belangstelling voor ammoniak als brandstof, vooral vanwege zorgen over externe veiligheid.

#### *Lange levensduur binnenvaartmotoren kan transitie vertragen*

Om de binnenvaartvloot in 2050 klimaatneutraal te krijgen zullen alternatieve aandrijflijnen ook in bestaande schepen ingebouwd moeten worden, of bestaande schepen moeten op biodiesel of e-diesel gaan varen, wat relatief lichte aanpassingen vergt aan boord van het schip. Binnenvaartschepen kunnen erg lang in de vaart blijven (meer dan 50 jaar is geen uitzondering). Gedurende die tijd worden motoren vaak tussentijds gereviseerd (opgeknapt) en/of vervangen. De tijdsduur tot aan een complete revisie van de motor ligt bij veel scheepstypen rond de 20 jaar (bij duwbotten met vermogens boven 1 MW is dit 7 tot 9 jaar). Na revisie kunnen motoren nogmaals hetzelfde aantal jaren meegaan. De lange levensduur van de motoren kan daarmee het doel van klimaatneutraal in 2050 in gevaar brengen of –bij versnelde vervanging– tot hogere afschrijvingskosten leiden.

#### **Ontwikkeling transportvolumes en energie-efficiëntie ook van belang in transitie**

Naast de hernieuwbare energiedragers en bijbehorende aandrijflijnen zijn ook de ontwikkelingen van de vervoersvolumes en de energie-efficiëntie in de binnenvaart van belang voor het transitiepad naar klimaatneutraliteit. Beide ontwikkelingen beïnvloeden de benodigde hoeveelheid hernieuwbare energie, maar zijn ook van invloed op bijvoorbeeld de meerkosten die met de transitie naar klimaatneutraal gepaard gaan.

#### *Efficiëntieverbetering kan ook bijdrage leveren aan pad naar klimaatneutraal*

De hogere kosten van de duurzame energiedragers en bijbehorende aandrijflijnen geven een sterke stimulans om de efficiëntie van de schepen en van het vaargedrag te verhogen. Dit draagt bij aan het reduceren van de energievraag en maakt daarmee ook de transitie kansrijker, gegeven dat hernieuwbare energie in een duurzaam energiesysteem schaars kan worden (PBL 2024). Efficiëntieverbetering in de binnenvaart lijkt vooral mogelijk via een combinatie van het verhogen van de motorefficiëntie en *right-sizing*, ofwel het gebruik van motoren met het juiste motorvermogen voor het betreffende schip, hydrodynamische maatregelen aan het schip en energie-efficiënt varen in combinatie met logistieke efficiëntie.

---

<sup>4</sup> Autonome vaarduur is de vaarduur zonder tussentijds bij te tanken of elektrisch te laden.

<sup>5</sup> De factor 100 zou op termijn van 10 jaar kunnen halveren, vanwege een toename in energiedichtheid van de accu, volgens contacten bij leverancier. Na 2030 zal het waarschijnlijk verder dalen.

Er is nog geen goed beeld van het effect van deze maatregelen op de energie-efficiëntie. We komen op basis van literatuur en *expert judgement* tot een ruwe schatting van in totaal 15% tot 20% reductie van brandstofverbruik als gevolg van efficiëntieverbetering in 2050 ten opzichte van het niveau in 2020, onder invloed van hogere brandstofkosten en betere brandstofmonitoring. Met gericht beleid is waarschijnlijk een hogere efficiëntieverbetering mogelijk. Dan moet gedacht worden aan maatregelen die ook voor zeevaart zijn of worden ingevoerd, zoals verplichte rapportage van CO<sub>2</sub>-uitstoot en energiegebruik, opname in het Europese emissiehandelsstelsel (EU-ETS), belasting op brandstoffen, et cetera.

#### *Ontwikkeling transportvolume in de binnenvaart onzeker*

De ontwikkeling van de transportvolumes in de binnenvaart is onzeker en mede afhankelijk van de snelheid en vormgeving van de energietransitie. De toekomstige samenstelling van de energievraag in Nederland en omliggende landen is sterk afhankelijk van kostenontwikkelingen en beschikbaarheid van technologieën, beleidsdoelen en maatschappelijk draagvlak. Dit werkt door in de ontwikkeling van het vervoer van energiedragers in de binnenvaart. Dit marktsegment had het afgelopen decennium een aandeel van ongeveer 30% in het totaal aantal tonnen dat door de binnenvaart werd vervoerd. Een wezenlijk deel van de huidige fossiele energiestromen in de binnenvaart kan op termijn wegvallen door de energietransitie, maar deels komen daar nieuwe energiedragers zoals biomassa of biobrandstoffen voor terug. Voor de paden in deze studie gaan we op basis van literatuur uit van een bandbreedte voor de groei van het transportvolume van 0,5% tot 1,0% per jaar. Er zijn echter ook studies waarin niet of nauwelijks groei wordt verwacht in de binnenvaart of waarin wordt gesproken van een krimp. Dit kan de investeringsmogelijkheden in verduurzaming van de sector onder druk zetten. In de scenario's verwachten we geen groot volume-effect van modal shift. De reikwijdte van het potentieel van de maatregel beperkt zich tot een deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het containervervoer.

#### **Transitiepaden naar klimaatneutrale binnenvaart in 2050**

Gezien alle onzekerheden rondom kosten en technologische ontwikkelingen is er nog geen duidelijk beeld te geven van de toekomstige typen en aandelen van duurzame energiedragers en aandrijflijnen voor een klimaatneutrale binnenvaart in 2050.

We schetsen daarom twee uiteenlopende transitiepaden waarmee de consequenties van de transitie naar klimaatneutraliteit voor de binnenvaartsector in den brede kunnen worden verkend. Uitgangspunt is dat het aantal energiedragers en aandrijftechnologieën dat zal worden ingezet in de verduurzaming van de binnenvaart beperkt blijft. Gezien de kleine omvang van de markt voor nieuwe binnenvaartschepen en -motoren achten we het niet waarschijnlijk dat een brede waaier aan aandrijftechnologieën met bijbehorende energie-infrastructuur zal worden ingezet. Dit zou hoge kosten met zich meebrengen. De paden moeten niet worden beschouwd als de meest waarschijnlijke uitkomsten van de transitie, maar als twee plausibele richtingen die de verduurzaming op kan gaan. We schetsen op basis van literatuur en eigen inzichten een *conservatief* en een *innovatief* transitiepad naar een klimaatneutrale binnenvaart in 2050.

#### *Innovatief transitiepad met een grote rol voor elektrische aandrijving en e-brandstoffen*

In het innovatieve transitiepad is er een grote rol voor nieuwe aandrijftechnologie (figuur S1). Dit vereist forse investeringen in de schepen. We verwachten in dit pad een belangrijke rol voor



batterij-elektrische aandrijving<sup>6</sup>. De business case voor batterij-elektrisch varen is al ver ontwikkeld en het concept van verwisselbare accucontainers maakt de financiering eenvoudiger. Ook kan de binnenvaart profiteren van ontwikkelingen voor accu-elektrische aandrijving en opslag in andere sectoren van de economie.

Batterij-elektrisch varen is waarschijnlijk niet voor alle marktsegmenten een reëel alternatief. We verwachten daarom in dit pad ook een grote rol voor waterstof of e-brandstoffen. Welke vorm dominant wordt is nog niet te zeggen. We hebben er in dit pad voor gekozen om de potentiële rol van waterstof te illustreren. Dit zou echter evenzogoed ingevuld kunnen worden met duurzame methanol, methaan, e-diesel of zelfs duurzame ammoniak. We houden in dit scenario een klein aandeel biodiesel aan voor oude schepen en schepen met een hoog energiegebruik en beperkte geschiktheid voor alternatieve technologieën en brandstoffen, zoals duwboten met een vermogen boven 2 MW.

#### *Conservatief transitiepad met een dominante rol voor biobrandstoffen*

In het conservatieve transitiepad is het aandeel batterij-elektrisch kleiner en is biodiesel dominant (figuur S1). Dit vereist beperkte investeringen in de vloot: er wordt grotendeels doorgevaren met huidige aandrijftechnologie. De meerkosten ten opzichte van de huidige dieselbrandstof en dieselaandrijflijn zullen in dit pad de komende 10 tot 15 jaar waarschijnlijk lager blijven dan in het innovatieve pad.

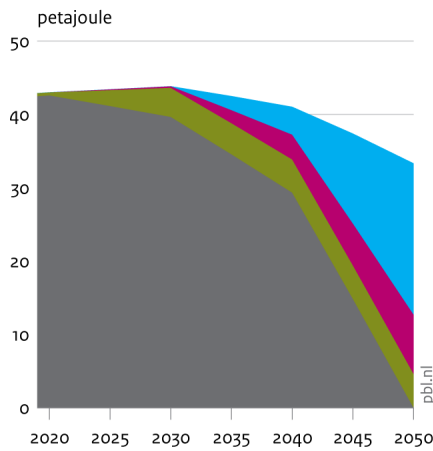
---

<sup>6</sup> Het aandeel batterij-elektrische aandrijving in de totale energievraag in Figuur S1 is bescheiden. Dit komt door het hoge energierendement, waardoor minder energie nodig is voor dezelfde vervoersprestatie. Het aandeel batterij-elektrische aandrijving in de vloot is daardoor wezenlijk hoger dan in het energiegebruik.

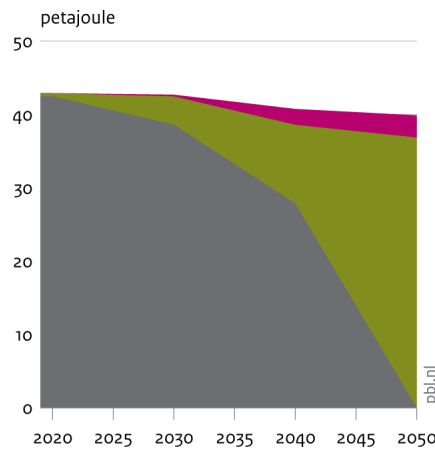
**Figuur S1**

**Energiemix van de binnenvaart in Nederland**

Innovatief transitiepad



Conservatief transitiepad



Bron: PBL & TNO

*NB: In het innovatieve transitiepad kan waterstof ook ingevuld worden door een op elektriciteit gebaseerde energiedrager (e-fuel) zoals e-methanol, e-diesel of e-ammoniak.*

**Onzekerheden en uitdagingen**

De paden zoals die hiervoor zijn geschetst komen niet vanzelf tot stand. We hebben in dit rapport de onzekerheden en uitdagingen om tot een klimaatneutrale binnenvaart in 2050 te komen onderverdeeld in de drie categorieën: energiesysteem, energieprijzen en energie-infrastructuur, operationele aspecten, en wetgevings- en financiële aspecten.

*Beschikbaarheid van hernieuwbare energiedragers en technologie cruciaal*

Een belangrijke uitdaging voor de energietransitie in de binnenvaart is de beschikbaarheid van hernieuwbare energie. Momenteel wordt in het wegtransport en de binnenvaart vooral relatief betaalbare biodiesel uit gebruikt frituurvet en dierlijk vet ingezet. De groei van duurzame vloeibare brandstoffen moet conform Europese regelgeving vrijwel uitsluitend komen uit minder eenvoudig te verwerken grondstoffen en uit e-brandstoffen. De productie van deze brandstoffen is nog gering. De groeiende vraag naar deze brandstoffen vanuit de transportsector en andere delen van de economie kan mogelijk leiden tot beperkingen in de beschikbaarheid van de grondstoffen.

De potentiële vraag vanuit de binnenvaart is echter bescheiden in vergelijking met de vraag die mogelijk vanuit de zeescheepvaart en luchtvaart resulteert. De prijzen van duurzame brandstoffen liggen wezenlijk hoger dan voor conventionele diesel. Het aandeel van de energiekosten in de totale transportkosten zal daarmee toenemen. Ook de ontwikkeling van aandrijflijnen die gebruik maken van nieuwe energiedragers is onzeker gezien de beperkte omvang van de binnenvaartmarkt. Bovendien zal er mogelijk schaarste ontstaan van kritieke materialen voor bijvoorbeeld accu's en batterijcontainers, waardoor de binnenvaart om deze technologie zal moeten concurreren met het wegverkeer en andere toepassingen.

Het is onzeker wat de prijzen van de duurzame energiedragers en aandrijflijnen op de lange termijn zullen zijn. Het is hiermee voor binnenvaartpartijen lastig om nu een goede afweging te maken in welke technologie zij het beste kunnen investeren. Hiervoor is verdere ontwikkeling en meer ervaring in de praktijk nodig.

### *Operationele impact van varen op elektriciteit of waterstof is groot*

De nieuwe energiedragers elektriciteit (met accu's) en waterstof hebben een grote impact op de operationele aspecten van de binnenvaart. Vaak zal het dagelijks wisselen van accu- of waterstofcontainers nodig zijn. Dit kan tijdverlies opleveren en een grotere afhankelijkheid van de beschikbaarheid van infrastructuur. Als de energiekosten en/of het tijdverlies minder zijn dan voor een andere duurzame optie, dan zal het tijdverlies waarschijnlijk toch geaccepteerd worden.

Bij de impact op operatie moet goed worden gekeken naar de verschillende deelmarkten in de binnenvaart. En zelfs dan moet er, om potentiële goed in te schatten en technologie en infrastructuur goed te dimensioneren, goed rekening worden gehouden met de spreiding in inzetprofielen tussen schepen en per schip door het jaar heen. Containervaart lijkt erg geschikt voor elektrisch vervoer aangezien de schepen op een vaste route worden ingezet en het wisselen van accucontainers kan worden gecombineerd met overslag van lading. Voor het vervoer van grote bulkloadingen op de Rijn met duwbotten (met motoren van ongeveer 4 MW) lijkt inzet van methanol in combinatie met een verbrandingsmotor juist een goede optie.

### **Beleidskader nodig om transitie in gang te zetten**

Een groot deel van de binnenvaart betreft internationaal transport en de bijbehorende broeikasgasuitstoot valt volgens het klimaatbureau van de VN (de UNFCCC) buiten de directe verantwoordelijkheid van individuele landen. Deze broeikasgasuitstoot valt daardoor ook buiten reductiedoelen en -verplichtingen. Het is daarom belangrijk dat dit manco in internationaal verband wordt opgepakt. Europese beleidsinstrumenten voor verduurzaming van de binnenvaart blijven echter tot nu toe achter bij die voor wegtransport en zeevaart. Dit maakt dat de transitie naar klimaatneutrale binnenvaart feitelijk nog niet is gestart. Zo zijn er geen verplichte instrumenten gericht op de energie-efficiëntie van binnenvaartschepen, terwijl die er wel zijn voor wegvoertuigen (Europese CO<sub>2</sub>-normen) en zeeschepen (IMO-regelgeving). In het kader van het NAIADES III actieplan van de Europese Commissie wordt wel gewerkt aan een EU-brede energie-indexeringsmethodologie voor het monitoren en rapporteren van de koolstofintensiteit van binnenvaartschepen, maar de precieze implementatie is nog onzeker.

De inzet van hernieuwbare energie in de binnenvaart is tot nu toe ook niet gereguleerd. Dit gaat veranderen door de nieuwe Europese afspraken voor inzet van hernieuwbare energie in vervoer (REDIII), die ook betrekking hebben op de binnenvaart.

De REDIII vereist een reductie van de broeikasgasintensiteit van brandstoffen voor de transportsector (inclusief binnenvaart) van 14,5% in 2030 ten opzichte van de fossiele referentiebrandstof, uit te voeren door de brandstofleveranciers. De doelstelling geldt voor de transportsector als geheel. Het staat lidstaten vrij om aan deelmarkten andere eisen te stellen. Besluitvorming over de Nederlandse implementatie van de REDIII zal de komende jaren plaatsvinden. Afhankelijk van hoe de binnenvaart daarin wordt meegenomen, kan dit tot een snelle toename leiden van de inzet van hernieuwbare brandstoffen in de binnenvaart.

Het is onduidelijk hoe de regelgeving voor de periode na 2030 (het horizonjaar van de REDIII) eruit ziet, wat onzekerheid met zich meebrengt voor investeerders (zowel schippers als

technologieleveranciers).

Nederland heeft recent in de Actieagenda Toekomst binnenvaart aangekondigd dat in de komende jaren alle scheepseigenaren verplicht worden een milieulabel aan te vragen voor hun schip en dat vervolgens van hen wordt verlangd stapsgewijs in een betere labelcategorie terecht te komen. Het doel voor 2030 komt neer op een reductie van ongeveer 55% ten opzichte van het huidige gemiddelde. In de actieagenda wordt nog geen invulling gegeven aan de wijze waarop het label geïmplementeerd wordt.

De transitie naar klimaatneutrale binnenvaart gaat gepaard met uitdagingen bij het financieerbaar maken en terugverdienen van investeringen en hogere operationele kosten. Een handelingsperspectief voor deze uitdagingen wordt in de navolgende tekst beschreven.

### **Handelingsperspectief**

Gezien de relatief beperkte omvang van de binnenvaart is het niet waarschijnlijk dat er een groot palet aan verschillende energiedragers voor de binnenvaart in de vloot zal worden toegepast. Op dit moment is de technologie van de verschillende opties nog niet uitontwikkeld en is er nog onzekerheid over de prijzen waartegen verschillende oplossingen in de toekomst beschikbaar zullen zijn. Het kan hiermee risicovol zijn om nu één specifiek pad uit te werken voor de verduurzaming van de sector. De binnenvaart bestaat uit een aantal vlootsegmenten die verschillen in operationele inzet (vaargebied en ureninzet), technische karakteristieken zoals de omvang en leeftijd van de motor en gerelateerde bedrijfsmodellen. Verduurzaming vergt waarschijnlijk een gedifferentieerde aanpak wat betreft de keuze van toe te passen technieken. Om snel duidelijkheid te krijgen over de potentie van verschillende innovaties in (deel)markten zijn proeftoepassingen van verschillende oplossingen in de praktijk cruciaal. Gezien de lange levensduur van binnenvaartschepen dient hierbij niet alleen naar oplossingen voor nieuwe schepen, maar ook naar oplossingen voor bestaande schepen te worden gekeken (retrofit). De huidige fondsen hiervoor zijn momenteel echter versnipperd, waardoor het niet duidelijk is of de benodigde breedte zowel op het gebied van de oplossingsrichting als de deelmarkten wordt bereikt. Het verdient aanbeveling om vanuit beleid overzicht te houden op de verschillende initiatieven en hier op bij te sturen waar nodig.

Voor grootschalige implementatie van alternatieve energiedragers gecombineerd met ingroei van duurzame drop-in brandstoffen is het cruciaal dat er handhaafbare doelstellingen voor de binnenvaart worden geformuleerd. Strategische beleidsdoelstellingen moeten hierbij worden vertaald naar concrete beleidsinstrumenten die duidelijk maken op welke manier en in welk tempo de transitie vorm moet krijgen. Zonder deze stap zullen er onvoldoende prikkels zijn voor partijen om grootschalig duurzame oplossingen te implementeren.

Gezien het internationale karakter van de markt, en het feit dat internationale binnenvaart niet meetelt in nationale en internationale CO<sub>2</sub>-doelstellingen, worden deze doelstellingen idealiter op Europees niveau met afstemming met de rivierencommissies geïmplementeerd. Dit kan door CO<sub>2</sub> direct op te nemen in de prijsvorming van de binnenvaart door binnenvaart onder te brengen in het Europese emissiehandelsstelsel (EU-ETS) of indirect via eisen aan inzet van hernieuwbare energie onder de RED. Beide beleidsinstrumenten leiden tot een financiële prikkel om te verduurzamen. Een andere mogelijkheid is het stellen van reductiedoelstellingen voor verschillende zichtjaren waaraan de sector moet voldoen. Dergelijke doelstellingen vergen een goed inzicht in de huidige uitstoot van de vloot en een gereguleerde entiteit die verantwoordelijk is voor het realiseren van de reductie (zoals de Original Equipment Manufacturers bij CO<sub>2</sub>-normen voor auto's). De ontwikkeling

van (verplichte) instrumenten voor monitoring van de CO<sub>2</sub>-uitstoot is hierin een belangrijke stap. Het verdient aanbeveling dit op korte termijn te implementeren. Aansluitend hierop is meer algemene kennis nodig over de leeftijdsopbouw en inzet van de huidige vloot en de dynamiek hierin. Hier ligt een rol voor kennisinstellingen.

Het opstellen van handhaafbare doelstellingen kan helpen bij het financieerbaar maken en terugverdienen van investeringen en hogere operationele kosten. Op korte termijn, waarbij nog geen duidelijke doelstellingen geformuleerd zijn, is er sprake van een ongelijk speelveld tussen koplopers en ondernemers die niet investeren en is het lastig om financiering te krijgen voor duurzame investeringen of deze te kunnen terugverdienen. Ingroei van nieuwe energiedragers vergt hierdoor nieuwe financierings- en terugverdienopties. Ondersteuning voor het uitvoeren van pilots en het oprichten van fondsen voor koplopers op de korte termijn is hierbij een belangrijke randvoorwaarde. Wanneer technologie verder ontwikkeld is, en er handhaafbare doelen zijn, is financiële ondersteuning minder noodzakelijk voor een groot gedeelte van de markt. Mogelijk is ook op de lange termijn gerichte ondersteuning aan kleine zelfstandig opererende schippers noodzakelijk.

Vergroening van de binnenvaart vergt afstemming en implementatie op Europees niveau. Gezien de belangrijke rol die Nederland in deze sector speelt, kan Nederland hier het voortouw nemen. Dit kan zowel op het gebied van ontwikkeling van beleidsinstrumenten en ontwikkeling van technologie als bij het implementeren hiervan in de praktijk, waaronder het (mede) initiëren van proeftoepassingen en het verkennen van oplossingsrichtingen in verschillende deelmarkten. Door een voortrekkersrol te spelen kan de concurrentiepositie van de Nederlandse schipper en de toeleverende industrie verbeteren.



# 1 Inleiding

In het klimaatakkoord van Parijs is afgesproken om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder de twee graden, met een streven naar maximaal anderhalve graad. In dat licht hebben zowel de Europese Commissie als het huidige kabinet in Nederland zichzelf ten doel gesteld om uiterlijk in 2050 klimaatneutraal te zijn. In 2030 moet de uitstoot van broeikasgassen met ten minste 55% gereduceerd zijn ten opzichte van het niveau in 1990. Dat vereist een forse reductie van het gebruik van fossiele energie. Mobiliteit is momenteel voor het overgrote deel van zijn energiebehoefte afhankelijk van fossiele brandstoffen en is verantwoordelijk voor ongeveer een kwart van de uitstoot van broeikasgassen in Europa. Om de afspraken in het Parijsakkoord te realiseren zal de uitstoot van broeikasgassen door mobiliteit fors teruggedrongen moeten worden. Deze transitie naar klimaatneutrale mobiliteit vereist grote veranderingen. Die zijn technologisch van aard, maar ook institutioneel en gedragsmatig.

In het licht van deze maatschappelijke doelen vormen beleidsplannen en -maatregelen om klimaatverandering tegen te gaan sinds enkele jaren een politieke prioriteit. Zo heeft de Europese Commissie strategieën en actieplannen geformuleerd voor een klimaatneutrale economie in 2050 waarin het EU transportsysteem een groene en digitale transformatie moet doormaken (Europese Commissie 2019, 2020, 2021a, 2021b). Het doel van Commissie in haar *Sustainable and Smart Mobility Strategy* is om in 2050 een 90% reductie van CO<sub>2</sub>-emissies in de transportsector te realiseren ten opzichte van het niveau in 1990 (Europese Commissie 2020). Specifieke reductiedoelen voor de binnenvaart zijn niet opgenomen in officiële EU documenten, maar de binnenvaart moet wel een significante bijdrage leveren aan de overall doelstelling voor mobiliteit. De voor de binnenvaart bevoegde transportministers van de lidstaten van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) hebben in de Verklaring van Mannheim uit 2018 bevestigd dat zij ernaar streven de uitstoot van broeikasgassen en verontreinigende stoffen van de binnenvaart tegen 2050 met 90% te hebben gereduceerd ten opzichte van 2015 (CCR 2018). Daarnaast hebben ze reductiedoelen voor de uitstoot in het jaar 2035 geformuleerd. Nederland werkt voor de binnenvaart toe naar klimaatneutraliteit in 2050 (IenW 2022a).

## **Paden naar klimaatneutrale binnenvaart in 2050**

In het licht van deze doelen en afspraken verkennen PBL en TNO in een gezamenlijke studie hoe een klimaatneutraal mobiliteitssysteem in 2050 eruit kan zien en hoe de paden daar naartoe (gestileerd) zouden kunnen lopen. We schetsen welke kansen en uitdagingen de transitie naar klimaatneutrale mobiliteit voor Nederland met zich meebrengt en we verkennen handelingsperspectieven voor het Nederlandse beleid. Dit doen we voor vier modaliteiten: het wegverkeer, de luchtvaart, de binnenvaart en de zeescheepvaart. Op basis daarvan verkennen we in een overkoepelende rapportage de lessen die voor het Nederlandse mobiliteitssysteem als geheel getrokken kunnen worden (PBL & TNO 2024). Het voorliggende rapport bevat de analyse voor de binnenvaart. Het gaat in dit rapport om beelden voor 2050 en gestileerde paden daar naartoe.

## **Klimaatneutraal in 2050 als uitgangspunt**

In dit onderzoek is ervoor gekozen om het doel van een klimaatneutrale economie in 2050 te vertalen naar het uitgangspunt dat alle modaliteiten in 2050 netto geen broeikasgassen meer uitstoten. Dit is een veronderstelling die dient als startpunt voor het denken over de transitie waar de

mobiliteitssector voor staat. Het is niet gezegd dat een klimaatneutrale economie in 2050 ook daadwerkelijk betekent dat de uitstoot van broeikasgassen door mobiliteit naar nul moet in dat jaar<sup>7</sup>. Het is denkbaar dat door het realiseren van negatieve emissies in andere delen van de economie er ruimte is om bijvoorbeeld binnen mobiliteit nog een zekere mate van restemissies te hebben en daarmee toch voor de hele economie netto op nul uit te komen. Of en in welke mate dit mogelijk is, wordt verkend in een aanpalende studie van PBL genaamd 'Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050 (TVKN)' (PBL 2024). De paden voor de binnenvaart die in het voorliggende rapport zijn uitgewerkt dienen daarvoor als input.

Deze verkenning richt zich op de periode tot 2050 en redeneert vanuit het nationale en Europese doel van een klimaatneutrale samenleving in (uiterlijk) 2050. In het licht van de klimaatafspraken van Parijs is 2050 'slechts' een tussenstap in het beperken van de opwarming van de aarde. Het pad naar 2050 en de ontwikkeling daarna bepaalt uiteindelijk of de Parijsafspraken worden gehaald, niet het emissieniveau in 2050 zelf (zie toelichting hierna). Vanuit praktisch oogpunt wordt in deze studie echter niet gewerkt met koolstofbudgetten. Dit kan onderwerp zijn van vervolgonderzoek. Wel wordt in TVKN onderzocht of de reductiepaden voor mobiliteit en voor de andere sectoren van de Nederlandse economie passen binnen de Nederlandse doelen voor emissiereductie van broeikasgassen in 2030, 2040 en 2050.

### ***Klimaatneutraal in 2050 en koolstofbudget voor het Parijsakkoord***

Het is goed zich te realiseren dat binnen het koolstofbudget blijven dat past bij de afspraken uit het Parijsakkoord een strengere eis is dan klimaatneutraal zijn in 2050. We lichten dit hier kort toe. Om het doel van het Parijsakkoord —de wereldwijde temperatuurstijging aan het einde van deze eeuw te beperken tot ruim onder de 2°C en het liefst 1,5°C — te vertalen naar CO<sub>2</sub>-reductiedoelen wordt door bijvoorbeeld de IPCC (2021) gewerkt met het nog beschikbare koolstofbudget. Dat is de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die wereldwijd nog uitgestoten kan worden om de opwarming van de aarde (met een bepaalde kans) tot een bepaald niveau te beperken. Er is een vrijwel lineaire relatie tussen de cumulatieve uitstoot van CO<sub>2</sub> en de temperatuurstijging die samenhangt met de dominante rol van CO<sub>2</sub> ten opzichte van andere broeikasgassen, en de lange levensduur van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer (IPCC 2021). Een eenvoudige berekening laat zien dat als mondiale CO<sub>2</sub>-emissies in een rechte lijn gereduceerd zouden worden met een maximale temperatuurstijging van 1,5°C als doel, zij begin 2037 op netto nul zouden moeten uitkomen (PBL 2021). In werkelijkheid kan door andere reductiepaden en het gebruik van netto negatieve emissies dit netto-nuljaar iets later uitkomen.

Bij het vaststellen van regionale CO<sub>2</sub>-reductiedoelen (voor bijvoorbeeld de EU of Nederland) in lijn met de Parijsafspraken spelen principes als kosteneffectiviteit en rechtvaardigheid een belangrijke rol.

Vanuit kosteneffectiviteit is het vaak voordeliger om in ontwikkelingslanden emissiereducties te realiseren, omdat daar de energie-intensiteit veelal hoger ligt dan in rijkere landen. Vanuit rechtvaardigheid is het echter verdedigbaar dat ontwikkelingslanden een grotere uitstootruimte hebben vanwege lagere emissies per hoofd van de bevolking of een kleinere historische verantwoordelijkheid vanwege lagere emissies in het verleden. Dit zou tot scherpere verplichte emissiereducties voor bijvoorbeeld Europa leiden.

---

<sup>7</sup> Ook is niet gezegd dat klimaatneutrale mobiliteit in 2050 in Nederland in lijn is met de klimaatafspraken van Parijs. Welke emissiereductie in Nederland gerealiseerd moet worden om in lijn met Parijs te handelen valt buiten de scope van deze studie. In PBL (2021) wordt daar wel op gereflecteerd.



In het binnenvaartrapport kiezen we klimaatneutraal in 2050 als uitgangspunt, in lijn met de doelen uit de Nederlandse en Europese klimaatwetgeving. We werken vanuit pragmatisch oogpunt niet met koolstofbudgetten.

### ***Aanpak en scope van de verkenning***

Deze verkenning maakt gebruik van backcasting, waarbij eerst beelden zijn geschetst voor een klimaatneutrale binnenvaart in 2050 en vervolgens gestileerde paden zijn uitgewerkt die daar uitkomen. De beelden voor 2050 en de paden daarnaartoe zijn plausibele combinaties van verdedigbare aannames over vervoersvolumes, efficiëntieverbetering en de inzet van nieuwe technologieën en energiedragers. Ze geven niet de meest waarschijnlijke uitkomst, maar zijn bedoeld om het speelveld in kaart te brengen inclusief de uitdagingen die de transitie met zich meebrengt. De beelden en bijbehorende paden dekken niet de volledige bandbreedte aan denkbare uitkomsten af en zijn primair bedoeld om op basis van de huidige kennis tot een realistische bandbreedte te komen van de toekomstige (duurzame) energievraag, als basis voor het denken over kansen, uitdagingen en handelingsperspectieven. De paden zijn globaal uitgewerkt in cijfers en figuren. Het betreft echter geen integrale doorrekening zoals bijvoorbeeld de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) of de scenario-studie Welvaart en Leefomgeving (WLO) dat wel zijn. Om tot beelden en bijbehorende paden te komen is gebruik gemaakt van eerder onderzoek van TNO en PBL, eerdere doorrekeningen zoals de KEV en de WLO-scenario's uit 2015 en van literatuurstudie.

In dit rapport beschrijven we paden om tot klimaatneutrale binnenvaart in 2050 te komen. We richten ons daarbij op de energielevering van brandstoffen vanuit Nederland aan de binnenvaart, zoals opgenomen in de Energiebalans van het CBS en de Klimaat- en Energieverkenning van PBL. Dit betreft het energiegebruik voor goederenvervoer en passagiersvaart met herkomst en bestemming binnen Nederland en de in Nederland verkochte bunkerbrandstoffen aan de internationale binnenvaart met herkomst of bestemming buiten Nederland. Dit wordt in hoofdstuk 2 toegelicht.

Uitgangspunt voor de analyse is dat de EU en de rest van de wereld ook op een pad zitten dat in lijn is met de Parijsafspraken. Dit pad is niet expliciet gemaakt, maar impliciet gaan we ervan uit dat de paden naar klimaatneutrale mobiliteit in Nederland niet tot grote uitwijkeffecten leiden naar omliggende landen. Iedereen doet mee.

### ***Leeswijzer***

Onder het huidige beleid wordt een toename van de CO<sub>2</sub>-emissies van de binnenvaart verwacht van 3,0 Mton in 2020 naar 3,4 Mton in 2040 (zie de ramingen van de Klimaat- en Energieverkenning 2022 in paragraaf 2.1). Om tot zero-emissie binnenvaart in 2050 te komen moet het roer dus drastisch om. In hoofdstuk 2 beschrijven we eerst de huidige trends in de uitstoot van de binnenvaart en de verwachte autonome ontwikkelingen zoals die uit eerdere verkenningen volgen. Ook beschrijven we in hoofdstuk 2 de beleidscontext.

Om tot klimaatneutrale binnenvaart te komen is de inzet van duurzame energiedragers met bijbehorende technologieën aan boord van schepen cruciaal. We beschrijven daarom in hoofdstuk 3 de verschillende technologieën die hiervoor in beeld zijn. Daarbij schetsen we onder andere de technologische en commerciële beschikbaarheid (technological readiness level, TRL en commercial readiness level, CRL) van energieomzetters aan boord zoals motoren, brandstofcellen en elektrische aandrijving, van brandstofproductie en van bunkerinfrastructuur. Vervolgens bespreken we wat de mogelijkheden voor duurzame brandstoffen in de binnenvaart zijn.

In hoofdstuk 4 schetsen we beelden voor klimaatneutrale binnenvaart in 2050. Gebaseerd op de literatuur schatten we een bandbreedte in voor de denkbare efficiëntieverbetering voor de periode 2020-2050. Om het doel van nul CO<sub>2</sub>-emissies te bereiken is daarnaast de volumeontwikkeling van de transportvraag van belang. We geven daarom ook een bandbreedte voor de verwachte groei van de vervoersvolumes tot 2050, gebaseerd op eerdere verkenningen en doorrekeningen.

Uiteraard zijn de paden naar zero-emissie binnenvaart in 2050 omgeven door grote onzekerheden op tal van gebieden. De energietransitie van de binnenvaart moet immers nog op gang komen en de financierbaarheid is een serieuze uitdaging. Daarbij bestaat een deel van de binnenvaartsector uit kleine ondernemers met weinig investeringsruimte. Kan de productie van de gewenste duurzame brandstoffen überhaupt voldoende snel opgeschaald worden? Is het betaalbaar? Kan binnenvaart zijn concurrentiepositie ten opzichte van het wegtransport handhaven? In hoofdstuk 5 besteden we dan ook aandacht aan onzekerheden en uitdagingen die we bij het bestuderen van recente onderzoeken en beleidsdossiers tegenkwamen. In hoofdstuk 6 geven we handelingsperspectieven om de beperkte tijd, die resteert om het 2050-doel te kunnen halen, goed te besteden.

## 2 Het speelveld

Dit hoofdstuk schetst de huidige vervoersvolumes in de binnenvaart, de verwachte groei daarvan en de trends in de uitstoot van broeikasgassen door de binnenvaart. Dit vormt het startpunt voor de verduurzamingsopgave waar de sector voor staat. De opgave om tot klimaatneutrale binnenvaart in 2050 te komen is groot en vraagt om een Europese aanpak met gelijk speelveld voor alle landen. Daarom worden in dit hoofdstuk ook de belangrijkste bestuursstructuren voor de Europese binnenvaart beschreven, die een rol spelen bij verduurzaming van de sector. Daarnaast beschrijven we recente onderzoeken, maatregelen en actieplannen van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart en de Europese Commissie gericht op de transitie van de Europese binnenvaart naar klimaatneutraliteit in 2050. Tot slot geven we aan welke ontwikkelingen ter verduurzaming van de binnenvaart door nationaal beleid reeds in gang zijn gezet.

### 2.1 Trends in vervoersvolumes en emissies

#### ***Binnenvaart heeft een relatief groot aandeel in het goederenvervoer in Nederland***

De binnenvaart speelt een belangrijke rol in het verbinden van de Nederlandse zeehavens met het achterland, met name ook buiten Nederland. Als onderdeel daarvan verzorgt de binnenvaart een pendelfunctie tussen de zeehavens en de binnenvaartterminals in Nederland. In Nederland is het marktaandeel van de binnenvaart in het vervoerde gewicht relatief groot in vergelijking met veel andere Europese landen. De vervoersprestatie van de binnenvaart op Nederlands grondgebied bedroeg in 2021 ruim 47 miljard ladingtonkilometer (KiM 2022). De vervoersprestatie van de binnenvaart fluctueert sinds 2012 tussen de 45 en 49 miljard ladingtonkilometer, zonder duidelijke stijgende of dalende trend (Figuur 2.1). De binnenvaart heeft daarmee een aandeel in de totale<sup>8</sup> vervoersprestatie op Nederlands grondgebied van gemiddeld circa 42%. Het wegvervoer exclusief bestelauto's is goed voor een marktaandeel van gemiddeld 52% en het spoorvervoer voor de resterende 6% (KiM 2022).

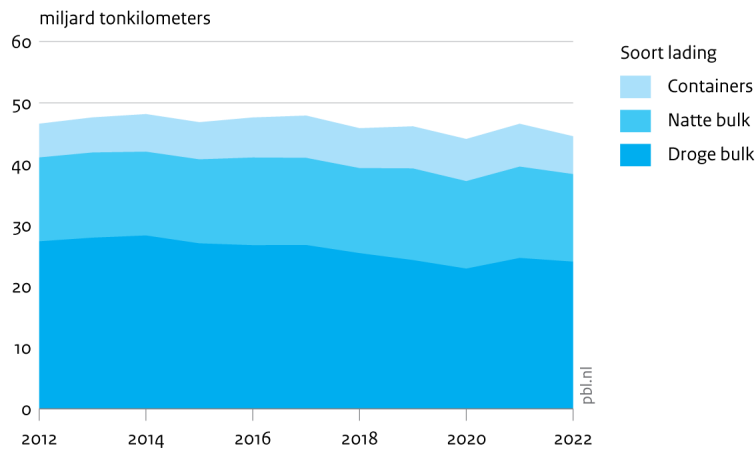
Ruim de helft van het vervoer per binnenvaartschip bestaat uit droge bulkgoederen, zoals metalen, ertsen en steenkool. Natte bulkgoederen zoals aardolie(producten) waren de afgelopen 10 jaar goed voor een aandeel van circa 30% in de totale vervoersprestatie van de binnenvaart en de resterende 10 tot 15% bestond uit containervervoer (Figuur 2.1). Een wezenlijk deel van de vervoersstromen in de binnenvaart bestaat momenteel uit fossiele energie(producten), zoals steenkool, ruwe olie en olieproducten. Dit vervoer kan door de energietransitie grotendeels wegvallen. Mogelijk komen daar andere energieproducten voor terug. Dit wordt in hoofdstuk 4 toegelicht.

---

<sup>8</sup> De totale vervoersprestatie op Nederlands grondgebied betreft de som van binnenlands goederenvervoer, aan-, af- en doorvoer op Nederlands grondgebied van de genoemde modaliteiten.

**Figuur 2.1**

**Vervoersprestatie binnenvaart op Nederlands grondgebied**



Bron: CBS Statline

**Nederland heeft grootste binnenvaartvloot van Europa**

De binnenvaartvloot op de Rijn bestond in 2020 uit bijna 10.000 schepen voor het goederenvervoer en ongeveer 2.200 passagiersschepen. Een groot gedeelte van deze schepen vaart onder Nederlandse vlag (iets meer dan de helft met respectievelijk ongeveer 5.000 en 1.200 schepen). De Nederlandse goederenvervoervloot bestaat uit drogeladingschepen (3.430) tankschepen (740) en duw- of sleepboten (840) (CCR 2021a).

**Internationale binnenvaart telt niet mee voor nationale klimaatdoelen**

In dit rapport beschrijven we scenario's om voor broeikasgassen tot zero-emissie binnenvaart in 2050 te komen. We richten ons daarbij op de energielevering van brandstoffen vanuit Nederland aan de binnenvaart zoals gedefinieerd in de Energiebalans van het CBS en de Klimaat- en Energieverkenning (KEV). Binnen die brandstofleveringen wordt onderscheid gemaakt tussen leveringen aan de binnenlandse binnenvaart, waaronder goederenvervoer en passagiersvaart, en leveringen aan de internationale binnenvaart met herkomst of bestemming buiten Nederland. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat conform internationale afspraken de uitstoot van broeikasgassen van de internationale binnenvaart niet tot het nationale emissietotaal van een land wordt gerekend. Landen moeten deze uitstoot wel rapporteren aan het klimaatbureau van de VN (de UNFCCC), maar hij valt buiten de reductiedoelen en -verplichtingen, zoals het Nederlandse doel om in 2030 minimaal 55% reductie te realiseren van de uitstoot van broeikasgassen ten opzichte van het niveau in 1990. De uitstoot van de binnenlandse binnenvaart wordt wel tot het nationale emissietotaal gerekend en doet wel mee in de reductiedoelen. We nemen in dit rapport de CO<sub>2</sub>-emissies mee gerelateerd aan de brandstofleveringen aan zowel de binnenlandse binnenvaart als de internationale binnenvaart en schetsen paden om al deze emissies tot nul te reduceren in 2050.

**Binnenvaart gebruikt nog vrijwel uitsluitend fossiele brandstof**

In 2019 werd er in totaal ruim 42 petajoule aan energie geleverd aan de binnenvaart in Nederland (Tabel 2.1). Vanwege de kleine omvang van ons land en het veelal internationale karakter van de binnenvaart ging het merendeel van die leveringen naar de internationale binnenvaart met een aandeel van 85% in het totaal. De binnenlandse binnenvaart is relatief bescheiden in omvang. Historisch gebruikt de binnenvaart enkel fossiele diesel. Sinds enkele jaren worden er ook kleine

hoeveelheden LNG en biodiesel gebruikt. In 2019 ging het om 0,3 PJ aan biodiesel en 0,2 PJ aan LNG. Daarmee hadden deze brandstoffen gezamenlijk een marktaandeel van ruim 1%.

**Tabel 2.1**

Energieleveringen aan de binnenvaart en resulterende uitstoot van broeikasgassen in 2019

		Energielevering	Uitstoot broeikasgassen
		petajoule	megaton
<b>Binnenlandse binnenvaart</b>	Goederenvervoer	5,0	0,4
	Passagiersvaart	1,6	0,1
<b>Internationale binnenvaart</b>		36,1	2,6
<b>Totaal</b>		<b>42,6</b>	<b>3,1</b>

Bron: CBS Statline; Geilenkirchen et al. (2023)

De uitstoot van broeikasgassen door de binnenvaart bedroeg in 2019 circa 3,1 megaton CO<sub>2</sub>-equivalenten (Tabel 2.1)<sup>9</sup>. De uitstoot lag daarmee net iets hoger dan in 1990 (2,9 megaton). Historisch fluctueert de uitstoot tussen de 2,7 en 3,4 megaton zonder duidelijke stijgende of dalende trend (Figuur 2.2)<sup>10</sup>. CO<sub>2</sub> is veruit het belangrijkste broeikasgas dat door de binnenvaart wordt uitgestoten met een aandeel van 99% in de totale uitstoot van broeikasgassen<sup>11</sup>. Methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O) zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor de resterende 1%. Het gebruik van aardgas (LNG) kan wel gepaard gaan met een relatief hoge uitstoot van CH<sub>4</sub>, waarmee deze brandstof een grotere bijdrage kan gaan leveren aan de totale uitstoot van broeikasgassen. Tot nu toe is het gebruik van LNG echter nog minimaal in de binnenvaart.

### **Uitstoot broeikasgassen neemt bij huidig beleid licht toe**

De KEV2022 (PBL, TNO, CBS en RIVM 2022) verwacht bij het huidige vastgestelde en voorgenomen beleid (situatie per 1 mei 2022) een lichte groei van de uitstoot van broeikasgassen door de binnenvaart (Figuur 2.2).

Deze toename wordt veroorzaakt door een verdergaande groei van de hoeveelheid vervoerde tonnen tussen 2019 en 2040 met gemiddeld 0,8% per jaar waarbij het gemiddelde energiegebruik per vervoerde ton daalt door schaalvergroting van binnenvaartschepen en de instroom van zuinigere Stage V motoren. Het beleid aangaande de binnenvaart dat in de raming van de KEV2022 is opgenomen betreft de Europese verplichting dat nieuwe binnenvaartmotoren vanaf 2020 moeten voldoen aan de Stage V normen voor luchtverontreinigende stoffen en dat de vrachtwagenheffing uit het regeerakkoord van kabinet Rutte III per 2026 zal ingaan. De geraamde modal shift van weg naar binnenvaart en spoor ten gevolge van de vrachtwagenheffing is in de ramingen verwerkt. In de ramingen van de KEV2022 blijft de binnenvaart voor het overgrote deel op fossiele brandstof varen. De nieuwe Europese plannen voor hernieuwbare energie in vervoer zijn in de KEV2022 nog niet verwerkt. Deze plannen worden hierna toegelicht. Figuur 2.2 geeft ook het doel dat de CCR heeft

<sup>9</sup> Voor de afleiding van de transitiepaden hebben we 2019 als basisjaar gekozen om het effect van corona op het energiegebruik van de binnenvaart in 2020 te vermijden. Het energieverbruik in 2020 was met 41,8 PJ iets lager dan in 2019.

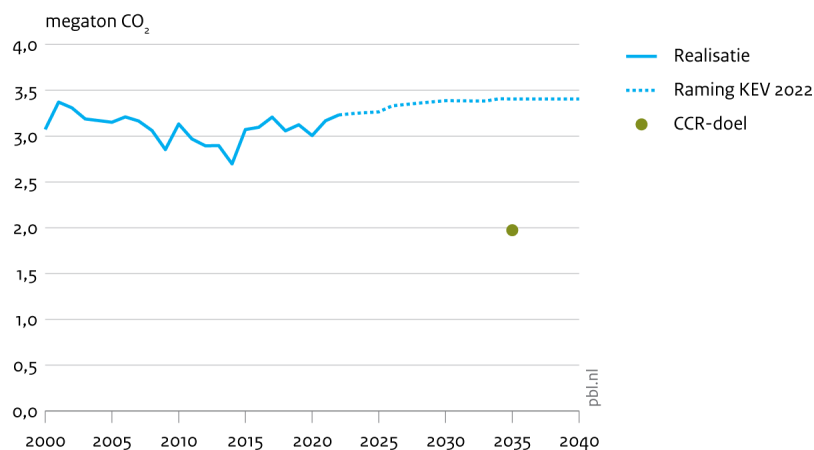
<sup>10</sup> De vermelde uitstoot is zonder werk op zee en zonder recreatievaart die in de Energiebalans ook onder binnenvaart vallen maar in dit onderzoek niet worden meegenomen.

<sup>11</sup> Uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten en berekend met een *Global Warming Potential* van 100 jaar.

gesteld voor het jaar 2035 (dit wordt in de volgende paragraaf toegelicht). Dit doel is met huidig beleid nog ruimschoots buiten bereik.

**Figuur 2.2**

**CO<sub>2</sub>-uitstoot van de binnenvaart volgens KEV 2022**



Bron: Emissieregistratie (realisatie); PBL (raming)

CCR-reductiedoel van 35% in 2035 t.o.v. 2015 is aangegeven.

## 2.2 Hoe is de sector gereguleerd?

De belangrijkste bestuursstructuren voor de Europese binnenvaart zijn de Europese Unie, de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR), de Donaucommissie, de Economische Commissie voor Europa van de VN (UNECE), de nationale overheden en hun regionale overheden. In deze paragraaf schetsen we kort de verantwoordelijkheden van deze organen. In paragraaf 2.3 beschrijven we actuele beleidsontwikkelingen.

### **Centrale Commissie voor de Rijnvaart en Donaucommissie**

De Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) is een internationale organisatie die in 1815 is ingesteld om de vrije scheepvaart op de Rijn veilig te stellen ([website CCR](#)). Haar rol is versterkt bij de Akte van Mannheim uit 1868, die haar bevoegdheden heeft uitgebreid tot de bevordering van de bloei van zowel de Rijnvaart als de Europese binnenvaart en de waarborging van een hoog veiligheidsniveau voor de scheepvaart en het milieu.

De Akte van Mannheim heeft een pioniersrol vervuld voor de instelling van een vrije en gemeenschappelijke vervoersmarkt, die 100 jaar later door de Europese Unie is gerealiseerd. De CCR bestaat uit 5 lidstaten: België, Duitsland, Frankrijk, Nederland en Zwitserland. De CCR is actief op technisch, juridisch, economisch, sociaal en milieugebied. Ze onderhoudt nauwe contacten met de Europese Commissie, de Economische Commissie voor Europa van de VN, en de andere rivierencommissies (vooral de Donaucommissie, de Moezelcommissie en de Savacommissie).

Op grond van artikel 3 van de Akte van Mannheim heffen de lidstaten geen tolgelden, belastingen of rechten over Rijnvaartactiviteiten die met de scheepvaart samenhangen. Naast deze bepaling is in 1952 ter aanvulling op de Akte van Mannheim een overeenkomst gesloten over het douane- en belastingregime voor de gasolie die in de Rijnvaart als brandstof wordt verbruikt. Deze overeenkomst bepaalt dat de CCR-lidstaten geen douanerechten of accijnzen zullen heffen op gasolie die in

de Rijnvaart gebunkerd wordt. Als de herziening van de Energy Taxation Directive (ETD), die onderdeel uitmaakt van het Fit-for-55 pakket van de Europese Commissie uit 2021, wordt aangenomen (zie ook paragraaf 2.3), moeten wel minimale brandstofheffingen worden opgelegd door de EU-lidstaten. Dit is juridisch nog geen uitgemaakte zaak.

De Donaucommissie ([website Donaucommissie](#)) is een internationale organisatie die in 1948 is opgericht tijdens de Conventie van Belgrado over het vaarregime op de Donau. De commissie stelt aanbevelingen op om de veiligheid van de scheepvaart te garanderen en om de naleving van de principes van de Conventie van Belgrado te waarborgen. Deze principes hebben als doel om vrije en kosteloze passage over de Donau te garanderen aan alle operatoren. De lidstaten zijn Oostenrijk, Bulgarije, Hongarije, Duitsland, Moldavië, Rusland, Roemenië, Servië, Slowakije, Oekraïne en Kroatië. De Europese Commissie neemt deel als waarnemer.

### **Europese Unie en Verenigde Naties**

De Europese Unie reguleert op dit moment de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door de binnenvaart, zoals die van NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub>. In 2016 zijn de zogenoemde Stage-V emissienormen afgesproken, die strenge eisen stellen aan de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door nieuwe motoren die vanaf 2021/2022 in gebruik worden genomen. De Stage-V normen vervangen de eerder binnen de CCR afgesproken normen voor deze stoffen.

Daarnaast heeft de Europese Commissie in recente jaren strategieën en actieplannen geformuleerd voor een klimaatneutrale economie in 2050 waarin het EU transportsysteem een groene en digitale transformatie doormaakt (Europese Commissie 2019, 2020, 2021a, 2021b). In het bijzonder wil de commissie het aankomende decennium de binnenvaart efficiënter en daarmee competitiever maken om ervoor te zorgen dat een substantieel deel van het goederentransport over de weg naar de binnenvaart en het spoor verschuift omdat deze vervoerswijzen CO<sub>2</sub>-efficiënter (per ton vervoerde goederen) zijn en ze de congestie op de weg kunnen verminderen (Europese Commissie 2021b). Het doel van de EC is om in 2050 een 90% reductie van CO<sub>2</sub>-emissies in de transportsector als geheel te halen (Sustainable and Smart Mobility Strategy), maar voor de binnenvaart zijn geen specifieke reductiedoelen gesteld.

Op het gebied van de binnenvaart bestrijkt de Economische Commissie voor Europa van de VN (UNECE) een breed veld aan onderwerpen met als gemeenschappelijk kenmerk dat het Pan-Europees beleid betreft ([website binnenvaarttransport UNECE](#)).

Men werkt bijvoorbeeld aan identificatie en verdere ontwikkeling van een Europees netwerk van vaarwegen, pan-Europese regels en tekens/borden die in de binnenvaart worden gebruikt, technische eisen aan schepen, rivierinformatiediensten, transportbeleid voor de binnenvaart en bestrijding van emissies. Dit werk wordt in nauwe samenwerking met de Europese Commissie, de riviercommissies en andere internationale lichamen tot stand gebracht. De hoofdstructuur wordt gevormd door twee werkgroepen. De werkgroep voor het binnenvaarttransport legt zich toe op handhaving van juridische overeenkomsten en kan UNECE-resoluties over bovengenoemde onderwerpen aannemen. De andere werkgroep richt zich op standaardisatie en technische veiligheidseisen in de binnenvaart. Andere zaken die gerelateerd zijn aan de binnenvaart, zoals het transport van gevaarlijke goederen en het intermodale transport en de logistiek, worden behandeld door andere werkgroepen die zijn ondergebracht bij de commissie voor het transport over land (weg, spoor en binnenvaart).

### **Nationale en regionale overheden**

Tot slot zijn de nationale en regionale overheden belangrijke bestuurslagen die mee kunnen helpen om de energietransitie van de binnenvaart tot stand te brengen. Dit kan bijvoorbeeld door het stimuleren van de productie van alternatieve brandstoffen zoals biobrandstoffen, R&D en pilotprojecten voor alternatieve aandrijftechnologieën en door plannen te maken voor de aanleg van laad- en tankinfrastructuur voor alternatieve energiedragers langs belangrijke vaarwegen.

## 2.3 Europees beleid en onderliggende onderzoeken

In deze paragraaf vatten we recente onderzoeken, maatregelen en actieplannen van de CCR en de EC gericht op de transitie van de binnenvaart naar klimaatneutraliteit in 2050 samen. Het nationale beleid voor verduurzaming van de binnenvaart wordt in paragraaf 2.4 toegelicht.

### 2.3.1 Beleidsdoelen en onderzoeken van de CCR

In de Verklaring van Mannheim uit oktober 2018 hebben de voor de binnenvaart bevoegde transportministers van de lidstaten van de CCR bevestigd dat zij ernaar streven de uitstoot van broeikasgassen en verontreinigende stoffen nagenoeg uit te bannen tegen 2050.

Met het oog op een verdere verbetering van de ecologische duurzaamheid van de Rijn- en de binnenvaart kreeg de CCR in deze verklaring de opdracht een routekaart op te stellen om de uitstoot van:

- broeikasgassen tegen 2035 met 35% ten opzichte van 2015 terug te dringen;
- luchtverontreinigende stoffen tegen 2035 met ten minste 35% ten opzichte van 2015 te verminderen;
- broeikasgassen en andere luchtverontreinigende stoffen nagenoeg uit te bannen tegen 2050.

Daarnaast werd de CCR in deze verklaring opgedragen om het voortouw te nemen voor het opzetten van een nieuw financieel instrument om de genoemde doelstellingen te bereiken.

### **CCR onderzoeken naar financiering van de energietransitie in de binnenvaart**

In reactie op de Verklaring van Mannheim heeft de CCR onderzoek gedaan naar het financieren van de energietransitie naar een zero-emissie Europese binnenvaartsector.

Samen met twee parallelle onderzoeken van de Nederlandse en Zwitserse overheid is zo een overkoepelend onderzoeksproject tot stand gekomen met als belangrijkste doelen:

- Het evalueren van de financieringsbehoefte voor de energietransitie van de binnenvaart;
- Het creëren van draagvlak voor en acceptatie van de onderzoeksresultaten in nauwe samenwerking met een breed spectrum aan stakeholders;
- Het formuleren van aanbevelingen voor de ontwikkeling van een Europees financierings- en subsidiesysteem voor de transitie;
- Het aanreiken van een kennisbasis voor politieke besluitvorming.

De hoofdconclusie van dit onderzoeksproject is dat samen met de invoering van een geschikt juridisch raamwerk een nieuw Europees financierings- en subsidiesysteem voor de transitie



noodzakelijk en mogelijk is (Karaarslan & Quispel 2021). Noodzakelijk omdat de binnenvaartsector de investeringen niet zelf kan opbrengen: Er is geen business case voor (bijna) zero-emissie technologieën, de sector is onvoldoende kapitaalkrachtig en er zijn geen prikkels voor de transitie. Als invulling van een dergelijk financieel systeem worden fondsen voorgesteld die gevuld worden met bijdragen van zowel de publieke sector (nationale overheden en de EU) als van de binnenvaartsector (geoormerkte bijdragen die naar de sector terugvloeien voor de energietransitie). Het noodzakelijke geachte schaalniveau van zo'n financiële systeem is Europees, en dus ruimer dan de EU, omdat ook landen als Zwitserland, Servië en de Oekraïne deel uitmaken van de CCR en de Donaucommissie en een gelijk speelveld gegarandeerd moet worden.

### **CCR-evaluatie van technologieën gericht op zero-emissie binnenvaart**

De twee andere publicaties uit het overkoepelende CCR-onderzoeksproject betreffen een technische en economische evaluatie van technologieën voor de transitie van de Europese binnenvaartsector naar zero-emissie in 2050 (DST 2020; DST & EICB 2021). In dit onderzoek zijn twee transitiepaden geconstrueerd in lijn met de emissiedoelen van de Verklaring van Mannheim: een conservatief transitiepad en een innovatief transitiepad. Ter vergelijking is ook een business-as-usual (BAU) scenario opgesteld waarin de ontwikkelingen zonder beleidsintensivering worden geschetst. In het BAU-scenario vaart naar verwachting in 2050 nog 90% van de Europese vloot op fossiele diesel (Tabel 2.2). Door de Stage-V emissienormen wordt wel een forse reductie verwacht van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen van ongeveer 60% in 2035 en 80% in 2050<sup>12</sup>. De reductie van broeikasgassen blijft echter steken op 14% in 2035 en 22% in 2050. De grote opgave ligt volgens het onderzoek daarmee bij de reductie van de broeikasgassen.

In het conservatieve transitiepad uit de CCR-studie worden hoofdzakelijk alternatieve brandstoffen en technologieën meegenomen die relatief gemakkelijk op de korte termijn te implementeren zijn en die binnen het spectrum van opties voor alternatieve energiedragers het meest kostenefficiënt zijn in het reduceren van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Denk hierbij aan drop-in brandstoffen als HVO<sup>13</sup>. In de publicatie wordt HVO gehanteerd als verzamelnaam voor HVO en alle vergelijkbare vloeibare drop-in biobrandstoffen, maar ook de synthetische diesel gemaakt met afgevangen CO<sub>2</sub> en duurzame elektriciteit die pas veel later op de markt zal komen. Om de reductiedoelen voor zowel broeikasgassen als luchtverontreinigende stoffen zoals NO<sub>x</sub> en fijnstof te halen zijn volgens de studie in de loop der tijd geavanceerde technologieën en energiedragers nodig zoals batterijen en waterstof of methanol in combinatie met een verbrandingsmotor (ICE) of brandstofcellen (FC).<sup>14</sup> Dit leidt in 2050 tot een mogelijke verdeling van het aantal schepen in de Europese vloot naar technologieën/brandstoffen als weergegeven in Tabel 2.2. In het conservatieve transitiepad is een groot aandeel HVO

---

<sup>12</sup> Dit veronderstelt een relatief snelle instroom van Stage-V motoren in de binnenvaartvloot. Het is de vraag of dit realistisch is zonder verder beleidsingrijpen. Motoren in de binnenvaart gaan relatief lang mee, zie ook TNO (2022).

<sup>13</sup> Voor een toelichting op de verschillende brandstoffen en energiedragers wordt verwezen naar hoofdstuk 3 en bijlage 2 van dit rapport.

<sup>14</sup> In paragraaf 3.4 wordt een overzicht gegeven van te verwachten emissies van NO<sub>x</sub> en fijnstof bij verschillende energiedragers en aandrijflijnen ten opzichte van een stage-V verbrandingsmotor op fossiele diesel.

aangenomen waarmee nog net aan het 90% reductiedoel in 2050<sup>15</sup> wordt voldaan. Ook het aandeel van verbrandingsmotoren in 2050 is met 75% groot in dit scenario.

Het innovatieve transitiepad leidt in 2050 tot een kleiner aandeel verbrandingsmotoren (ongeveer 40%) en bevat meer technologieën en energiedragers met momenteel een relatief lage TRL (TRL 5-7), die (zeker nu) veel duurder zijn dan biodiesel. De kosten lopen snel op als de aandelen geavanceerde technologieën zoals brandstofcellen en batterij-elektrische voortstuwingssystemen toemen. De auteurs hebben het innovatieve transitiepad in het onderzoek meegenomen omdat de duurere alternatieven de emissies van luchtverontreinigende stoffen sterker reduceren dan de drop-in brandstoffen en omdat de business case op de lange termijn aantrekkelijker zou kunnen worden<sup>16</sup>, afhankelijk van het beprijzingsscenario. Op de korte termijn is er geen positieve business case in de meeste gevallen. De toekomstige economische attractiviteit zal sterk afhangen van beleid om deze alternatieve technologieën/brandstoffen te stimuleren in de bredere transportsector en de Europese industrie als geheel. De binnenvaart, die een kleine markt is, zou dan kunnen profiteren van technologische doorbraken en nieuwe economische activiteiten bijvoorbeeld voor waterstofbrandstofcellen, batterijen en groene elektriciteit.

Een belangrijk kenmerk van de resultaten in Tabel 2.2 is de brede waaier aan technologieën en energiedragers die in beide scenario's wordt verondersteld. In het onderzoek is veel aandacht besteed aan het toewijzen van technologieën en brandstoffen aan de Europese vloot. Hiertoe is de vloot opgedeeld in 12 vlootfamilies gekenmerkt door combinaties van scheepstype (motorvrachtschip, duwboot, koppverband, passagiersschip), lading (droog of nat) en lengte. Vervolgens is de geschiktheid van de technologieën en brandstoffen per vlootfamilie geordend op basis van de criteria TRL, volume, gewicht, investeringskosten, operationele kosten, gemiddelde vaarafstand en emissiereductiepotentieel. Daarnaast is rekening gehouden met de diversiteit aan schepen binnen een vlootfamilie vanwege de geïnstalleerde motorcapaciteit en het energiegebruik, die afhankelijk zijn van het vaargebied en het vaarprofiel (verdeling van motorbelasting over de vaartijd). Deze methodiek heeft geleid tot de brede waaier aan ingezette opties zoals weergegeven in Tabel 2.2. De auteurs schrijven in het afrondende hoofdstuk dat het nog te vroeg is om voor één of enkele technologieën en brandstoffen te kiezen. Kostenverlagende ontwikkelingen met betrekking tot productie, distributie en opslag van alternatieve energiedragers en van technologieën in economische sectoren buiten de binnenvaart zijn nodig, alsmede pilottoepassingen in de binnenvaart, alvorens keuzes gemaakt kunnen worden.

In het onderzoek worden de investeringskosten (CAPEX), de operationele kosten (OPEX) en de totale kosten (TCO) tussen 2020 en 2050 van de transitiepaden vergeleken met die van het BAU-scenario. De onzekerheid rondom de prijzen en beschikbaarheid van brandstoffen en de ontwikkeling van technologieën is groot. De geaggregeerde TCO over de periode 2020-2050 komt voor het innovatieve transitiepad 7,8 miljard euro (23%) hoger uit dan bij BAU en voor het conservatieve transitiepad 2,6 miljard euro (8%) hoger, in geval van het gemiddelde prijsscenario. De CAPEX draagt het meeste bij aan de verschillen met het BAU-scenario. Nadere berekeningen voor specifieke

---

<sup>15</sup> Voor dit onderzoek heeft CCR haar doelstelling om broeikasgassen “nagenoeg uit te bannen tegen 2050” gekwantificeerd als 90% broeikasgasreductie in 2050 ten opzichte van 2015.

<sup>16</sup> Het aantrekkelijker worden van de business case op lange termijn geldt vooral voor batterij-elektrisch varen. Voor waterstof is dat nog zeer onzeker aangezien hardware duur is en productie en opslag van H<sub>2</sub> relatief veel energie kost. Zie ook hoofdstuk 3.

technologieën per vlootfamilie tonen aan dat de TCO voor de gemiddelde vlootfamilie hoger is dan de TCO van varen op diesel. In het algemeen geldt dat er door de scheepseigenaar geen winst gemaakt kan worden op investeringen in (bijna) zero-emissie technologieën vergeleken met het BAU-scenario.<sup>17</sup>

**Tabel 2.2**

Procentuele verdeling van het aantal schepen in de Europese vloot in 2050 naar technologieën en brandstoffen in de scenariostudie voor de CCR

Brandstof/Technologie	Business-as-usual	Conservatief	Innovatief
Diesel ICE <sup>a</sup>	90	8	12
HVO/FT diesel ICE	6	51	4
LNG ICE	1	1	0
Bio-LNG ICE	0	6	3
Batterij	3	14	35
H <sub>2</sub> FC <sup>a</sup>	0	5	14
H <sub>2</sub> ICE	0	4	12
MeOH FC	0	7	8
MeOH ICE	0	5	12

a) ICE = Internal Combustion Engine (interne verbrandingsmotor); FC = Fuel Cell (brandstofcel)

Bron: DST & EICB(2021), EICB & TNO(2021).

NB: de scenario's uit de tabel komen niet overeen met de paden zoals die in het voorliggende rapport zijn geconstrueerd (zie hoofdstuk 4) maar vormen daarvoor wel een belangrijke basis.

### 2.3.2 Beleidsvoorstellen en actieplannen van de EU

De Europese Commissie heeft de afgelopen twee jaar verschillende nieuwe beleidsvoorstellen gedaan en programma's geïntroduceerd die van invloed zijn op de binnenvaart. Deze worden hieronder kort toegelicht.

#### **Het Fit-for-55 pakket**

Het Fit-for-55 pakket van de Europese Commissie uit juli 2021 bevat beleidsvoorstellen om het Europese emissiedoel van 55% reductie van broeikasgassen in 2030 ten opzichte van 1990 te realiseren. Dit pakket bevat verschillende voorstellen die ook de binnenvaart raken.

#### *Herziening richtlijn hernieuwbare energie (REDIII)*

Het voorstel voor herziening van de Richtlijn hernieuwbare energie (Renewable Energy Directive III, kortweg REDIII), bevat een verbreding van de reikwijdte van de doelstelling voor de transportsector. De bestaande richtlijn (REDII) bevat alleen een verplichting voor inzet van hernieuwbare energie in weg- en railtransport. In het voorstel voor de REDIII, waarover inmiddels overeenstemming is bereikt binnen de EU<sup>18</sup>, wordt deze verplichting uitgebreid naar alle brandstofleveringen aan

<sup>17</sup> Er zijn enkele uitzonderingen denkbaar met batterij-elektrisch varen over kortere afstanden met containerschepen.

<sup>18</sup> <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/03/30/council-and-parliament-reach-provisional-deal-on-renewable-energy-directive/>

vervoer, inclusief de brandstoffen voor de binnenvaart. Voor Nederland is dit zeer relevant aangezien rond de 60% van de energieleveringen aan de transportsector in Nederland voor rekening van bunkers komt (PBL et al. 2022).

De herziene richtlijn geeft lidstaten twee mogelijkheden om de inzet van hernieuwbare energie in vervoer te reguleren: via een verplichte reductie van de broeikasgasintensiteit van de brandstoffen ten opzichte van de fossiele referentiebrandstof die oploopt tot 14,5% in 2030, of via een verplicht aandeel hernieuwbare energie dat oploopt tot 29% in 2030. Het aandeel van geavanceerde bio-brandstoffen en hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (RFNBO's) moet in 2030 minimaal 5,5% bedragen, waarvan de bijdrage van RFNBO's minimaal 1% moet zijn. Dit subdoel mag ook worden ingevuld met RFNBO's die als tussenproduct worden ingezet bij de productie van fossiele brandstoffen, zoals waterstof dat wordt ingezet bij raffinage. Ook stelt de REDIII maxima aan de inzet van biobrandstoffen uit voedsel- en voedergewassen en uit dierlijke vetten en gebruikte frituurvetten.

Als gevolg van de REDIII zal de inzet van hernieuwbare energie in de binnenvaart toenemen. De mate waarin is afhankelijk van de nationale implementatie van de verplichtingen. Nederland (en andere EU-landen) kunnen zelf bepalen hoe ze de verplichtingen voor de transportsector invullen en hoe/of ze daarin differentiëren tussen modaliteiten. De keuzes hier omtrent worden de komende jaren gemaakt.

#### *Herziening van het Europese emissiehandelssysteem (EU-ETS)*

Het Europese emissiehandelssysteem (EU-ETS) is een instrument gericht op kosteneffectieve broeikasgasreductie. Het bestaat sinds 2005 en is een *cap-and-trade* systeem voor CO<sub>2</sub>-uitstoot. Er is een vast aantal uitstootrechten (het plafond) dat echter in de loop der tijd verlaagd kan worden. Bedrijven in het ETS zijn verplicht voldoende rechten te bemachtigen voor hun CO<sub>2</sub>-uitstoot. Rechten zijn verhandelbaar en beperkt beschikbaar waardoor er een marktprijs voor uitstootrechten (de CO<sub>2</sub>-prijs) ontstaat. Door jaarlijks het aantal rechten te laten afnemen kan gestuurd worden op kostenefficiënte daling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot op macroniveau. Door de herziening van het EU-ETS, waarover begin 2023 overeenstemming is bereikt binnen de EU, zullen er meer sectoren onder het emissiehandelssysteem komen te vallen (waaronder zeevaart). Daarnaast is besloten dat er een apart ETS wordt geïntroduceerd voor gebouwen, wegtransport en kleine industrie (ETS<sub>2</sub>). Zowel ETS<sub>1</sub> als ETS<sub>2</sub> bevat een opt-in mogelijkheid voor lidstaten om nationaal aanvullende sectoren toe te voegen. De sectoren die nog buiten de reikwijdte van het EU-ETS vallen zijn afval, overige mobiliteit (o.a. binnenvaart, mobiele werktuigen) en land- en tuinbouw.

Een van de maatregelen van het IBO ten behoeve van het Beleidsprogramma Klimaat gaat over de 'Brede CO<sub>2</sub>-beprijzing via opt-in EU ETS'<sup>19</sup>. Hierin worden de mogelijkheid en rationale toegelicht om onder andere de binnenvaart onder te brengen in het nieuwe ETS<sub>2</sub>. De binnenvaart kent momenteel geen expliciete CO<sub>2</sub>-beprijzing en ook geen impliciete CO<sub>2</sub>-prijsprikkels omdat brandstof voor de binnenvaart vrijgesteld is van accijns. Een CO<sub>2</sub>-prijs geeft bedrijven een prikkel om te verduurzamen. Het zorgt dat investeringen in verduurzaming zich eerder terugverdienen en kan ook gedragsverandering in gang zetten. Omdat de opt-in een EU-brede mogelijkheid is, raadt het IBO aan om met buurlanden in gesprek te gaan om gezamenlijk een opt-in te kiezen, om zo ook

---

<sup>19</sup> Link naar bestand: [Maatregelen IBO Klimaat](#)

een Europees gelijk speelveld te creëren t.a.v. CO<sub>2</sub>-beprijzing. Nederland is voornemens om de binnenvaart onder het ETS te brengen (EZK 2023a). In de Actieagenda toekomst binnenvaart is aangekondigd dat er een impactanalyse wordt uitgevoerd over het opnemen van binnenvaart onder ETS2 in 2027 (IenW 2023).

#### *Herziening richtlijn energiebelastingen (ETD)*

De Commissie stelt in het Fit-for-55 pakket ook voor om de bestaande Europese richtlijn voor belastingen op energiedragers aan te passen (de Energy Taxation Directive, kortweg ETD). De ETD bevat minimumtarieven voor de accijns op verschillende brandstoffen. In het voorstel (Europese Commissie 2021c) worden minimumbelastingtarieven op motorbrandstoffen en elektriciteit opgelegd voor intra-Europese scheepvaart (zee- en binnenvaart) voor passagiersdiensten, goederen-transport en visserij. Onder de huidige ETD zijn de brandstoffen voor deze diensten vrijgesteld van energiebelasting. De voorgestelde tarieven voor de scheepsdiesel zijn in de periode 2023-2033 wel substantieel lager dan de voorgestelde minimumbelastingtarieven op diesel voor bijvoorbeeld het wegverkeer, om te voorkomen dat met name zeeschepen massaal buiten de EU brandstof inslaan.<sup>20</sup> Het minimumtarief op diesel voor het wegverkeer bedraagt €10,75/GJ en voor de intra-EU scheepvaart €0,90/GJ in 2023-2033 (voor indexatie).<sup>21</sup> Verder geldt er een overgangsperiode van 10 jaar (2023-2033) waarin een nultarief wordt gehanteerd voor duurzame alternatieve brandstoffen en elektriciteit voor de intra-EU scheepvaart om de uitrol van die duurzame alternatieven te stimuleren. Het minimumtarief op diesel voor de genoemde scheepvaartdiensten is zo klein dat het effect op de uitrol van alternatieve brandstoffen in de binnenvaart verwaarloosbaar zal zijn. Wel biedt het principe dat de vrijstelling wordt opgeheven mogelijkheden voor de toekomst.

Bij het voorstel voor herziening van de ETD moet worden opgemerkt dat voor aanpassing van belastingwetgeving in de EU unanimititeit is vereist. Waar over veel andere onderdelen van het Fit-for-55 pakket inmiddels al overeenstemming is bereikt tussen de Europese Commissie, de Europese Raad en het Europees Parlement, is tot nu toe nog weinig voortgang geboekt in de onderhandelingen over de herziening van de ETD (EZK 2023b). Onderhandelingen over een eerder voorstel voor herziening van de ETD uit 2011 hebben jarenlang voortgesleept en uiteindelijk niet tot herziening van de regelgeving geleid.

#### *Verordening infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (AFIR)*

De richtlijn voor infrastructuur voor alternatieve brandstoffen (Alternative Fuel Infrastructure Directive, kortweg AFID) bevat minimumeisen voor de uitrol van infrastructuur voor alternatieve energiedragers, zoals laadpunten voor elektrische auto's. In het Fit-for-55 pakket stelt de Commissie voor deze regels aan te scherpen in een verordening: de Alternative Fuel Infrastructure Regulation (AFIR). Inmiddels is binnen de EU overeenstemming bereikt over het voorstel. In de AFIR (Europese Commissie 2021d) wordt voor de binnenvaart als doel gesteld dat elke binnenvaarthaven van het TEN-T kernnetwerk 1 walstroominstallatie zal hebben per 2025 en elke binnenvaarthaven van het uitgebreide TEN-T netwerk 1 walstroominstallatie per 2030. Dit helpt met name de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen lokaal te beperken.

---

<sup>20</sup> Voor overige intra-EU scheepvaart zoals pleziervaart gelden wel de hoge minimumbelastingtarieven.

<sup>21</sup> Reviewers van het voorliggende hoofdstuk over de binnenvaart wezen de auteurs erop dat er nog (d.d. april 2022) discussie is over de interpretatie van het ETD voorstel. Afhankelijk van interpretatie zou deels ook het hoge (reguliere) tarief van toepassing kunnen zijn (o.a. voor leegvaart).

### **NAIADES III: Boosting future-proof European inland waterway transport**

Het Europese beleid voor verduurzaming van de mobiliteitssector bevat niet alleen beleidsinstrumenten om de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen en externe effecten (beter) te beprijzen, maar ook maatregelen om ‘meer activiteiten te verleggen naar duurzamere vervoerswijzen’ (Europese Commissie 2020). De EU beoogt in dat kader onder meer ‘een aanzienlijk deel van het goederenvervoer naar het spoor, de binnenvaart en de korte vaart te verschuiven’. Deze vervoerswijzen zijn energie-efficiënter (per tonkilometer vervoersprestatie) en met een modal shift van weg naar water en spoor wordt bovendien de congestie op het wegennet verminderd<sup>22</sup>. Daarnaast is het nodig dat het Europese transportsysteem inclusief de binnenvaart een groene en digitale transformatie doormaakt richting klimaatneutraliteit in 2050.

Om meer vracht via de binnenvaart te vervoeren en de vergroening en digitalisering op gang te brengen heeft de EC een actieplan voor 2021-2027 opgesteld: NAIADES III, Boosting future-proof European inland waterway transport (Europese Commissie 2021b). Volgens het actieplan moet de binnenvaart zelf efficiënter en betrouwbaarder worden, over de grenzen heen en door de tijd heen om meer goederenstromen naar de binnenvaart te verplaatsen. Volgens het actieplan kan dit worden bereikt door de vaarcondities te optimaliseren en meer gebruik te maken van slimme verkeersmanagementsystemen. Verder moet de binnenvaart zowel fysiek als digitaal beter worden verbonden met de andere vervoerswijzen. Momenteel is er in sommige delen van Europa een gebrek aan overslaginfrastructuur en binnenlandse multimodale terminals in het bijzonder. De binnenvaart moet een grotere rol gaan spelen in de internationale multimodale logistieke ketens door deelname aan de multimodale uitwisseling van gegevens. Verder bevat het actieplan allerlei stimuleringsregelingen voor projecten en aanpassingen van richtlijnen om de doelen dichterbij te brengen.

Naast het streven om een groter aandeel van het goederenvervoer via de binnenvaart te laten verlopen wil de EC de binnenvaart vergroenen. De EC constateert dat wetgevende en financiële prikkels nodig zijn om de transitie naar nagenoeg zero-emissie binnenvaart in 2050 op gang te brengen. De EC gaat in 2025 de noodzaak evalueren voor wetgevende maatregelen die de introductie van zero-emissie schepen stimuleren. Als eerste stap is een methodologie nodig voor een EU-brede energie-index ten behoeve van het monitoren en rapporteren van de koolstofintensiteit van binnenvaartschepen, analoog aan de *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) voor de zeevaart. Het project “Horizon 2020 Platina3” heeft begin 2022 een rapport (Platina3 2022) opgeleverd over dit onderwerp waar overheden en de sector mee verder aan de slag kunnen. De methodologie moet gaan dienen als basis om reductiedoelen voor de koolstofintensiteit te formuleren en een technologie-route op te stellen naar nagenoeg zero-emissie binnenvaart in 2050. Het project Platina3 gaat de technologie-route mede baseren op de resultaten van het onderzoek van DST & EICB (2021) naar mogelijk geschikte technologieën om de binnenvaart nagenoeg zero-emissie te maken in 2050.

---

<sup>22</sup> In hoofdstuk 4 van dit rapport wordt nader ingegaan op de (on)mogelijkheden voor een modal shift van weg naar water in Nederland. In deze paragraaf schetsen we enkel de ambities en plannen van de EU. Daarbij moet worden opgemerkt dat de EU in zijn actieplan al noemt dat Nederland een hoog aandeel binnenvaart heeft in het goederenvervoer. Nederland wordt in dit plan vooral genoemd als voorbeeld voor het potentieel dat de binnenvaart biedt.

## 2.4 Nationaal beleid voor verduurzaming binnenvaart

De Nederlandse overheid streeft naar een klimaatneutrale binnenvaart in 2050. Dit moet niet alleen bijdragen aan het tegengaan van klimaatverandering, maar ook aan het terugdringen van de stikstofdepositie in kwetsbare natuurgebieden (IenW 2022a). De Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens uit 2019 bevat de ambities om in 2030 minimaal 150 binnenvaartschepen voorzien te hebben van een zero-emissie aandrijflijn en om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de Nederlandse binnenvaartvloot in 2030 met 40% tot 50% te hebben gereduceerd ten opzichte van 2015. In de Green Deal ontbreekt echter een beschrijving van de Nederlandse binnenvaartvloot en ook de omvang van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2015 wordt niet gegeven. Verder wordt niet toegelicht hoe realistisch deze ambitie is.

Om de transitie naar een duurzame binnenvaartvloot te ondersteunen werkt Nederland in Europees kader met de EU en de CCR aan een Duurzaamheidsfonds. Nationaal zijn er meerdere subsidieregelingen en wordt er gewerkt aan verdere uitrol van batterij-elektrisch varen. Ook wordt verkend of het mogelijk is om de verduurzaming van bepaalde segmenten van de vloot te versnellen via normering (IenW 2022b).

### *Batterij-elektrische binnenvaart gestimuleerd via het Nationaal Groeifonds*

Het eerste Nederlandse elektrische binnenvaartschip voor goederenvervoer is al enige tijd operationeel: sinds september 2021 vervoert de Alphenaar ladingen voor Heineken<sup>23</sup>. Het schip vaart met 2 verwisselbare accucontainers aan boord een vaste route tussen Alphen aan den Rijn en Moerdijk. De accucontainers worden bij een laadstation in Alphen aan den Rijn geladen en gewisseld. Het bedrijf Zero Emission Services (ZES), dat dit schip in de vaart heeft gebracht, heeft als aandeelhouders Ebusco, Wärtsilä, ING en Havenbedrijf Rotterdam. In april 2022 is bekend gemaakt dat ZES een investering van 50 miljoen euro zal ontvangen uit het Nationaal Groeifonds voor de ontwikkeling van 75 batterijcontainers voor maritieme toepassing (de “ZESpacks”), 14 docking stations waar de ZESpacks worden geladen en 45 geëlektrificeerde binnenvaartschepen<sup>24</sup>. Door tegelijkertijd te investeren in elektrisch aangedreven schepen, batterijcontainers en laadinfrastructuur wordt het bekende kip-ei probleem voor groen transport doorbroken.

### *Onderzoek naar varen op waterstof*

Onderzoek naar waterstof als brandstof in de mobiliteitssector staat momenteel in de belangstelling. Zo is een onderzoeksproject naar voortstuwings- en energiesystemen voor schepen op basis van waterstof gestart in het kader van de subsidieregeling R&D Mobiliteitssectoren van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland: SH<sub>2</sub>IPDRIVE<sup>25</sup>. Daarnaast is in 2021 een rapport van het RH<sub>2</sub>INE-programma<sup>26</sup> gepubliceerd dat regionale overheden en havenautoriteiten in de corridor Rotterdam-Keulen inzicht biedt in allerlei aspecten en oplossingen bij het implementeren van waterstof en waterstofinfrastructuur in de binnenvaart. De hoofdconclusie van het rapport is dat men

---

<sup>23</sup> Link naar website: [emissievrij binnenvaartschip de Alphenaar](#)

<sup>24</sup> Link naar website: [Investering Nationaal Groeifonds in ZES](#)

<sup>25</sup> Link naar website: [projectbeschrijving SH<sub>2</sub>IPDRIVE](#)

<sup>26</sup> Link naar websites: [RH<sub>2</sub>INE consortium 2021](#); [overzichtsrapport](#)

zich dient te richten op technologisch volwassen oplossingen met gebruik van flexibele modulaire opslag- en bunkerconcepten op de korte termijn en oplossingen met een hogere energiedichtheid op de langere termijn. Voor de korte termijn (0-5 jaar) wordt gecompriëerde waterstof in verwisselbare containers als de meest haalbare oplossing gezien. Op de middellange termijn (5-10 jaar) zou vloeibare waterstof een oplossing kunnen zijn onder de nodige voorwaarden en op een termijn van meer dan 10 jaar zouden waterstofdragers (waterstofverbindingen zoals methanol, ammoniak of het poedervormige natriumboorhydride) een mogelijke oplossing kunnen worden. De auteurs van voorliggend rapport (PBL en TNO) wijzen erop dat er nog veel onderzoek nodig is om dit in de praktijk voor elkaar te krijgen. Daarnaast is waterstof een zeer kostbare optie die alleen met veel subsidie gerealiseerd kan worden (zie par. 3.3). De bij het RH2INE-programma betrokken publieke en private partijen hebben de ambitie om in 2030 50 tot 100 schepen op waterstof operationeel te hebben. In de Actieagenda Toekomst Binnenvaart uit november 2023 is een subsidieregeling voor varen op waterstof aangekondigd voor 2025. Hierbij is een reservering gemaakt van 75 miljoen euro uit het Klimaatfonds. Definitieve besluitvorming zal plaatsvinden bij de toekenning van middelen uit het Klimaatfonds in het voorjaar van 2024 (IenW 2023).

#### *Subsidie van Nationaal Groeifonds voor bouw klimaatneutrale demonstratieschepen*

Op 30 juni 2023 heeft het Ministerie van IenW 210 miljoen euro toegekend gekregen, waarvan 110 miljoen euro voorwaardelijk, van het Nationaal Groeifonds voor uitvoering van een deel van het Maritiem Masterplan<sup>27</sup>. Met deze gelden kan de Nederlandse maritieme sector de ontwikkeling, bouw en ingebruikname van klimaatneutrale demonstratieschepen versnellen om daarmee voor diverse scheepstypen marktleider te worden in de bouw van emissieloze schepen. Specifiek gaat het om circa 40 klimaatneutrale demonstratieschepen die gaan varen op de alternatieve brandstoffen waterstof en methanol of op LNG met carbon capture. De schepen zullen in gebruik worden genomen in de kust- en binnenvaart, natte waterbouw en offshore wind of worden ingezet t.b.v. de maritieme veiligheid. Het Maritiem Masterplan bouwt voort op de projecten Menens, SH2IPDRIVE en LNG Zero van de subsidieregeling R&D Mobiliteitssectoren.

#### *Subsidieregelingen voor verduurzaming binnenvaartvloot en waterbouwschepen*

Om de verschoning van de binnenvaartvloot aan te jagen, heeft het kabinet in 2021 een subsidieregeling ingevoerd voor de inbouw van SCR-katalysatoren en roetfilters in bestaande schepen (retrofit) en voor de installatie van nieuwe motoren die aan de Stage-V emissienormen voldoen. Met deze Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaartschepen (SRVB) wordt beoogd de uitstoot van stikstof door de binnenvaart te reduceren. Om de uitstoot van CO<sub>2</sub> terug te dringen wordt ook de aanschaf van een elektrische aandrijflijn op de schroefas gesubsidieerd. De regeling loopt ten minste tot 2025, en het merendeel van het budget is bestemd voor retrofit van bestaande motoren<sup>28</sup>. De verduurzaming van werkschepen in de waterbouw wordt gestimuleerd via de subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwen (SSEB), waarin eveneens subsidie wordt verleend voor retrofit met SCR-katalysatoren. Ten slotte wordt in de Tijdelijke subsidieregeling onderzoek Topsector Logistiek 2022-2026 onderzoek gestimuleerd naar de transitie naar duurzame, concurrerende en veilige logistieke ketens en goederenvervoer.

---

<sup>27</sup> Link naar websites: [Subsidie Nationaal Groeifonds voor Maritiem Masterplan](#); [Het Maritiem Masterplan](#)

<sup>28</sup> <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/srvb>



### *Milieulabel voor binnenvaartschepen maakt milieuprestatie inzichtelijk*

Eind 2021 is het Binnenvaart Emissieprestatie Label geïntroduceerd, waarmee de milieuprestatie van binnenvaartschepen inzichtelijk wordt gemaakt. Aanvraag van een label is vrijwillig. Het label wordt toegekend op basis van de prestatie van het schip op gebied van zowel klimaat (CO<sub>2</sub>-uitstoot) als luchtverontreiniging (NO<sub>x</sub> en PM). Beoogd wordt dat steeds meer stakeholders zoals overheden, banken, havens en verladers voordelen zoals lagere havengelden gaan geven aan schepen met duurzame labels. Dit moet de verduurzaming van de binnenvaartvloot aanjagen.

In de Actieagenda Toekomst binnenvaart (IenW 2023) is aangekondigd dat in de komende jaren alle scheepseigenaren verplicht worden een label aan te vragen en dat vervolgens van hen wordt verlangd stapsgewijs in een betere labelcategorie terecht te komen. De actieagenda noemt hier een doelstelling voor het label voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030. De binnenvaart moet in dat jaar gemiddeld op het niveau van label B zitten (maximaal 265 gram CO<sub>2eq</sub> per kWh). Dit betekent een reductie van ongeveer 55% ten opzichte van het huidige gemiddelde<sup>29</sup>. In de actieagenda wordt nog geen invulling gegeven aan de wijze waarop het label geïmplementeerd wordt. Er wordt aangehaald dat wordt ingezet op het zero-emissie maken van de schepen met het hoogste verbruik in combinatie met inzet van biobrandstoffen.

---

<sup>29</sup> Hierbij gaan we uit van het brandstofverbruik van een CCRII motor van 190 gram per kWh

## 3 Duurzame technologieën en energiedragers

Om tot klimaatneutrale binnenvaart te komen is de inzet van duurzame energiedragers met bijbehorende technologieën aan boord van schepen cruciaal. Hiervoor zijn verschillende opties in beeld, die in dit hoofdstuk worden toegelicht. We beschrijven deze opties aan de hand van een aantal criteria: de technologische en commerciële beschikbaarheid (TRL & CRL), de kosten, de bredere milieu-impact, de energie-efficiëntie en de toepasbaarheid. In de analyse beschouwen we zowel de energie-omzetters aan boord, zoals motoren en brandstofcellen, als de brandstofproductie en de benodigde energie-infrastructuur. De lange levensduur van motoren kan een belemmering vormen om het doel 'klimaatneutrale binnenvaart in 2050' te halen in een scenario met een laag aandeel dieselbrandstoffen (biodiesel of e-diesel) en een hoog aandeel andere duurzame brandstoffen of energiedragers waarvoor nieuwe aandrijflijnen nodig zijn. Een beeld van de levensduur van motoren naar scheepstypen wordt in de laatste paragraaf gegeven.

### 3.1 Overzicht energiedragers

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de brandstoffen en andere energiedragers die voor verduurzaming van de binnenvaart in beeld zijn. Voor elke energiedrager zijn er meerdere duurzame productieopties, waarbij voor de energiedragers onderscheid wordt gemaakt tussen biobrandstoffen, die uit biomassa worden gemaakt, en e-brandstoffen, die met hernieuwbare elektriciteit worden gemaakt. Deze laatste groep bevat waterstof en e-brandstoffen als e-diesel, e-methanol en e-ammoniak. Aan boord van het schip zijn er meerdere opties om de brandstof of energiedrager in mechanische energie om te zetten, zoals een verbrandingsmotor, een brandstofcel of een elektromotor. De tabel geeft per energiedrager de verschillende mogelijkheden. In bijlage 2 wordt een uitgebreid overzicht gegeven van de verschillende grondstof- en productieroutes voor de verschillende biobrandstoffen en e-brandstoffen.

**Tabel 3.1**  
Brandstof- en energieconversie-opties voor verduurzaming van de binnenvaart

	Brandstofproductie		Energieconversie aan boord
	biobrandstof	e-brandstof	
<b>Diesel</b>	X	X	Verbrandingsmotor
<b>(Bio-)LNG<sup>a</sup> – methaan</b>	X	X	Verbrandingsmotor / brandstofcel <sup>b</sup>
<b>Methanol</b>	X	X	Verbrandingsmotor / brandstofcel
<b>Ammoniak</b>		X	Verbrandingsmotor / brandstofcel
<b>Waterstof<sup>c</sup></b>		X	Verbrandingsmotor / brandstofcel
<b>Accu-elektrisch</b>		X	Elektromotor

- a) In de meeste gevallen kan bio-LNG breder geïnterpreteerd worden voor alle duurzame vloeibare methaan, dus ook e-methaan.
- b) Brandstofcelaandrijving maakt ook gebruik van een elektromotor
- c) Waterstof kan onder hoge druk of vloeibaar aan boord opgeslagen worden. Daarnaast kan een vloeibare of vaste waterstofdrager overwogen worden zoals een LOHC (*Liquid Organic Hydrogen Carrier*) of een zout zoals  $\text{NaBo}_4$ .

Voor het evalueren van de daadwerkelijke marktkansen van brandstof- en aandrijflijnopties, zijn op basis van eerder onderzoek en literatuur (zie bijvoorbeeld Berkehan Inal et al. (2022)) vier criteria gedefinieerd, die weergegeven zijn in tabel 3.2:

- *Technologische en commerciële beschikbaarheid* (TRL en CRL): voor zowel de energieconvector ('motor') aan boord van het schip als de energiedistributie-infrastructuur;
- *Kosten* van de brandstof, de aandrijflijn, tank en opslag in het schip;
- *Milieu-impact* voor broeikasgas- en luchtverontreinigende emissies in combinatie met de energie-efficiëntie van de brandstofketen;
- *Toepasbaarheid*: de daadwerkelijke mogelijkheden voor toepassing in een flink deel van de vloot gegeven de beschikbaarheid van componenten (TRL/CRL), energiedichtheid (vaarafstand en verlies aan ladingruimte), het juridisch kader en de bunkerinfrastructuur. Ook veiligheidsaspecten worden onder dit criterium meegenomen. Het juridisch kader omvat de voorschriften om energiedragers en bijbehorende technologie in een schip te mogen inbouwen en gebruiken.

Ontwikkelingen op zaken die vooral de eerste drie criteria bepalen kunnen ook invloed hebben op de toepasbaarheid. In de paragrafen 3.2 t/m 3.5 wordt de analyse per criterium nader toegelicht. Elke paragraaf eindigt met de conclusies voor dat criterium.

**Tabel 3.2**

Criteria voor evaluatie van marktkansen voor brandstof- en aandrijflijnopties voor de binnenvaart

TRL - CRL	Kosten	Milieu	Toepasbaarheid
Aandrijflijn	Aandrijflijn, tank en opslag	Broeikasgassen	Energiedichtheid
Energie-infrastructuur	Brandstof	Motor- en aandrijflijnemissies	Veiligheid
		Energie-efficiëntie	Juridisch kader
			Bunkerinfrastructuur
			Nieuwe en bestaande schepen

## 3.2 Technology & Commercial Readiness Level

De technologische en commerciële beschikbaarheid, aangeduid met respectievelijk TRL (*Technology Readiness Level*) en CRL (*Commercial Readiness Level*), kennen een aantal niveaus (levels) die op Europees niveau zijn vastgelegd (zie bijlage 1 voor een duiding van de verschillende niveaus). TRL heeft een schaal van 1 tot 9. Hoe hoger het niveau, hoe verder ontwikkeld de technologie is. De gebruikte CRL index heeft een schaal van 1 tot 6 (ARENA 2014), waarbij het grootste deel van die schaal zich afspeelt bij TRL 8 en 9 (zie voor een verdere toelichting bijlage 1). Bij TRL 8 zijn technologieën en systemen compleet en gekwalificeerd en bij TRL 9 zijn ze bewezen in een operationele omgeving. De CRL-beoordeling beschrijft vooral de marktopschaling zoals het aantal toepassingen waarvoor de technologie beschikbaar is, het aantal leveranciers en de mogelijkheid om externe financiering aan te trekken voor de opschaling. TRL en CRL zijn een beoordeling van de feitelijke situatie op het moment van beoordeling. Gunstige vooruitzichten of de snelheid waarmee de verschillende niveaus doorlopen kunnen worden, spelen daarin geen rol. Het is relevant om onderscheid te maken tussen de TRL en de CRL van een technologie. Een technologie kan technologisch volledig gereed en geschikt zijn voor toepassing (hoogste TRL-niveau), terwijl het commercieel niet interessant genoeg is. Dan zal het CRL-niveau laag blijven. Dat kan bijvoorbeeld omdat de markt te klein of te onzeker is.

### **TRL- en CRL-niveaus van aandrijflijnen voor klimaatneutrale binnenvaart**

Tabellen 3.3 – 3.5 geven een overzicht van het TRL- en CRL-niveau van de energie-omzetters/elektrische aandrijflijn voor de verschillende energiedragers voor de binnenvaart, gebaseerd op een beoordeling van de situatie in de markt en contacten met leveranciers per medio 2023. De TRL- en CRL-niveaus voor de aandrijflijnen voor duurzame diesel (biodiesel of e-diesel) liggen momenteel al op het hoogste niveau (tabel 3.3). Hiervoor zijn motoren beschikbaar op normaal commercieel niveau<sup>30</sup>. De aandrijflijn voor bio-LNG is identiek aan die van LNG. Dit is een volwassen technologie, die echter maar op een kleine schaal commercieel is uitgerold naar de binnenvaart. Voor gebruik van methanol en waterstof in een verbrandingsmotor zijn eerste pilots in voorbereiding (met name voor toepassing in grote duwschepen). Het productaanbod voor motoren op deze brandstoffen die geschikt zijn voor de binnenvaart is momenteel zeer beperkt. Gebruik van ammoniak wordt momenteel vooral onderzocht voor de zeescheepvaart, maar is in potentie ook mogelijk in de binnenvaart.

Batterij-elektrische aandrijving heeft qua TRL het hoogste niveau bereikt (tabel 3.4). Er is een eerste toepassing van batterij-elektrische aandrijving met verwisselbare batterij-containers (zie paragraaf 2.4). Er zijn meerdere toepassingen waarbij vaste accu's worden toegepast. Deze kunnen dan gebruikt worden om beperkt elektrisch te varen of het hulpvermogen te leveren (voor boord-elektriciteit, boegschroef) tijdens varen of liggen aan wal.

De ontwikkeling van brandstofceltoepassingen blijft qua technologieontwikkeling achter op de andere aandrijflijnen (tabel 3.5). Voor waterstof is een aantal eerste pilotschepen ontwikkeld en wordt gewerkt aan verdere doorontwikkeling.<sup>31</sup> Andere brandstofcelsystemen (methanol of ammoniak) worden ontwikkeld en beproefd in met name de zeescheepvaart.

---

<sup>30</sup> Dat betekent inclusief formele Stage V typegoedkeuring.

<sup>31</sup> In 2019 is een 30 kW brandstofcelsysteem geïnstalleerd op het opleidingsschip 'Emili' (Marigreen 2019) en recent is er een containerschip uitgerust met PEM-brandstofcellen (FPS Maas).

**Tabel 3.3**

Indicatie van de TRL en CRL-niveaus van verbrandingsmotoren voor de binnenvaart per medio 2023 (expertvisie TNO)

	TRL	CRL	Opmerking
<b>Diesel</b>	9	6	
<b>(Bio-)LNG</b>	9	5	
<b>Methanol</b>	6-7	1-2	Zeer beperkt productaanbod
<b>Ammoniak</b>	3-4	1	
<b>Waterstof</b>	6-7	1	Zeer beperkt productaanbod

**Tabel 3.4**

Indicatie van de TRL en CRL-niveaus van elektrische aandrijving voor de binnenvaart per medio 2023 (expertvisie TNO)

	TRL	CRL	Opmerking
<b>Batterij: vast - hulpvermogen</b>	9	3	Elektriciteit aan boord, boegschroef
<b>Batterij: verwisselbaar – hoofdvermogen</b>	9	2-3	Volledige elektrische aandrijving
<b>Walstroom</b>	9	6	

**Tabel 3.5**

Indicatie van de TRL en CRL-niveaus van brandstofcelsystemen voor de binnenvaart per medio 2023 (expertvisie TNO)

	TRL	CRL	Opmerking
<b>Methanol</b>	4-5	1	
<b>Ammoniak</b>	2-4	1	
<b>Waterstof</b>	7	1	Alleen laag vermogen

### **Toekomstverwachting ontwikkeling TRL en CRL van aandrijflijnen**

De snelheid waarmee hogere TRL-niveaus bereikt worden, hangt vooral af van de investeringen in de technologieontwikkeling om alle stappen in de ontwikkeling en beproeving in de praktijk te doorlopen en van de complexiteit van de technologie. Het geld voor investeringen komt alleen beschikbaar als de belangrijke leveranciers en eindgebruikers het vertrouwen hebben dat zowel het brandstoftype als de energieomzetter een behoorlijke marktpositie kunnen opbouwen en de concurrentie aankunnen met andere opties.

Er is medio 2023 een redelijke belangstelling voor toepassing van biodiesel in de binnenvaartsector. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bestaande motoren, alhoewel een deel van de scheepseigenaren een verhoogde kans op motorstoringen verwacht. Dit zou op te lossen moeten zijn, hetzij door

beperkte technische aanpassingen of door het type biobrandstof aan te passen<sup>32</sup> (NEN 2021, Verbeek et al. 2020a). Schepen die varen op LNG kunnen ook varen op de duurzame variant: bio-LNG. LNG staat reeds een tiental jaren in de belangstelling als alternatieve transportbrandstof, maar op basis van contacten met de branche kan geconcludeerd worden dat de belangstelling voor toepassing van LNG of bio-LNG in de binnenvaart niet groot is. De redenen hiervoor zijn de hoge installatiekosten, het tijdrovende bunkerproces en de onzekerheden over de prijs van de brandstof in relatie tot de dieselprijs.

Voor methanol in combinatie met verbrandingsmotoren is belangstelling omdat de techniek relatief beschikbaar en betaalbaar is en het veel praktischer is dan waterstof of accu-elektrisch, zeker voor grote vermogens.

Toepassing van ammoniak voor verduurzaming van de binnenvaart wordt momenteel ook overwogen. De technologie voor motoren of brandstofcellen die werken op ammoniak is echter nog onvoldoende ontwikkeld en aan de fijnmazige distributie en het kleinschalige gebruik van ammoniak als brandstof in binnenvaart kleven risico's voor de externe veiligheid. Dit wordt in paragraaf 3.5 behandeld. Ammoniak is technisch makkelijker en veiliger te gebruiken in de veel grotere motoren van zeeschepen.

Opschaling van de verschillende technieken hangt af van het concurrerend vermogen ten opzichte van diesel. Dit kan gebeuren als de technologie kosteneffectief wordt, of als door wetgeving, subsidies, fiscaal beleid of beprijzing de optie aantrekkelijker wordt. In de huidige situatie is het kostenverschil een bottleneck voor ontwikkeling van nieuwe motoren of ombouwkits (om bestaande dieselmotoren in de vloot om te kunnen bouwen naar waterstof- of methanol-diesel dual-fuel motoren).

### **TRL- en CRL-niveaus van energie-infrastructuur voor de binnenvaart**

Naast de technische en commerciële rijpheid van de technologie aan boord is ook de beschikbaarheid van bunkerinfrastructuur een cruciale factor in het succes van de verschillende opties voor verduurzaming van de binnenvaart. De bunkerinfrastructuur voor biodiesel is qua TRL en CRL volwassen. Biodiesel kan eveneens, net als bij wegtransport, in lage blend bij de gewone diesel worden gemengd. Ook LNG is beschikbaar in zeehavens, en hiermee afdoende beschikbaar voor binnenvaart van en naar deze havens. Het TRL-niveau is ingeschat op 9.

Voor de energievoorziening van batterij-elektrische aandrijving ligt het TRL-niveau ook op 8-9: er zijn installaties in de praktijk zowel voor beperkt elektrisch varen met accupakket als één voor volledig elektrisch varen met verwisselbare batterij-containers. Voor het volledig batterij-elektrisch varen (met verwisselbare accu-containers) is de uitdaging nu om meerdere opdrachtgevers en scheepseigenaren te overtuigen en een infrastructuur van wissellocaties voor batterij-containers op te bouwen. Ook is het belangrijk om na te gaan of dit principe geschikt is voor andere segmenten dan de containervaart. Het groeifondsproject dat in paragraaf 2.4 wordt beschreven kan hiervoor een basis bieden. Ondanks het nadeel van het dagelijks wisselen van accu-containers, kan batterij-elektrisch varen relatief snel groeien mits het lukt om de infrastructuur op te schalen en voldoende

---

<sup>32</sup> De motorstoringen, met name filterverstopping, zijn alleen van toepassing bij gebruik van FAME, dat doorgaans tot een blend van 7% gebruikt kan worden. Er zijn voldoende andere biodieseloptyes.

fijnmazig te maken op veel gebruikte routes. De accu's zijn nog relatief duur, maar de ontwikkeling en kostenreductie van accutechnologie vindt autonoom plaats, onafhankelijk van de binnenvaart.

De bunkerinfrastructuur voor waterstof en methanol is nog niet ontwikkeld. Voor methanol is wel veel technisch ontwikkeld voor de zeevaart en er is al een eerste *ship-to-ship* bunkering geweest. Verwacht wordt dat bunkerinfrastructuur hiervoor in ieder geval beschikbaar zal komen in de zeehavens. Binnenvaartschepen zouden daar dan ook gebruik van kunnen maken.

### **Conclusies omtrent CRL- en TRL-niveaus**

Uit de analyse van de CRL- en TRL-niveaus van de aandrijflijnen en energie-infrastructuur kunnen we het volgende concluderen:

- Alleen de TRL- en CRL-niveaus voor de aandrijflijnen en energie-infrastructuur voor duurzame diesel (biodiesel en e-diesel) en bio-LNG/LNG liggen momenteel al op het hoogste niveau. Hiervoor zijn motoren en bunkeropties beschikbaar op normaal commercieel niveau. Voor (bio-)LNG zijn het motorenaanbod en de bunkeropties beperkt;
- Er is een eerste toepassing van batterij-elektrische aandrijving met verwisselbare batterij-containers. Hier moeten eerst nog verdere stappen worden gezet voordat de technologie op grote schaal toegepast kan worden. Via een Groeifonds-project wordt er momenteel praktijkervaring opgedaan met batterij-containers. Er zijn meerdere toepassingen waarbij vaste accu's worden toegepast voor beperkt elektrisch varen of hulpvermogen;
- Voor methanol en waterstof zijn nog geen of heel beperkt standaardproducten beschikbaar voor de binnenvaart. Beproeving vindt plaats in een testomgeving, beproeving op schepen is wel gepland. Er is nog geen infrastructuur beschikbaar, hoewel deze wel wordt ontwikkeld in de zeehavens.
- De TRL en CRL van ammoniak als brandstof in de scheepvaart is nog laag. In de binnenvaartsector is er nog weinig belangstelling voor ammoniak als brandstof, vooral vanwege zorgen over (externe) veiligheid. Dit maakt dat het ook langer kan duren voordat de technologie hogere TRL- en CRL-niveaus bereikt. Ook motor- en brandstofceltechnologieën voor ammoniak zijn onvoldoende ontwikkeld en relatief complex.

## **3.3 Kosten**

Naast de TRL- en CRL-niveaus zijn ook de kosten van de brandstoffen en aandrijflijnen uiteraard van groot belang voor de marktkansen. In deze paragraaf schetsen we een beeld van de huidige verwachtingen over de productiekosten van de verschillende brandstoffen en over de investeringskosten in de aandrijflijnen. De uiteindelijke marktprijzen zullen tot stand komen onder invloed van vraag naar en aanbod van de verschillende brandstoffen (en onderliggende grondstoffen zoals biomassa, hernieuwbare elektriciteit en koolstof) en aandrijflijnen. Ze zijn op dit moment niet te voorspellen.

De productiekosten van duurzame brandstoffen liggen over het algemeen hoger dan die van fossiele brandstoffen. Duurzame elektriciteit is wel goedkoop ten opzichte van de andere duurzame energiedragers, maar de inzet gaat gepaard met relatief hoge afschrijvingskosten voor de accu's en hoge distributiekosten. Dit wordt momenteel wel al aangeboden op een 'pay per use' basis, waarbij de accukosten zijn opgenomen in de geleverde elektriciteitskosten aan boord van het schip. Naast het feit dat duurzame brandstoffen veel duurder zijn dan fossiele brandstoffen, zullen met name voor waterstof, bio-LNG en methanol ook de kosten van de bunkertanks en energieconvertors aan

boord van de schepen hoger zijn. Vanwege deze hogere installatiekosten in het schip zullen deze duurzame energiedragers in de toekomst goedkoper of beter beschikbaar moeten zijn dan een duurzame (drop-in) diesel om een aantrekkelijk alternatief te kunnen vormen of moet de inzet ervan via wetgeving worden afgedwongen.

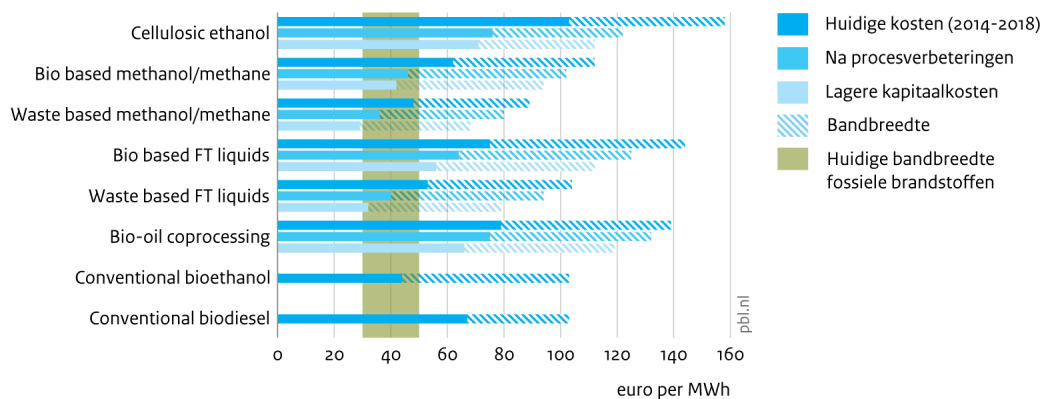
### ***Kosten van de brandstoffen en energiedragers***

In Figuur 3.1 is een overzicht gegeven van de huidige productiekosten van verschillende soorten biobrandstoffen en de verwachte kostendalingen zoals die door de IEA (2020) zijn geraamd. De verwachte kostendalingen komen enerzijds voort uit verbetering van productieprocessen en anderzijds door aannames over lagere kapitaalkosten. De grafiek laat zien dat de nu veel gebruikte conventionele biobrandstoffen relatief goedkoop zijn, maar nog steeds tot circa tweemaal duurder dan fossiele brandstof. De groei van de productie van biobrandstoffen zit bij de andere, deels geavanceerde biobrandstoffen die gebruikmaken van de grondstoffen zoals die in Bijlage A van de Europese Richtlijn voor hernieuwbare energie zijn gedefinieerd. Deze zijn nu (regionaal gedifferentieerde prijzen in periode 2014-2018, weergegeven als bandbreedte) nog relatief duur maar kunnen op termijn goedkoper worden en uiteindelijk concurrerend worden met fossiele brandstoffen (mede afhankelijk van de ontwikkeling van de olieprijs). De figuur geeft ook een bandbreedte voor de prijs van fossiele brandstoffen. Die is gebaseerd op een range in olieprijs tussen de 40 en 70 dollar per vat in de periode 2014-2018. Bij hogere olieprijs zoals bijvoorbeeld het geval was tussen medio 2021 en begin 2023 (80-120 dollar per vat) zal het prijsverschil tussen biobrandstoffen en conventionele brandstof uiteraard kleiner zijn.



**Figuur 3.1**

**Vergelijking mogelijke ontwikkeling van productiekosten van biobrandstoffen**



Bron: IEA 2020

In de figuur wordt onderscheid gemaakt tussen *bio-based* en *waste-based* grondstoffen. Bij *waste-based* grondstoffen (afval en reststromen) worden negatieve kosten aan de grondstoffen toegekend. Het gebruik levert dus geld op. Voor de lange termijn, uitgaande van een toekomstige schaarste aan grondstoffen en vaak ook hoge inzamelingskosten, lijkt dat minder realistisch. Bio-methaan en bio-methanol hebben over het algemeen een lagere kostprijs (per GJ) dan de overige (vloeibare) biobrandstoffen.

Tabellen 3.7 en 3.8 geven een breder overzicht van de productiekosten (in euro per GJ brandstof-energie) van de verschillende brandstoffen en energiedragers, gebaseerd op onderzoek van IEA (2020) en Van Kranenburg et al. (2021). De tabellen bevatten naast de biobrandstoffen ook de e-brandstoffen, maar niet de *waste-based* opties. De tabellen geven voor zover al commercieel beschikbaar de productiekosten voor 2020 en daarnaast de geraamde productiekosten voor 2040. Tabel 3.6 bevat de productiekosten van fossiele diesel in 2020 en februari 2022. De IEA (2020) verwacht dat de prijs voor fossiele diesel in 2040 met een factor 4 tot 5 zal zijn toegenomen tot wel 22 à 31 euro per GJ door schaarste en/of een koolstofbelasting (bij een CO<sub>2</sub> prijs van ca. 275 €/ton). Dit is uiteraard mede afhankelijk van beleidskeuzes.

Uit tabellen 3.7 en 3.8 blijkt dat de e-brandstoffen over het algemeen flink duurder zijn dan de biobrandstoffen. De geprojecteerde kostprijzen voor e-diesel en e-methanol liggen een factor 2 tot 3 hoger dan die voor de biologische equivalenten. De mogelijke toekomstige schaarste aan duurzame biologische koolstofbronnen zou toch een reden kunnen zijn om tevens e-brandstoffen te produceren. In dat geval wordt koolstof uit de lucht gehaald of betrokken uit CO<sub>2</sub>-rijke reststromen. Waterstof kan wel redelijk concurrerend met biobrandstoffen geproduceerd worden. Van de overige e-brandstoffen zal e-ammoniak na waterstof waarschijnlijk het meest concurrerend zijn.

De verschillen in bulk-brandstofkosten kunnen overigens weer (deels) teniet gedaan worden door verschillen in distributiekosten en marges.

Distributiekosten zijn hoger voor brandstoffen met een lagere volumetrische energie-inhoud (Verbeek et al. 2020b). Dit geldt met name voor H<sub>2</sub> en in mindere mate voor ammoniak en LNG (zie bijlage 3). Distributiekosten voor nieuwe brandstoffen kunnen daarnaast hoger zijn omdat het distributiesysteem nieuw ontwikkeld moet worden en er gedurende langere tijd sprake kan zijn van onderbenutting.

Duurdere duurzame brandstoffen kunnen toch aantrekkelijk zijn omdat er extra voordeel (waarde) aan wordt toegekend vanuit beleidsinstrumenten zoals de HBE-systematiek (inclusief multiplier) of ETS. Voor de geavanceerde biobrandstoffen en e-brandstoffen is er nog nauwelijks productievolume, zodat de onzekerheden groot zijn. Dit vertaalt zich in een grote bandbreedte in kosten.

**Tabel 3.6**

Productiekosten van fossiele diesel

	Periode	Grondstof	Productiekosten (€/GJ)
<b>Fossiele diesel</b>	2020 - feb 2022	Aardolie	4-19

Bron: PBL & TNO

**Tabel 3.7**

Productiekosten van biobrandstoffen

	Jaar	Grondstof	Productiekosten (€/GJ)
<b>FAME</b>	2020-2040	PPO	19 - 28
<b>HVO</b>	2020-2040	PPO	21 - 34
<b>Bio-ethanol</b>	2040	Cellulosehoudende biomassa	21 - 34
<b>Bio-methanol / bio-LNG</b>	2040	Biomassa	13 - 28
<b>FT diesel</b>	2040	Biomassa	18 - 35
<b>Bio-olie<sup>a</sup></b>	2040	Biomassa	21 - 37

a) Bio-olie wordt gemaakt door het upgraden van pyrolyse olie, een product dat ontstaat door onvolledige verbranding van houtachtige producten.

Bron: IEA (2020) en Van Kranenburg et al. (2021)

**Tabel 3.8**

Productiekosten van e-brandstoffen bij een bandbreedte van de elektriciteitsprijs van € 30/MWh tot € 70/MWh

	Jaar	Grondstof	Productiekosten (€/GJ)
<b>Groene waterstof</b>	2040	-	21-37
<b>E-methanol</b>	2040	DAC	36-59
<b>E-diesel (FT)</b>	2040	DAC	42-66
<b>E-ammonia</b>	2040	-	32-55

Bron: IEA (2020) en Van Kranenburg et al. (2021)

### **Investeringskosten en TCO van de aandrijflijn**

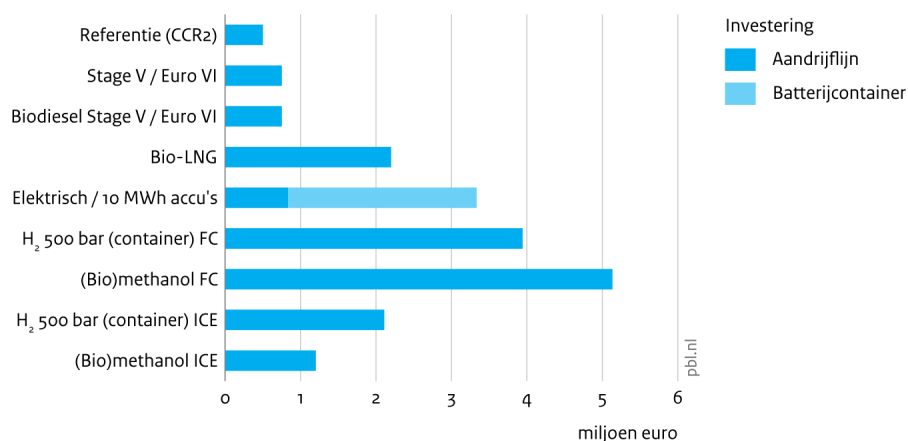
Als voorbeeld zijn de investeringskosten voor aandrijflijnen voor een groot motorschip weergegeven in figuur 3.2.

De figuur laat zien dat de meerkosten zeer groot zijn, vooral bij toepassing van brandstofcellen, en bij verschillende opties ook door de kosten van opslag van energie (tanks voor H<sub>2</sub> en LNG, en accu's). De meerkosten ten opzichte van (bio)diesel Stage V kunnen oplopen tot ruim 4 miljoen euro per schip. In de studie van EICB en TNO uit 2021 zijn ook de totale extra bedrijfseconomische kosten berekend voor de energietransitie voor de Nederlandse binnenvaart voor de gehele periode van 2020 tot 2050. Deze zijn becijferd op ca 3-6 miljard euro voor het conservatieve scenario (groot

deel biodiesel) tot 5-10 miljard euro voor het innovatieve scenario (groot deel accu-elektrisch varen). In de studie van DST (2020) zijn de jaarlijkse TCO kosten berekend voor vergelijkbare alternatieve aandrijvingen. Voor de periode 2035-2050 liggen de jaarlijkse meerkosten voor een groot schip (>=110m) in de range van 300 tot 600 duizend euro per jaar voor schepen met H<sub>2</sub> of methanol brandstofcelaandrijving. Voor waterstof in combinatie met een verbrandingsmotor of accu-elektrisch varen liggen de meerkosten in de range van 0 tot 350 duizend euro per jaar. Een deel van deze meerkosten wordt onder het huidige beleid deels gecompenseerd door de waarde van de hernieuwbare brandstofeenheden (HBE) onder de Renewable Energy Directive (RED). Die waarde is van een aantal factoren afhankelijk zoals van vraag en aanbod, en ook van eventuele multiplicatiefactoren. De waarde is over het algemeen zodanig, dat daarmee het prijsverschil tussen de gebruikelijk duurzame brandstoffen (biodiesel en bio-ethanol) en fossiele brandstoffen overbrugd kan worden.

**Figuur 3.2**

**Investeringskosten alternatieve aandrijflijnen voor containerschip (135 m x 11,3 m)**



Bron: EICB & TNO 2021

*Investeringskosten volgens scenario 2040-laag van EICB & TNO (2021)*

In EICB & TNO (2021) zijn schattingen gemaakt voor de investeringskosten van aandrijflijnen volgens een laag en een hoog prijsscenario voor de hardware. Bij de batterij-elektrische aandrijving is aangenomen dat het grote containerschip 10 MWh aan batterijcontainers nodig heeft. Het donkerblauwe deel voor elektrische aandrijving in figuur 3.2 betreft de investeringskosten voor de scheepseigenaar als hij van een pay-per-use contract gebruik maakt. Het lichtblauwe deel betreft de investeringskosten voor de batterijcontainers. Bij een pay-per-use contract zal een deel van deze investeringskosten (wel het batterijsysteem, maar bijvoorbeeld niet de benodigde elektromotor en aansluitingen aan boord) meegenomen worden in de kWh-kosten die een scheepseigenaar moet betalen.

### Conclusies

Uit de analyse van de kosten van de brandstoffen en aandrijflijnen kunnen we het volgende concluderen:

- De kosten voor alternatieve brandstoffen liggen over het algemeen factoren hoger dan die van de huidige dieselbrandstof. Wel zou het verschil in brandstofkosten voor een groot deel gecompenseerd kunnen worden door Europese instrumenten zoals de REDIII of een CO<sub>2</sub>-heffing op fossiele diesel.

- De onzekerheden over de toekomstige productiekosten van de verschillende typen biobrandstoffen en e-brandstoffen zijn groot, vooral omdat veel typen nog niet op wezenlijke schaal geproduceerd worden. De productiekosten voor toekomstige biobrandstoffen, die gebruik maken van de REDII Annex IX part A grondstoffen, zouden nog met ca 15% tot 20% kunnen dalen. De geprojecteerde kostprijzen voor e-diesel en e-methanol liggen een factor 2 tot 3 hoger dan die voor de biologische equivalenten. Waterstof kan in 2040 naar verwachting wel redelijk concurrerend met biobrandstoffen worden geproduceerd, maar daarmee worden nog niet de kosten van een kostbare brandstofcelaandrijving en H<sub>2</sub>-opslag aan boord gecompenseerd.
- De investeringskosten in de aandrijflijn van een schip kunnen factoren hoger zijn dan voor een standaard dieselaandrijflijn. Vooral de kosten van brandstofcelaandrijving (bij H<sub>2</sub>, methanol) of kostbare energieopslag (bij H<sub>2</sub>, LNG, accu's) kunnen oplopen tot 5 miljoen Euro per schip.
- Door de grote onzekerheden in brandstof- en aandrijflijnkosten, is er nog geen goede vergelijking van verschillende opties op basis van totale kosten (TCO) mogelijk.

### 3.4 Milieu-impact en energievraag

De hier beschouwde milieu-impacts van aandrijftechnologieën voor de binnenvaart omvatten de broeikasgasemissies van de brandstofketen voor de productie van de brandstof en de toepassing in het schip (Well-to-Wake: WtW), als ook de directe luchtverontreinigende uitstoot (NO<sub>x</sub>, fijnstof, etc.) van het vaartuig. De materials life cycle, d.w.z. de productie van de aandrijflijn van het vaartuig, wordt vooralsnog buiten beschouwing gelaten. De Europese regelgeving stelt eisen aan de maximale broeikasgasemissies van de productie van duurzame brandstoffen en ook aan de typen grondstoffen die gebruikt mogen worden. De inzet van tot voor kort dominante grondstoffen zoals Used Cooking Oil (UCO) en plantenzie olie wordt daarbij begrensd (voor Nederland op het 2020 niveau).

#### **Uitstoot van luchtverontreinigende stoffen**

De Europese regelgeving stelt via de in paragraaf 2.2 toegelichte Stage-V emissienormen (strengere) eisen aan de uitstoot van binnenvaartmotoren die nieuw in de markt komen. Hierdoor worden de verschillen in luchtverontreinigende emissies tussen de verschillende brandstofopties feitelijk grotendeels geëlimineerd: ongeacht het type brandstof dat wordt gebruikt moet de uitstoot van NO<sub>x</sub>, fijnstof (PM), koolwaterstoffen (HC), koolmonoxide en deeltjesaantallen onder de Stage-V emissielimieten blijven.<sup>33</sup>

Tabel 3.9 geeft een overzicht van de verwachte emissieniveaus van NO<sub>x</sub> en PM bij gebruik van verschillende typen brandstoffen in een Stage-V motor ten opzichte van een stage-V verbrandingsmotor op fossiele diesel. De inschattingen zijn gebaseerd op ervaring met wegvoertuigen en meetprogramma's voor motoren op methanol en waterstof. Elektrische aandrijvingen op basis van batterijen en/of brandstofcellen hebben uiteraard wel lagere emissies (tabel 3.9).

Binnenvaartmotoren maken over het algemeen gebruik van het lean-burn verbrandingsprincipe. Dat levert het hoogste rendement op en geeft vaak ook brandstofflexibiliteit bij dual-fuel motoren. Het lean-burn of arme-mengselprincipe resulteert vaak wel in onvolledige verbranding van een

---

<sup>33</sup> Overigens kan de uitstoot van NO<sub>x</sub> in de praktijk wel hoger uitvallen dan de emissienormen omdat de formele testprocedure nog veel flexibiliteit kent en niet onder alle omstandigheden lage emissieniveaus garandeert, zie ook TNO (2022).

klein deel van de brandstof. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot significante emissies van methaan, aldehyde of ammoniak bij motoren op alternatieve brandstoffen. Methaan is reeds gereguleerd onder Stage-V maar op een vrij hoog niveau. Mogelijk komen er aldehyde-emissies vrij bij motoren en brandstofcelsystemen op methanol en ammoniakemissies bij ammoniakmotoren. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken in welke mate deze emissies ontstaan en hoe ze kunnen worden gereduceerd en om deze eventueel te reguleren.

**Tabel 3.9**

Te verwachten emissies bij verschillende energiedragers ten opzichte van een stage-V verbrandingsmotor op fossiele diesel (Tank-to-Wake)

Aandrijflijn	Energiedrager	NOx	PM
<b>Verbrandingsmotor</b>	Bio- en e-diesel	Vergelijkbaar	Vergelijkbaar
	Bio-LNG	Vergelijkbaar	Vergelijkbaar
	Methanol	Vergelijkbaar	Vergelijkbaar
	Ammoniak	Vergelijkbaar	Vergelijkbaar
	Waterstof	Vergelijkbaar	Vergelijkbaar
<b>Brandstofcel</b>	Methanol	Lager	Lager
	Waterstof	Geen emissie	Geen emissie
<b>Elektrische aandrijving</b>	Batterij-elektrisch	Geen emissie	Geen emissie

### **Energievraag en ketenrendement energiedragers**

De energievrage voor aandrijving van een schip wordt vooral bepaald door de energie-efficiëntie van de energieomzetter (motor, brandstofcel en/of elektrische aandrijving) aan boord van het schip als ook van het schroefrendement<sup>34</sup>. Er zijn geen grote verschillen te verwachten in energie-efficiëntie tussen motoren en brandstofcelsystemen (Verbeek 2020b). Een waterstof-brandstofcelsysteem zal mogelijk tot circa 10% zuiniger kunnen zijn (Verbeek 2020b). In de praktijk kan het verschil anders zijn vanwege specifieke belastingspatronen van de aandrijflijn. Een batterij-elektrische aandrijving is wel veel efficiënter.

Voor bijvoorbeeld de productie van e-brandstof, moet globaal op een factor 1,5 tot 2,5 gerekend worden voor de verhouding tussen de primaire energie (biomassa of windenergie) en de energie-inhoud van de brandstof (zie ook bijlage 4). Het totale ketenrendement inclusief de energieconversie in het schip komt daarmee veel lager uit dan bij gebruik van een batterij-elektrische aandrijving. Voor de deelketen van duurzame elektriciteit tot de energie-input voor de acculader bestaat het verlies alleen uit transport- en transformatorverliezen.

### **Broeikasgasemissies in de productieketen**

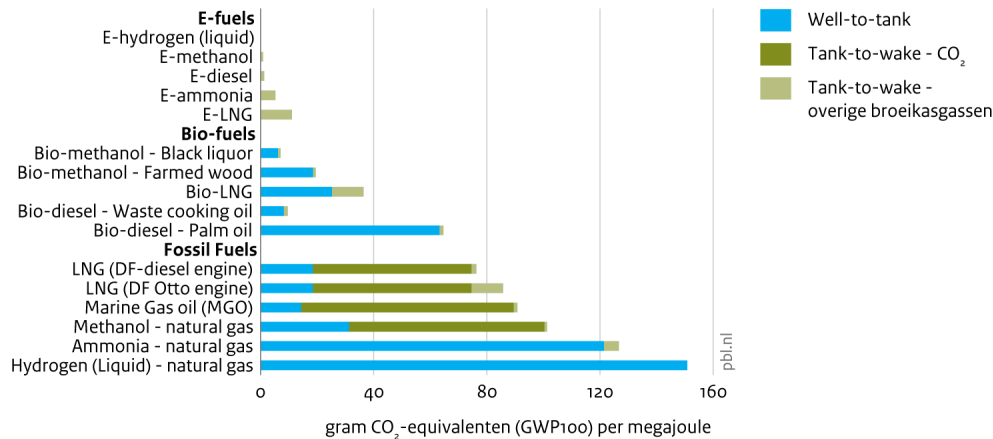
De broeikasgasemissies in de binnenvaart zijn minder afhankelijk van de keuze van de energiedrager dan van de *feedstock* waarmee de energiedrager gemaakt is. Figuur 3.3 geeft een overzicht van de broeikasgasemissies over de hele keten voor verschillende *feedstocks* en energiedragers die worden gebruikt in de zeescheepvaart als voorbeeld. Een deel hiervan is ook bruikbaar in de binnenvaart en geeft een indicatie van het belang van emissies in de keten.

<sup>34</sup> Bij binnenvaartschepen is het schroefrendement vaak rond de 40%, onafhankelijk van het type energieconvector.

Vanuit de REDIII wordt een ondergrens aangegeven voor minimale CO<sub>2</sub>-reductie waaraan een *feedstock* moet voldoen om bij te mogen dragen aan de emissiereductiedoelstellingen vanuit Europese wetgeving (zie hiervoor ook hoofdstuk 3 van het zeevaart rapport (PBL & TNO 2024b)).

**Figuur 3.3**

**Broeikasgasemissies in de energieketen van verschillende energiedragers**



Bron: Gerritse & Harmsen 2023

GWP<sub>100</sub>: Global Warming Potential van 100 jaar

**Conclusies**

Uit de analyse van de milieu-impact en energievraag van de brandstoffen en aandrijflijnen kunnen we het volgende concluderen:

- De uitstoot van luchtverontreinigende stoffen wordt vooral bepaald door de Europese regelgeving. Daardoor zal naar verwachting de NO<sub>x</sub>- en fijnstofuitstoot van verbrandingsmotoren op methanol of waterstof niet significant verschillen van die van de dieselmotor (referentie Stage V). Natuurlijk zijn de echte zero-emissie oplossingen (zonder uitlaatpijp) wel schoner dan de opties met uitlaat (Tank-to-Wake).
- Batterij-elektrisch varen heeft een voordeel voor wat betreft primaire (duurzame) energievraag vanwege het zeer hoge ketenrendement van bron tot mechanische arbeid in het schip. Voor vrijwel alle andere opties (geavanceerde biobrandstoffen, e-brandstoffen, waterstof) ligt het ketenrendement veel lager.

### 3.5 Toepasbaarheid

In het criterium toepasbaarheid komen veel van de hierboven omschreven aspecten terug. De praktische toepasbaarheid van nieuwe brandstoffen in de binnen- en zeescheepvaart wordt vooral bepaald door de volgende aspecten:

- De TRL- en CRL-niveaus van de motoren en energiedistributie infrastructuur en de onzekerheid in deze ontwikkeling;
- De energiedichtheid van de brandstof: kun je voldoende energie meenemen om de normale vaarten uit te voeren?
- Het juridisch kader voor de energieconvertor, inbouw in het schip en het bunkeringproces (inclusief veiligheidsaspecten);
- De benodigde scheepsaanpassingen voor brandstofopslag en veiligheid;

- De mogelijkheid van ombouw van bestaande schepen.

De TRL/CRL-niveaus zijn reeds toegelicht in paragraaf 3.2. In deze paragraaf komen de overige aspecten aan bod.

### **Energiedichtheid en inbouw in het schip**

De energiedichtheid op basis van massa en volume verschilt sterk tussen de verschillende brandstoffen en energiedragers, niet alleen vanwege de fysische eigenschappen van de energiedragers maar ook omdat hierin het tankgewicht en de vorm van de tank moeten worden meegenomen. Methanol en LNG nemen al snel een factor 2 tot 3 keer meer volume in beslag dan standaard dieselbrandstof (zie ook bijlage 3). Bij ammoniak en waterstof kan dat oplopen tot een factor 6 tot 18, terwijl voor batterij-elektrisch varen dit richting een factor 100<sup>35</sup> gaat. Dit zal vaak leiden tot verlies aan ladingruimte. Beoordeeld aan de hand van eerdere analyses en demonstratieschepen ligt dat meestal in een range van 2-4% verlies. Voor waterstof- en batterij-elektrische aandrijving moet worden geaccepteerd dat de autonomie of vaarafstand sterk ingekort wordt. Voor dieselbrandstof is een autonomie van 1 tot 2 weken gebruikelijk, terwijl dat voor batterij-elektrisch en waterstof ingekort wordt tot één of enkele dagen. Die opties vereisen dus een zeer fijnmazige energie-infrastructuur.

### **Veiligheid**

Bij alternatieve brandstoffen wordt voor pilotschepen altijd een assessment gedaan of ze voldoen aan de geldende veiligheidsnormen, voorschriften en procedures. Dit proces wordt gedaan door de Rijnvaartcommissie (CCNR). Uitgangspunt hierbij is een equivalent veiligheidsniveau te creëren ten opzichte van de bestaande aandrijflijnen. De verschillende brandstoffen hebben verschillende aandachtspunten.

Methanol heeft een lager vlampunt (temperatuur waarbij het kan ontbranden) en er kunnen bij deze brandstof toxische of ontvlambare dampen aan boord vrijkomen tijdens de operatie of tijdens het bunkeren. Ook bij ammoniak is met name de toxiciteit een uitdaging. In het geval van waterstof en LNG zijn er risico's rondom cryogene opslag en ontvlam- en explosiegevaar. Deze additionele risico's moeten gecompenseerd worden met extra veiligheidsmaatregelen. Dit gaat bijvoorbeeld om toepassing van dubbele leidingen, naar de buitenlucht geventileerde ruimten om de bunker-tanks heen (kofferdammen) en sensoren die eventuele lekkages detecteren, en opleiding/kwalificatie van de bemanning. Deze additionele eisen worden vastgelegd in voorschriften waaraan voldaan moet worden om een schip in gebruik te mogen nemen (zie ook de paragraaf over het juridische kader hieronder).

Aviv (2021) heeft de veiligheidsaspecten van de meeste genoemde alternatieve brandstoffen voor de binnenvaart onderzocht met name op het gebied van de effectafstanden rondom de bunkerlocaties<sup>36</sup>. Hieruit blijkt dat de effectafstand voor ammoniak het grootst is, met name vanwege de potentiële gifwolk bij ammoniaklekkage. Effectafstanden van andere brandstoffen zijn kleiner dan

---

<sup>35</sup> De factor 100 zou op termijn van 10 jaar kunnen halveren, vanwege een toename in energiedichtheid van de accu, volgens contacten bij leveranciers.

<sup>36</sup> Het varen op deze brandstoffen levert volgens Aviv geen additionele veiligheidsrisico's ten opzichte van het vervoeren van deze stoffen als lading op.

voor ammoniak en gebaseerd op explosiegevaar. Voor explosiegevaar is de volgorde in afnemende effectafstand: LNG, methanol/waterstof en diesel.

Hoewel veiligheidsonderzoek nog gaande is, lijken er, afgezien van ammoniak, geen onoverkoombare veiligheidsrisico's te zijn wanneer de juiste technische en operationele maatregelen worden getroffen. De veiligheid voor ammoniak blijft een uitdaging. Hier wordt nog veel ontwikkelwerk in gedaan.

Alternatieve brandstoffen zullen tevens effect hebben op de ruimtelijke inrichting bij de bunkerpunten. De veiligheidsvoorzieningen aan boord van het schip leiden samen met andere factoren tot aanzienlijk hogere investeringskosten dan voor een schip dat vaart op dieselbrandstof. Huidig veiligheidsonderzoek richt zich op manieren om de kosten van additionele maatregelen te vermindere-

### ***Juridisch kader voor nieuwe brandstoffen***

Voor elke nieuwe brandstof moet een juridisch kader ontwikkeld worden zodat deze brandstof veilig en voldoende milieuvriendelijk toegepast kan worden in een schip. De motoren en de bijbehorende installaties in het schip moeten voldoen aan Europese regelgeving, met name aan EU 2016/1628 (luchtverontreinigende uitstoot) en EU 2016/1629 (technische eisen aan het schip). EU 2016/1629 wordt door de technische commissie (CESNI) van de Centrale Commissie voor de Rijvaart (CCR) vertaald in technische voorschriften (ES-TRIN), waaraan bestaande en nieuwe aandrijfsystemen moeten voldoen om te mogen worden toegepast in binnenvaartschepen. Er zijn nu verschillende werkgroepen actief om de technische eisen voor brandstoffen als methanol en waterstof en aandrijflijnsystemen als brandstofcellen en batterij-elektrische aandrijving te ontwikkelen en vast te leggen in voorschriften. Dat wordt dan geïmplementeerd in hoofdstuk 30 van ES-TRIN en vastgelegd in ES-TRIN 2025. In de toekomst zal waarschijnlijk ook gekeken worden naar de technische eisen voor ammoniak en alternatieve waterstofdragers (waarschijnlijk na 2025).

### ***Ombouw van bestaande schepen***

Binnenvaartschepen hebben vaak een lange levensduur (zie ook paragraaf 3.6). Schepen (rompen) van meer dan 50 jaar oud zijn geen uitzondering. De motoren kunnen in die tijd wel één of meerdere malen gereviseerd (opgeknapt) of vervangen zijn, hetgeen goede momenten zijn om een uitlaatgasnabehandelingssysteem of systemen voor een ander type brandstof en/of aandrijflijn (bijv. hybride) te installeren. De levensduur van schepen en de vervangingssnelheid van motoren verschillen wel tussen deelmarkten, afhankelijk van het operationeel profiel van de schepen. Bij grote schepen die veelal volcontinu worden ingezet is de snelheid waarmee motoren worden vervangen gemiddeld veel groter dan bij kleinere schepen die op jaarbasis minder worden ingezet.

Bij het ombouwen van bestaande schepen kunnen tanks voor alternatieve brandstoffen of batterijcontainers eventueel in het laadruim of op het dek geplaatst worden. Hiervan is een beperkt aantal voorbeelden bekend. Het helpt wanneer bij de bouw van het schip al rekening gehouden was met de inbouw van nabehandelingssystemen of ombouw naar een nieuwe brandstof. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een dieselektrisch schip dat relatief gemakkelijker is om te bouwen naar volledig elektrisch. Voor conventionele schepen is ombouw naar een alternatieve aandrijflijn in principe ook mogelijk. De impact van het ombouwen van een bestaand schip naar een nieuwe brandstof of energiedrager kan echter groot zijn. Naast de motor(en), moeten ook brandstoftanks vervangen of (in geval van dual-fuel) toegevoegd worden. Daarvoor zijn altijd meer ruimte en extra veiligheidsvoorzieningen nodig. Het lijkt logisch om vooral schepen naar een nieuwe brandstof om te



bouwen, die op jaarbasis veel brandstof gebruiken en/of die langdurig op eenzelfde logistieke toepassing worden ingezet.

### **Impact van verschillende deelmarkten op de toepasbaarheid van oplossingen**

De binnenvaart bestaat uit verschillende vervoerssegmenten (bijvoorbeeld containervaart, vervoer van natte bulk, vervoer van bouwmaterialen) die veelal gescheiden markten zijn met verschillende karakteristieken (zie Marin, TNO en Deltares 2022 en Panteia 2020). Zo worden kleine en middelgrote schepen in de droge vaart bijvoorbeeld voornamelijk ingezet in het vervoer van bouwmaterialen en van landbouwproducten en voedingsmiddelen (beide met name veevoer). Deze markten worden vaak gekarakteriseerd door relatief lage marges en kortlopende contracten (vaak actief op de spotmarkt). Dit zou resulteren in minder financiële armslag voor de inzet van innovaties (wat mogelijk ook heeft geleid tot de relatief hoge leeftijd van motoren bij kleinere schepen, zie volgende paragraaf). Bovendien leiden de kortlopende contracten tot een divers geografisch inzetgebied van de schepen wat een geografisch brede uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen noodzakelijk maakt.

Grotere schepen (>105 meter) worden ook ingezet voor bouw materiaal, maar ook meer voor het vervoer van containers. Volgens Panteia (2020) geldt hierbij ook dat grotere schepen binnen deze klasse (Mg en groter) vrijwel uitsluitend voor containers worden ingezet. Containervaart wordt vaak gedaan op basis van langer lopende contracten (contractvaart), waarbij de schepen op een vaste route worden ingezet. Langere contracten leveren (mogelijk) meer financiële armslag voor investeringen. Vervoer op vaste routes maakt het daarnaast gemakkelijker om infrastructuur voor alternatieve brandstoffen te realiseren.

### **Conclusies**

In de binnenvaartsector wordt gewerkt aan een aantal alternatieve aandrijvingen en energiedragers zoals batterij-elektrisch varen, waterstof, methanol en ook (bio-)LNG.

De binnenvaart is echter een kleine markt, waardoor het zeer onzeker is of er voor al deze opties kwalitatief voldoende goede producten geleverd kunnen worden. Daarom wordt aanbevolen om het aantal opties sterk te beperken en daar regie op te houden. Bijvoorbeeld door te monitoren welke producten zoals brandstofcellen en methanolmotoren voor andere sectoren ontwikkeld worden, waardoor er voldoende schaalgrootte ontstaat. Voor batterij-elektrische aandrijvingen gelden deze beperkingen niet omdat daar al voldoende schaalgrootte aanwezig is in andere sectoren. Hierbij zal wel de ontwikkeling van de relatief fijnmazige energie-infrastructuur een uitdaging zijn. De ontwikkeling van het juridisch kader voor toepassingen van alternatieve brandstoffen in de binnenvaart lijkt op dit moment voldoende. Gedetailleerde technische voorschriften zorgen er voor dat een nieuwe brandstof of energiedrager veilig kan worden toegepast. Deze voorschriften zijn nu nog in ontwikkeling, maar dat staat toepassing op kleine schaal niet in de weg.

## **3.6 Verwachte vervangingsnelheid van de vloot**

Er is momenteel geen eenduidige bron beschikbaar die inzicht geeft in de leeftijden van de motoren die worden ingezet in de binnenvaartvloot. Uit verschillende bronnen komt echter naar voren dat de levensduur van motoren lang is. Uit een recente studie (TNO, 2021) blijkt dat de mediane leeftijd waarop een motor wordt vervangen 13 tot 15 jaar is. Onderzoek van STC-Nestra, EICB & Rebel Group (2015) laat zien dat een complete motorrevisie op een schip gemiddeld na 20 jaar plaats vindt. Bovendien is uit consultatie van een groot aantal leveranciers vanuit het EICB Innovation Lab gebleken dat motoren na een volledige revisie doorgaans nogmaals eenzelfde aantal jaren

meegaan. In beide onderzoeken wordt aangegeven dat de spreiding rondom de genoemde gemiddelde leeftijden groot is. Hierbij zijn er grote verschillen tussen scheepstypen en schepen van verschillende grootteklassen.

Tabel 3.10 laat zien dat motoren van motorschepen veel langer meegaan dan die van koppelverbanden en duwboten. Hierbij is er ook een relatie met het motorvermogen en het toerental.

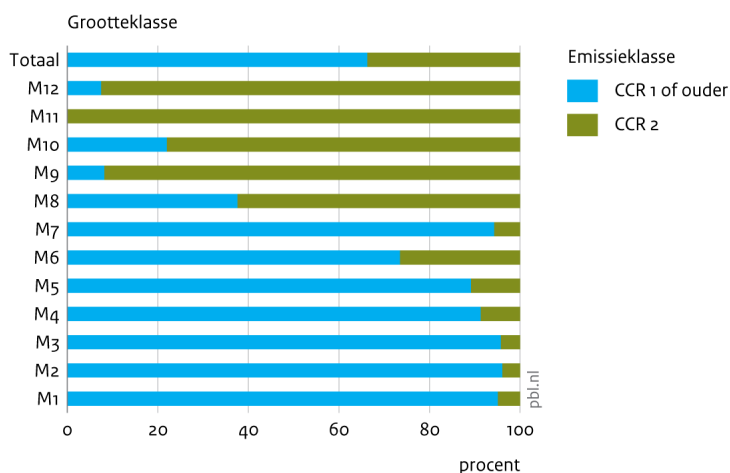
**Tabel 3.10**  
Levensduur binnenvaartmotoren tot complete revisie

	Levensduur tot revisie (jaren)	Motorvermogen
<b>Motorvrachtschepen vanaf 85 meter</b>	18-29	
<b>Koppelverbanden</b>	20	
<b>Duwboten</b>	19	500-999 kW
<b>Duwboten</b>	9	1000-1999 kW
<b>Duwboten</b>	7-9	≥ 2000 kW

Bron: STC-Nestra, EICB & RebelGroup (2015)

Er is een groot verschil tussen de gemiddelde leeftijden van motoren voor schepen van verschillende grootteklassen (figuur 3.4). Middelgrote tot grote schepen (M8 of groter) hadden in 2018 voor het merendeel motoren die maximaal 10 jaar oud waren (CCRII is ingegaan in 2008). Bij kleinere schepen ligt het aandeel CCRII-motoren veel lager wat er op duidt dat de gemiddelde motorleeftijd van deze schepen veel hoger is.

**Figuur 3.4**  
Verdeling emissieclassen binnenvaartschepen West-Europa, 2018



Bron: CCR 2021b

Gegeven de lange levensduur van motoren in binnenvaartschepen is het niet mogelijk om de doelstelling van nul CO<sub>2</sub>-emissie in 2050 te halen met alleen autonome vlootvervanging, waarbij alle nieuwe schepen zijn uitgerust met alternatieve aandrijflijnen dan wel geschikt zijn voor toepassing van alternatieve brandstoffen. Om in 2050 de hele vloot op nul CO<sub>2</sub>-emissie te krijgen zal het ook nodig zijn om bestaande schepen aan te passen of te laten varen op een drop-in duurzame brandstof (bio- of e-diesel). Om inzicht te krijgen in de mate waarin bestaande schepen moeten worden aangepast, is het van belang om een beeld te hebben van de levensduur van motoren. Consultatie van een aantal leveranciers laat zien dat een belangrijk jijkpunt voor een scheepvaartonderneming

het moment is dat een schip in revisie gaat. De eigenaar kan op dat moment ook kiezen voor een complete motorvervanging, waarbij ook gekozen kan worden voor een alternatieve brandstof en een ander type aandrijflijn (elektrisch of brandstofcelaandrijving).

Na een volledige motorrevisie kan een schip vaak weer lang doorvaren (10 tot 20 jaar). Voor een scenario met een groot aandeel alternatieve aandrijflijnen zou het moment waarop een volledige motorrevisie nodig is in toenemende mate gebruikt moeten worden om een alternatieve aandrijflijn in te bouwen.

## 4 Beelden voor klimaatneutrale binnenvaart in 2050

In dit hoofdstuk schetsen we twee beelden voor de energievraag van een zero-emissie binnenvaart in 2050 en gestileerde paden ernaartoe. Het startpunt hiervoor is het energiegebruik in 2019 zoals beschreven in paragraaf 2.1. Om tot een raming van het energiegebruik in 2030, 2040 en 2050 te komen ramen we eerst de verwachte ontwikkeling van de energie-efficiëntie (paragraaf 4.1) en de verwachte groei van de vervoersvolumes (paragraaf 4.2). Vervolgens schetsen we twee uitwerkingen voor de invulling van deze energievraag met de verschillende energiedragers die in hoofdstuk 3 zijn verkend: een conservatieve variant met een grote rol voor bestaande motortechnologie en een innovatieve variant waarin nieuwe aandrijflijnen in grote aantallen in de vloot komen (paragraaf 4.3). Uit hoofdstuk 3 blijkt dat we nog geen duidelijk beeld van de toekomstige typen en aandelen van duurzame brandstoffen en aandrijflijnen voor de transitiepaden kunnen geven. De invulling is namelijk sterk afhankelijk van onder meer technische ontwikkelingen die tot 2030 en daarna moeten worden uitgetest met demonstratieschepen en van de kosten en het aanbod van duurzame brandstoffen. Hierbij komt dat de binnenvaart een kleine markt is waardoor ze afhankelijk is van spin-offs van ontwikkelingen bij andere vervoersmodaliteiten en sectoren van de economie. Voor beide scenario's wachten grote uitdagingen op het gebied van betaalbaarheid (hogere kosten technologie en brandstoffen).

### 4.1 Efficiëntieverbetering

In paragraaf 3.4 werd ingegaan op de efficiëntie van de aandrijflijn gegeven de inzet van nieuwe brandstoftypen inclusief batterij-elektrisch.

Hieruit werd geconcludeerd dat:

- 1) Nieuwe brandstoffen in verbrandingsmotoren niet leiden tot een hogere efficiëntie;
- 2) De brandstofcelaandrijving indicatief ca. 10% efficiënter zou kunnen zijn (praktijkervaring is nog niet beschikbaar);
- 3) Batterij-elektrische aandrijving veel energie-efficiënter is dan aandrijflijnen van andere energiedragers (TtW).

In deze paragraaf wordt ingegaan op maatregelen die de energie-efficiëntie in de binnenvaart kunnen verhogen door a) optimale configuratie van de aandrijflijn, b) hydrodynamische maatregelen en c) efficiënt varen. Ten slotte wordt stilgestaan bij de mogelijke verbeteringen van de logistieke efficiëntie.

#### *Optimale configuratie van de aandrijflijn*

Een binnenvaartschip heeft vaak een aantal motoren aan boord, namelijk voor de hoofdaandrijving, voor het boord-elektriciteitsverbruik en voor de boegschroeven. Afhankelijk van de situatie zullen één of meerdere motoren draaien. Historisch zijn motoren, vooral de hoofdmotor(en), vaak overgedimensioneerd. Daarmee is een schip flexibeler inzetbaar en kan een schip bijvoorbeeld ook een ander schip op sleeptouw nemen. Een mogelijke verdere oplossing is *down-sizing* of *right-sizing*. Daarbij worden kleinere motoren toegepast, zodat de belasting in de praktijk gunstiger is en brandstof bespaard wordt. Deze *down-sizing* of *right-sizing* kan ook bereikt worden met een

dieselelektrische aandrijving of via mechanische koppelingen (meerdere kleine motoren op één tandwielkast). Daarnaast is de bediening door de schipper van belang. Door motoren uit te schakelen, die op dat moment niet nodig zijn, kan brandstof bespaard worden. Het kiezen van de juiste motor of aandrijflijn is vooral belangrijk voor nieuwe schepen, maar ook bij hermotorisering van bestaande schepen is het een goede optie. Over het algemeen worden motoren na 10 jaar (duwbotten met vermogen vanaf 1.000 kW) tot 20 jaar (grote motorvrachtschepen, koppilverbanden en duwbotten met vermogen onder 1.000 kW) gereviseerd of vervangen (zie ook paragraaf 3.6). Dat is een goed moment om nieuwe, zuiniger motoren te installeren en *right-sizing* toe te passen, al dan niet in combinatie met een elektrische aandrijflijn. Dit kan overigens niet altijd, aangezien schepen niet alleen voor hun huidige operationele profiel worden ontworpen, maar breed inzetbaar moeten zijn (in geval van eventuele verkoop van het schip of het faciliteren van andere klanten).

Bij dieselmotoren was er sprake van een zogenaamde NO<sub>x</sub>-brandstofverbruik trade-off. Dat betekent dat als de NO<sub>x</sub>-uitstoot omlaag moet (vanwege regelgeving), het brandstofverbruik omhoog gaat (en omgekeerd). Gelukkig wordt die trend doorbroken met uitlaatgasbehandeling zoals nu gebruikt wordt op Stage V motoren. Die motoren hebben zowel een lage NO<sub>x</sub>-uitstoot als een laag brandstofverbruik, waarschijnlijk ca. 5%-10% lager dan de eerdere generatie CCRII-motoren (PROMINENT D2.8/D2.9 2018; TNO 2020). Bij de combinatie van *right-sizing* en zuiniger motoren kan in totaal naar verwachting ca 10% tot 20% brandstof bespaard worden.

#### *Hydrodynamische maatregelen*

Volgens DST (2021) kunnen schepen, gebouwd in de jaren 80, nog ca. 10% efficiënter worden door hydrodynamische verbeteringen aan te brengen aan het bestaande schip. Zo kan bijvoorbeeld het schroef/roersysteem worden aangepast of kan zelfs het complete achterschip worden vervangen. Hierbij is met name kiezen voor twee schroeven in plaats van één schroef enorm bevorderlijk voor het rendement en dus het brandstofverbruik.

Daarnaast kunnen door vervanging van oude schepen door nieuwe schepen grote voordelen worden behaald. Schepen uit de jaren 60 en 70 hebben volgens deze bron een 20-25% hogere vermogensbehoefte dan nieuwe schepen<sup>37</sup>.

Het vervangen van de vloot door nieuwe schepen, of het verbeteren van bestaande schepen kan dus energiebesparing opleveren. Het verbeteringspotentieel door hydrodynamische verbeteringen is mogelijk 10%. Om meer zekerheid te krijgen is een analyse per scheepstype nodig en een projectie van die resultaten op vlootniveau.

#### *Energie-efficiënt varen*

Er kan relatief veel brandstof bespaard worden door langzamer te varen vanwege de kwadratisch met de snelheid toenemende vaarweerstand. Een snelheidsreductie van 10% zou theoretisch circa 20% verbruiksreductie opleveren.

Een meer geavanceerde methode is het optimaliseren van de vaarsnelheid gedurende de totale trip, rekening houdend met lokale vaarwegcondities zoals stroming en diepgang. Bij een dergelijke optimalisatie, zou zelfs een verbruiksreductie van 30% bereikt kunnen worden bij een gemiddelde snelheidsreductie van 10% (PROMINENT D6.4 2018). Verder is ook nog het optimaliseren (dempen)

---

<sup>37</sup> Volgens DST (2021). Lagere inschatting van andere specialist.

van roerbewegingen en ook een optimale bediening van de motoren van belang. Het potentieel voor optimaliseren van de snelheid hangt sterk samen met logistieke efficiëntie (hieronder beschreven). De snelheid wordt met name bepaald door afspraken die zijn gemaakt met ketenpartners en de wijze waarop afrekening tussen partijen plaatsvindt. Naast technische oplossingen moet daarom ook worden ingezet op logistieke samenwerking om deze potentiële besparing te kunnen realiseren.

Energie-efficiënt varen wordt mogelijk gemaakt door inzet van digitale tools (in de sector aangeduid als smart shipping). Dit betreft bijvoorbeeld advies over het varen op het juiste toerental of het al dan niet bijschakelen van motoren (in combinatie met het hiervoor genoemde right-sizing concept). Hiervoor wordt informatie van het schip gecombineerd met informatie over de actuele omstandigheden op de vaarweg.

### *Logistieke efficiëntie*

Logistieke efficiëntie is al vele jaren een thema, met name voor de containerbinnenvaart. Daarbij moet gedacht worden aan verbetering van de beladingsgraad (wat leidt tot minder vaartuigkilometers per ladingkilometer), vermindering van wachttijden en/of snellere afhandeling bij terminals en verbeteringen van de informatiestromen (wat het mogelijk maakt om just-in-time met lagere snelheden te varen).

Voor het verbeteren van de logistieke efficiëntie zijn er verschillende pilots en concepten in ontwikkeling rondom de bundeling van (met name) containerstromen. Dit betreft bijvoorbeeld ontwikkeling van een concept waarin containers op de Maasvlakte worden gebundeld of een concept waarin een hub in het achterland wordt gebruikt om stromen van en naar de Rotterdamse haven te bundelen. Hierdoor hoeven schepen minder stops te maken in de Rotterdamse haven (bijvoorbeeld 3 in plaats van 9) waardoor ze minder tijd in de haven doorbrengen en daar minder kilometers maken.

Verbeteren van de logistieke efficiëntie in de binnenvaart wordt bemoeilijkt door de effecten van klimaatverandering op de vaarwegcondities (Marin, TNO en Deltares 2022). De belangrijkste knelpunten zijn een gewijzigd afvoerregime van rivieren door klimaatverandering en een verlaging van de rivierbodembodem ten gevolge van bodemerrosie. Beide aspecten beïnvloeden de waterstanden en vaardiepten in de vrij-afstromende rivieren Waal en IJssel en daarmee ook de bevaarbare breedte.

Concreet kan dit leiden tot de volgende knelpunten:

- Schepen kunnen minder vracht meenemen en moeten dus meer (om)varen om dezelfde hoeveelheid vracht te transporteren;
- Zeehavens en binnenhavens aan de rivier zullen hinder, vertraging of zelfs congestie ervaren, bijvoorbeeld door de grotere hoogte tot de kade of beperkingen in kadelengte;
- Bij laagwater is de rivier smaller, en vaart een groter aantal schepen in een smallere strook, wat tot nautisch onveilige situaties en vertragingen kan leiden;
- Er kunnen wachttijden ontstaan ten gevolge van een toename van het aantal schepen bij gelijkblijvende ladingstroom of ten gevolge van een watertekort voor het schutten van sluizen in droogteperiodes.

### **Conclusies**

Geconcludeerd kan worden dat er weinig of geen harde getallen beschikbaar zijn over maatregelen voor efficiëntieverbetering. De aanbeveling is dan ook om een beter beeld op te bouwen van de huidige energie-efficiëntie en van het effect van maatregelen die de efficiëntie verbeteren.

Op drie typen maatregelen is efficiëntieverbetering mogelijk:

- 1) Motorefficiëntie en *right-sizing*
- 2) Hydrodynamische maatregelen
- 3) Energie-efficiënt varen in combinatie met logistieke efficiëntie

Voor alle drie geldt voor een groot deel van de vloot waarschijnlijk indicatief een potentiële verbeteringsruimte van ca 10-15%. Wel moet voorzichtig omgesprongen worden met het optellen van deze verbeteringen. Bij een meer geoptimaliseerde en goed gedimensioneerde aandrijflijn zal de besparing door efficiënt varen lager uitvallen. Desalniettemin kan geconcludeerd worden dat in het ideale geval een totale verbetering en dus brandstofverbruiksreductie gerealiseerd zou kunnen worden van ca. 30-35%, uitgaande van een aandrijflijn met verbrandingsmotoren. Hierin is geen efficiëntieverbetering door (de autonome ontwikkeling naar) grotere schepen meegenomen. In de raming van het volume is een geringe schaalvergroting meegenomen. Er wordt in de scenario's niet verondersteld dat deze schaalvergroting verder zal toenemen. Er moet echter van uit worden gegaan dat lang niet alle eigenaren bereid zullen zijn om hun schepen of hun vaargedrag aan te passen. Dit komt mede omdat de brandstofrekening apart bij de verlader wordt ingediend (geen onderdeel van het dag- of kilometertarief). Daarom wordt er in dit rapport van uit gegaan dat tot 2050 ongeveer de helft van dit potentieel benut zal worden, dus ca. 15% tot 20%. De 15% tot 20% efficiëntieverbetering correspondeert met een jaarlijkse gemiddelde efficiëntieverbetering van 0,5% tot 0,75%, hetgeen de basis is voor de scenario's in paragraaf 4.3. Met gericht beleid is waarschijnlijk een hogere efficiëntieverbetering mogelijk. Dan moet gedacht worden aan maatregelen die ook voor zeevaart zijn of worden ingevoerd, zoals verplichte rapportage van CO<sub>2</sub>-uitstoot en energiegebruik (wat wordt opgepakt in het emissie prestatielabel), deelname in het ETS-systeem, belasting op brandstoffen, etc..

## 4.2 Volumeontwikkeling

De toekomstige energievraag door de binnenvaart is niet alleen afhankelijk van de energie-efficiëntie van het vervoer maar ook van de ontwikkeling van de vervoersvolumes. De ontwikkeling van de vervoersvolumes is onzeker, mede omdat de binnenvaart relatief veel fossiele energie(producten) vervoert en die stromen als gevolg van de energietransitie grotendeels kunnen wegvallen (zie ook paragraaf 2.1). Gezien het doel van deze studie, waarin de paden naar klimaatneutrale binnenvaart worden verkend maar niet integraal worden doorgerekend, volstaan we met een bandbreedte voor de groei van de binnenvaart die we ontleen aan eerder onderzoek.

### **Scenario studies en verkenningen naar groei binnenvaart in Nederland**

Zoals in paragraaf 2.1 is beschreven wordt in de KEV2022 uitgegaan van een jaarlijkse groei van het vervoerde tonnage in de binnenvaart met 0,9% in de periode 2019-2040. De KEV2022 rekent met het vastgestelde en voorgenomen beleid van 1 mei 2022 en zit daarmee nog niet op een pad richting klimaatneutraal in 2050. Ook de Nederlandse klimaatdoelen voor 2030 zijn nog niet binnen bereik in de KEV2022.

De WLO-scenario's uit 2015 geven een bandbreedte voor de groei van het goederenvervoer in Nederland, waaronder in de binnenvaart (Romijn et al. 2016). Deze studie is echter nog van voor het klimaatakkoord van Parijs en gaat uit van (veel) minder stringente klimaatdoelen dan in Parijs zijn afgesproken. Om de invloed van ambitieuzere klimaatdoelen op de WLO-scenario's te verkennen heeft het CPB in 2019 een studie gedaan naar de invloed van de energietransitie op het

goederenvervoer (CPB 2019). In het onderzoek constateert het CPB dat de implicaties van een grote reductiedoelstelling zoals 80% minder broeikasgassen in 2050 voor de energievoorziening van de Nederlandse economie als geheel groot zijn. Modelberekeningen van PBL en CPB laten zien dat er tal van opties zijn om de toekomstige energievraag in te vullen. De modeluitkomsten zijn gevoelig voor onderliggende aannames en voor de modelkeuze. Zo beïnvloeden verschillende aannames over kostenontwikkeling en beschikbaarheid van technologieën, beleidsdoelen en maatschappelijk draagvlak de totale energievraag en de verdeling daarvan over energiebronnen. Dit levert een waaier van mogelijke verdelingen over energiebronnen als hernieuwbare energie (wind, zon, aardwarmte), biomassa en fossiele brandstoffen in 2050 op. Om te onderzoeken tot welke bandbreedten van transportvolumes dit kan leiden zijn in het genoemde onderzoek 3 scenario's ontworpen die passen bij de uitgangspunten van het hoge WLO-scenario en 3 scenario's die passen bij het lage WLO-scenario. De scenario's binnen elk drietal verschillen in de samenstelling van de energiedragers. Voor deze energiedragersscenario's zijn de transportvolumes per modaliteit geraamd met het Basgoed-model. Dit is het strategische goederenvervoermodel van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat dat ook ingezet wordt bij berekeningen voor de KEV. Zo is aansluiting met het bereik van voorliggend rapport —energiegebruik door de binnenvaart gerelateerd aan Nederland— geborgd.

De ramingen leiden tot een bandbreedte van de gemiddelde jaarlijkse groei van de vervoerde tonnen door de binnenvaart over de periode 2014-2050 met 0,5% tot 1,0% voor de energiedragersscenario's passend bij WLO-hoog en een bandbreedte van 0,5% tot 0,6% voor de energiedrager-scenario's passend bij WLO-laag. In WLO-hoog valt de binnenvaart onder een CO<sub>2</sub>-heffing met een ETS-prijs die oploopt van €40 per ton in 2030 naar €160 per ton in 2050. De kosten per km van de binnenvaart verdubbelen tussen 2011 en 2050 terwijl de kosten per km voor de weg met 5% afnemen en die voor de trein gelijk blijven. In WLO-laag is geen klimaatakkoord en geen CO<sub>2</sub>-heffing voor de binnenvaart verondersteld. Gezien het klimaatbeleid in WLO-hoog (al zijn de reductiedoelen minder streng dan in ons rapport) met specifiek een kostenverhogende CO<sub>2</sub>-heffing voor de binnenvaart nemen we de geraamde bandbreedte van de jaarlijkse volumegroei van 0,5% tot 1,0% als indicatieve schatting over in dit rapport.

### ***Samenstelling ladingstromen gaat veranderen***

Hoewel de jaarlijkse groei van de binnenvaart beperkt is (0,5% en 1% per jaar) zal de onderliggende samenstelling van het vervoer wel sterk veranderen. Voor de binnenvaart wordt verwacht dat het transport van kolen (als gevolg van de energietransitie) en ertsen (als gevolg van een afname van de staalproductie in Europa) daalt, terwijl het vervoer van natte bulk (biobrandstoffen en chemie) en het vervoer van containers sterk zal toenemen (zie Dat.mobility & Districon (2021)). Ook het gebruik van olieproducten is lager dan in de oorspronkelijke WLO-scenario's, terwijl het vervoer van biomassa juist toeneemt. Deze aannames zijn gebaseerd op de KEV 2019 voor scenario Laag en de doorrekening van het Klimaatakkoord voor scenario Hoog (IenW 2020). De modelresultaten geven tussen 2014 en 2040 een groei van de binnenvaart van 0,6% tot 1,1% per jaar. Dit ligt goed in lijn met de CPB-studie.

### ***Groei van ladingstromen is niet zeker***

Opgemerkt moet worden dat er ook studies zijn waarin niet of nauwelijks groei van de vervoersvolumes in de binnenvaart wordt verwacht. Zo concluderen Vermij & de Vries (2019) op basis van gesprekken met grootverladers over de toekomst van de binnenvaart dat op middellange en lange termijn een krimp wordt verwacht van de binnenvaartmarkt. De geïnterviewden signaleren dat de energietransitie grote gevolgen zal hebben voor de goederenstromen in de binnenvaart.



Belangrijke goederenstromen zullen op lange termijn in omvang afnemen. Dit gaat onder andere om het vervoer van fossiele brandstoffen, maar de geïnterviewden verwachten op termijn ook een drastische inkrimping van de Nederlandse veestapel en daarmee een sterke terugloop van het vervoer van granen en veevoeders. Als laagwaterstanden door droogte frequenter en langer optreden is het mogelijk dat op lange termijn goederenstromen worden verplaatst naar andere modaliteiten. Het beeld van grote verschillen in deelmarkten, zoals dat ook uit de IMA komt, wordt in de studie van Vermij & de Vries (2019) bevestigd. Hoe dit onder de streep uitvalt voor het totale vervoersvolume is onzeker.

Het is dus ook denkbaar dat er niet of nauwelijks sprake zal zijn van groeiende volumes. Een dergelijk scenario zou de vraag naar (schaarse) hernieuwbare energie in de binnenvaart weliswaar iets terugdringen maar dat kan (grotendeels) weer worden gecompenseerd door extra energievraag in bijvoorbeeld het wegvervoer. Ook kan mogelijk de investeringsbereidheid in de binnenvaartsector lager uitvallen in een krimpmarkt (zie bijvoorbeeld Van de Lande et al. (2018) en Otten et al. (2020)). Een krimp van de vervoersstromen hoeft overigens niet per definitie tot een krimp van het verdienvermogen te leiden. Dat hangt mede samen met het type goederen dat wordt vervoerd.

### **Het potentieel van modal shift**

De hoge energie-efficiëntie van de binnenvaart en de capaciteit die ons waternetwerk nog heeft bieden een kans voor de energietransitie. Door goederenstromen van de weg naar het water te verplaatsen is potentieel minder (hernieuwbare) energie nodig.<sup>38</sup> Het effect op broeikasgassen hangt echter ook samen met de energiedragers die worden ingezet. Als het vrachtverkeer over de weg snel elektrificeert en de binnenvaart langzaam met de energietransitie meebeweegt dan kan modal shift juist tot meer emissies van broeikasgassen leiden. Voor de emissies van luchtverontreinigende stoffen kan modal shift van weg naar water nadelig uitpakken.

Waar het wegverkeer al grote stappen heeft gezet in het terugdringen van de uitstoot van fijnstof<sup>39</sup> en stikstofoxiden en momenteel ook eerste stappen richting elektrificatie zet, is in de binnenvaart nog veel minder voortgang geboekt op deze terreinen. Uit een vergelijking voor containertransport op verschillende corridors komt naar voren dat op dit moment een modal shift van weg naar water leidt tot een hogere uitstoot van stikstofoxiden (TNO 2021b). Modal shift van weg naar water kan ook bijdragen aan het verminderen van de congestieproblematiek op de weg en het verbeteren van de verkeersveiligheid. Modal shift van weg naar water en spoor is een speerpunt van het goederenvervoerbeleid van de rijksoverheid (IenW 2022c).

In Nederland is het aandeel van de binnenvaart in het goederenvervoer al groot in vergelijking met de meeste andere EU-landen. Desalniettemin ziet een aantal studies ruimte om meer ladingstromen van de weg naar het water te verplaatsen. In de eerder beschreven IMA 2021 is het potentieel voor een modal shift theoretisch verkend voor vier goederencorridors. In die studie is zowel gekeken naar de potentie aan de vraagkant (type lading en transportkosten) als aan de aanbodkant (restruimte op de infrastructuurnetwerken). Geconcludeerd wordt dat in 2040 in potentie nog

---

<sup>38</sup> De benodigde mechanische energie per tonkilometer is voor een schip meestal twee tot vijfmaal lager dan voor een truck. Zie bijvoorbeeld CE Delft (2020).

<sup>39</sup> De motor van een truck stoot over het algemeen nog minder fijnstof uit dan de motoren van een schip. Echter banden en remmen van een truck produceren gemiddeld meer fijnstof dan dat er uit de motor komt.

miljoenen tonnen aan goederen van weg naar water verplaatst kunnen worden (Dat.mobility & Districon 2021), waarbij de omvang verschilt per corridor. Op deze corridors kan het vervoer per binnenvaartschip hierdoor met grofweg 10 tot 20% toenemen. Ook het KiM concludeert in een zelfde type onderzoek naar het potentieel van modal shift op vier goederenvervoercorridors dat een deel van de lading die nu over de weg gaat theoretisch tegen lagere bedrijfseconomische kosten kan worden vervoerd per spoor of binnenvaart (Jonkeren 2023).

Zowel de IMA als het KiM constateren echter dat er veel praktische bezwaren en belemmeringen zijn voor modal shift van weg naar water, zoals rond betrouwbaarheid, flexibiliteit, doorlooptijd, fluctuatie in omvang van goederenstromen en het ontbreken van retourlading. Ook ervaringen uit modal-shiftprojecten laten zien dat het in de praktijk lastig is om voldoende lading te organiseren op het niveau van individuele routes om de dienst in voldoende frequentie aan te kunnen bieden en dat vaak retourstromen ontbreken of versnipperd zijn op veel individuele relaties. Daarnaast concludeert het KiM dat het onzeker is of beleidsinzet op modal shift op lange termijn effectief is, omdat onzeker is wat het effect is van innovaties in de goederenvervoermarkt en van toekomstig beleid voor onder andere verduurzaming van het vervoer op de bedrijfseconomische kosten en op de infrastructuurkosten.

Modal shift van containers van weg naar binnenvaart kan een positief effect hebben op de CO<sub>2</sub>-uitstoot. De reikwijdte van het potentieel van de maatregel beperkt zich echter tot slechts een deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het containervervoer. Uit een analyse voor de Nederlandse Oost- en Zuidcorridors naar de potentie van modal shift kwam naar voren dat geschikte stromen (containervervoer via de weg met een afstand van meer dan 100 km) 0,1 Mton CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland betreffen (en 0,19 Mton inclusief buitenlandse kilometers).

Het effect van een modal shift van 20% op deze stroom werd ingeschat op 0,01 Mton CO<sub>2</sub>-reductie in Nederland (en 0,02 inclusief buitenland), er vanuit gaande dat met binnenvaart circa 50% CO<sub>2</sub> wordt bespaard (TNO 2020b). Een andere studie schat de besparingspotentie van modal shift op maximaal 0,05 Mton (CE Delft, TNO & Connekt 2020).

## 4.3 Beelden voor de energievraag

Voor de binnenvaart is er nog geen duidelijk beeld van de toekomstige typen en aandelen van duurzame brandstoffen en aandrijflijnen voor de transitiepaden naar klimaatneutrale binnenvaart in 2050. Er kunnen zich nog heel verschillende paden ontwikkelen met betrekking tot de aandelen van batterij-elektrisch, bio- en e-diesel, methanol en waterstof. Aansluitend bij het onderzoek van DST (2020) en DST & EICB (2021) schetsen we in dit rapport een innovatief en een conservatief scenario/transitiepad om tot klimaatneutrale binnenvaart in 2050 te komen. De voor dit rapport gekozen scenario's zijn echter eenvoudiger in opzet en gericht op het energiegebruik van de binnenvaart gerelateerd aan Nederland. Dit betreft het energiegebruik van de binnenlandse binnenvaart en de afzet van bunkerbrandstoffen in Nederland aan de internationale binnenvaart (zie paragraaf 2.1).

### **Ontwerp van de transitiepaden**

Net als DST en EICB achten we het op dit moment te vroeg om in te schatten hoe de energiemix in de binnenvaart eruit gaat zien op weg naar klimaatneutrale binnenvaart in 2050. Om tot een beter beeld te komen zijn nog R&D- en pilotprojecten nodig voor de verschillende technologische opties. Ook ontwikkelingen in de economie als geheel, die bijvoorbeeld de prijzen van alternatieve brandstoffen en energieomzetters beïnvloeden, zullen van invloed zijn op de paden die resulteren voor de binnenvaart.

Wel is het aan te raden in de loop der jaren voor een zeer beperkt aantal technologieën/brandstoffen voor de binnenvaart te kiezen, omdat de binnenvaart een kleine afzetmarkt is, technische oplossingen gestandaardiseerd moeten worden om kosten te drukken en omdat de aanleg van alternatieve infrastructuur om grote investeringen vraagt. We hebben daarom twee transitiepaden opgesteld met in ieder pad slechts twee of drie technologieën en brandstoffen. De DST-studie veronderstelt in zijn transitiepaden gelijktijdige inzet van een breed palet van technologieën en energiedragers (zie paragraaf 2.3.1). In onze scenario's hebben we hier om bovenstaande redenen niet voor gekozen. Het is echter wel mogelijk dat er voor een specifieke robuuste deelmarkt (bijvoorbeeld duwboten) een aparte technologie wordt ontwikkeld en geïmplementeerd.

We kiezen in beide transitiepaden voor een substantieel aandeel batterij-elektrisch varen, omdat de 'tank-naar-schroef' energieconversie veel efficiënter is dan bij andere energiedragers en het pay-per-use systeem met verwisselbare accucontainers voor sommige binnenvaartsegmenten op redelijke termijn een positieve business case lijkt op te kunnen leveren. De potentie van batterij-elektrisch varen is groot als er een passende infrastructuur van wisselstations voor accucontainers wordt aangelegd en de energiedichtheid van batterijcontainers kan toenemen naar die van waterstofcontainers. De energiedichtheid van een 20 voet accucontainer is in 2021 nog 2 MWh. Volgens contacten met de leverancier, zou deze kunnen toenemen naar 4 MWh in 2030<sup>40</sup>. Met nieuwe celsystemen zou het daarna nog verder kunnen groeien. In een 20 voet container voor gecompriëerde waterstof past ongeveer het equivalent van 10 MWh voortstuwingsenergie, dit is inclusief het omzettingsrendement van het brandstofcelsysteem.

We kiezen in het conservatieve transitiepad voor een dominant aandeel biodiesel omdat deze oplossing met de huidige inzichten het meest kostenefficiënt lijkt om tot een klimaatneutrale binnenvaart in 2050 te komen (zie ook DST & EICB (2021)). We nemen hierbij aan dat er voldoende aanbod van biodiesel voor de binnenvaart beschikbaar komt. Wel zal die biodiesel grotendeels geproduceerd moeten worden uit nieuwe reststromen, zoals gedefinieerd in Annex IX deel A van de REDII. De huidige dominante bron, Used Cooking Oil (UCO), kan niet veel verder groeien, onder andere omdat de EU-regelgeving deze limiteert op het huidige volume.

In het innovatieve scenario hebben we een groot aandeel waterstof toegevoegd naast een groot aandeel batterij-elektrisch varen. Onderzoek naar waterstof als brandstof in de mobiliteitssector staat momenteel in de belangstelling (zie paragraaf 2.4). Het grote aandeel waterstof zou echter ook kunnen worden ingevuld door een e-brandstof en/of een groter aandeel batterij-elektrisch varen.

### ***Nadere invulling van de transitiepaden***

Het innovatieve scenario in voorliggend rapport gaat uit van een relatief hoge groei van het transportvolume (in vervoerde tonnen) en een relatief snelle efficiëntieverbetering. In dit scenario veronderstellen we een groot aandeel schepen dat vaart op elektriciteit, waterstof of e-brandstoffen in 2050. Daarnaast houden we een klein aandeel biodiesel aan voor 'oude' schepen, of schepen met een hoog energiegebruik, hoog geïnstalleerd vermogen en beperkte geschiktheid voor

---

<sup>40</sup> Projectie van Wärtsilä op basis van groei van de energiedichtheid van de opslagcel in combinatie met efficiëntere packaging in zoft container.

alternatieve technologieën/brandstoffen, zoals duwbotten met een vermogen boven 2.000 kW. In het conservatieve scenario wordt een gematigder volumeontwikkeling verondersteld en een gematigder efficiëntieverbetering. We verwachten dat in een scenario met lage groei het aandeel batterij-elektrisch in het energiegebruik in 2050 kleiner is dan in het innovatieve scenario en dat biodiesel dominant is.

De veronderstelde aandelen van energiedragers in de voortstuwingsenergie<sup>41</sup> in 2050 zijn:

- Innovatief scenario: 35% elektriciteit, 55% waterstof, 10% biodiesel;
- Conservatief scenario: 14% elektriciteit, 86% biodiesel.

Opgemerkt wordt dat de haalbaarheid van het grote aandeel waterstof in het innovatieve scenario zeer onzeker is. Gezien de beperkte omvang van de binnenvaartmarkt verwachten we dat het aantal alternatieven dat wordt toegepast in de transitie naar klimaatneutrale binnenvaart beperkt zal blijven. Voor iedere extra energiedrager moet namelijk ook (nieuwe) infrastructuur worden gerealiseerd om de schepen van energie te voorzien. We veronderstellen daarom dat binnen dit scenario waterstof of één van de e-brandstoffen dominant wordt.

Welke dat is valt op dit moment niet te voorspellen. Voor de invulling van het scenario hebben we gekozen voor waterstof, maar dit zou net zo goed een op elektriciteit gebaseerde energiedrager (e-brandstof) zoals e-methanol, e-diesel of e-NH<sub>3</sub> kunnen worden.

De scenario's zijn bewust zo gedefinieerd dat ze twee zeer uiteenlopende, mogelijke toekomstbeelden voor de binnenvaart schetsen: 2 hoekpunten van het speelveld als het ware. Een scenario met een groot aandeel innovatieve technologieën en energiedragers en een scenario dat nauw aansluit bij de huidige situatie gebaseerd op dieselaandrijving waarbij de fossiele diesel vervangen zal worden door biodiesel om klimaatneutraliteit in 2050 te kunnen bereiken. De uiteindelijke invulling van een klimaatneutrale binnenvaart zal zich waarschijnlijk tussen deze 2 hoekpunten ontwikkelen.

### ***Volumegroei en efficiëntieverbetering voor de scenario's***

Voor de berekening van de energievraag in 2020-2050 hebben we waarden voor de gemiddelde jaarlijkse groei van het transportvolume en de efficiëntieverbetering aangenomen zoals weergegeven in tabel 4.1. De gemiddelde jaarlijkse groei van het transportvolume is gebaseerd op de breedte van de jaarlijkse volumegroei van de energiedragersscenario's die passen bij WLO-Hoog van CPB (2019). Dit is besproken in paragraaf 4.2.

De groeivoeten van de efficiëntieverbetering zijn geschat langs drie invalshoeken. De eerste is de analyse van mogelijke efficiëntieverbetering via de factoren motorefficiëntie en *right-sizing*, hydrodynamische maatregelen, efficiënt varen in combinatie met logistieke efficiëntie, beschreven in paragraaf 4.1. Het gezamenlijke effect van deze factoren leidde tot een geschatte efficiëntieverbetering van 0,5% à 0,75% per jaar.

De tweede invalshoek is gebaseerd op de waarde die in de KEV2021 is gebruikt, namelijk 0,3% per jaar over de periode 2017-2040. De groeivoet van KEV2021 lijkt aan de lage kant omdat schaalvergroting van schepen hierin niet is meegenomen.

---

<sup>41</sup> Met voortstuwingsenergie wordt in dit hoofdstuk bedoeld: de mechanische energie voor de voortstuwingswiel plus het elektrische energiegebruik aan boord ("hotelbedrijf").

De derde invalshoek is gebaseerd op de kwalitatieve schatting van DST & EICB (2021). In die studie is aangenomen dat het vervoersvolume constant blijft tussen 2020 en 2050 en dat het energiegebruik van de gehele vloot bij scenario BAU met 15% zal zijn afgenomen in 2050 t.o.v. 2020 en bij de transitiepaden met 30%. Dit leidt in die studie tot een jaarlijkse efficiëntieverbetering van 0,5% bij BAU en 1,2% bij de transitiepaden. In deze waarden van de efficiëntieverbetering is het effect van de efficiëntere energieconversie van een batterij-elektrische aandrijving al meegenomen. De efficiëntieverbetering van 1,2% per jaar is echter te hoog als invoer voor onze berekening van de energievraag omdat we de inzet van alternatieve energieconversietechnologieën expliciet in een vervolgstap in de berekening meenemen (zie bijlage 5).

Op basis van bovenstaande invalshoeken hebben we een bandbreedte voor de jaarlijkse efficiëntieverbetering van 0,5% tot 0,75% aangenomen. In het innovatieve scenario worden duurere technologieën/brandstoffen ingezet. We nemen aan dat dit een prikkel is om een grotere efficiëntieverbetering na te streven dan in het conservatieve scenario.

**Tabel 4.1**

Gemiddelde jaarlijkse ontwikkelingen in transportvolume en energie-efficiëntie in de periode 2020-2050

	<b>Transportvolume (tonnen)</b>	<b>Efficiëntieverbetering (energie per ton)</b>
<b>Innovatief scenario</b>	1,0%	0,75%
<b>Conservatief scenario</b>	0,5%	0,5%

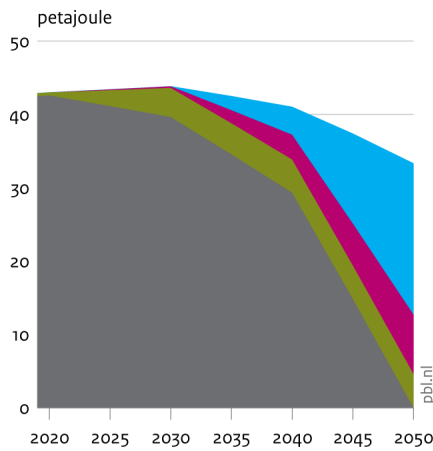
### **Energievraag inclusief efficiëntere batterij-elektrische en waterstofaandrijving**

Met behulp van de jaarlijkse volumegroei en de jaarlijkse efficiëntieverbetering ramen we per scenario de energievraag van de binnenvaart in de zichtjaren 2030, 2040 en 2050, uitgaande van de energievraag in basisjaar 2019. De aannames die we hierbij maken en de rekenstappen worden toegelicht in bijlage 5. In de berekeningen nemen we aan dat de ‘tank-naar-schroef’ energieconversie van een batterij-elektrische aandrijving een factor 2 efficiënter is dan bij diesel. Daarnaast nemen we aan dat de waterstof-brandstofcelaandrijving momenteel 10% minder energie gebruikt dan de huidige dieselaandrijving en dat dit verschil langzaam zal toenemen tot 19% in 2050. We verwachten deze relatieve efficiëntieverbetering omdat de waterstof-brandstofcelaandrijving nog geen ontwikkeld product is. De resulterende finale energievraag van de binnenvaart is getekend in figuur 4.1. Bij het innovatieve scenario is de energievraag lager dan bij het conservatieve scenario dankzij de efficiëntere batterij-elektrische en waterstofaandrijving.

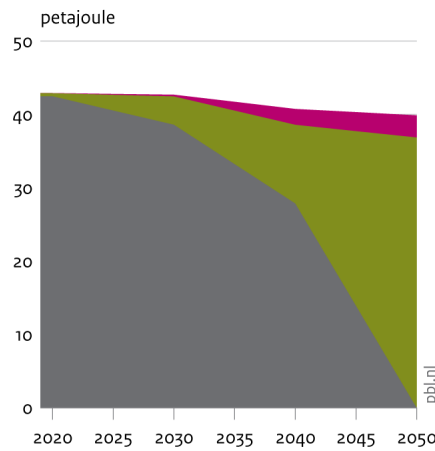
**Figuur 4.1**

**Energiemix van de binnenvaart in Nederland**

Innovatief transitiepad



Conservatief transitiepad



Bron: PBL & TNO

*NB: In het innovatieve transitiepad kan waterstof ook ingevuld worden door een op elektriciteit gebaseerde energiedrager (e-brandstof) zoals e-methanol, e-diesel of e-ammoniak.*

**CO<sub>2</sub>-uitstoot per scenario**

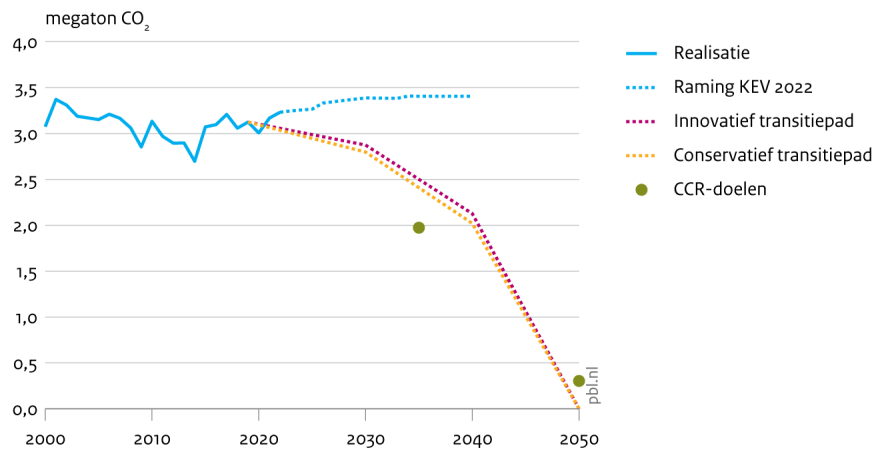
Figuur 4.2 schetst de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de binnenvaart volgens de KEV2022 en volgens beide transitiepaden. Beiden transitiepaden leiden tot een CO<sub>2</sub>-uitstootloze binnenvaart in 2050. Of de geschetste paden haalbaar zijn, hangt er mede vanaf of de veronderstelde snelheid van opschaling van de duurzame brandstofproductie en -distributie en de snelheid van conversie van de aandrijflijnen voor nieuwe en deels bestaande schepen (met name voor het innovatieve scenario) realistisch zijn. In de twee transitiepaden hebben we kwantitatief geen rekening gehouden met het tempo van vlootvervanging en motorvervanging. De samenstelling van de binnenvaartvloot naar motorleeftijden en het tempo van motorvervanging zijn hiervoor onvoldoende bekend (zie paragraaf 3.6).

In figuur 4.2 zijn ook de CO<sub>2</sub>-reductiedoelen van de CCR van 35% in 2035 en 90% in 2050 ten opzichte van 2015 weergegeven. Het doel voor 2035 wordt in onze transitiepaden niet gehaald. Indien er voldoende drop-in brandstoffen beschikbaar zijn voor de binnenvaart, kan dit doel wel worden gerealiseerd (mits er ook beleid is om de inzet te reguleren).

Het is dus niet gezegd dat dit doel niet haalbaar is. Het op dit doel gerichte beleid dient dan wel voortvarend ten uitvoer te worden gebracht: 2035 is slechts 12 jaar vooruit.

**Figuur 4.2**

**CO<sub>2</sub>-uitstoot van de binnenvaart volgens KEV 2022 en de transitiepaden**



Bron: Emissieregistratie (realisatie); PBL (raming); PBL & TNO

CCR-reductiedoelen van 35% in 2035 en 90% in 2050 t.o.v. 2015 zijn aangegeven.

## 5 Onzekerheden en uitdagingen

In deze paragraaf geven we een overzicht van de belangrijkste onzekerheden en uitdagingen om tot een klimaatneutrale binnenvaart in 2050 te komen. We groeperen ze in de categorieën “energiesysteem, energieprijzen en energie-infrastructuur”, “operationele aspecten” en “wetgevings- en financiële aspecten”.

### **Energiesysteem, energieprijzen en energie-infrastructuur**

De huidige ingezette duurzame diesel voor wegtransport en binnenvaart bestaat vooral uit relatief betaalbare biodiesel uit gebruikt frituurvet (UCO) en dierlijk vet. De groei van duurzame vloeibare brandstoffen moet conform de Europese regelgeving voor hernieuwbare energie vrijwel uitsluitend komen uit minder eenvoudig te verwerken grondstoffen of uit e-brandstoffen. Voor deze productieroutes is de productiemethode complexer en zijn grote investeringen nodig. De groeiende vraag naar deze brandstoffen vanuit de transportsector en andere delen van de economie kan mogelijk leiden tot beperkingen in de beschikbaarheid van de grondstoffen of van productiecapaciteit. Volgende beschikbaarheid van duurzame grondstoffen en reststromen en van duurzame energie is daarmee een belangrijke uitdaging om de energietransitie in de binnenvaart te realiseren, waarbij moet worden opgemerkt dat de potentiële vraag naar deze energiedragers vanuit de binnenvaart bescheiden is in vergelijking met de vraag die zeer waarschijnlijk vanuit de zeescheepvaart en luchtvaart resulteert (zie ook de rapporten over zeescheepvaart (PBL & TNO 2024b) en luchtvaart (PBL & TNO 2024c)).

Er zijn op dit moment buiten de transportsector al grote markten voor fossiele methanol, ammoniak en waterstof. Binnen de transportsector hebben de eerste aanbieders van duurzame brandstoffen zich aangekondigd (Goodfuels 2023). De productie is nog kleinschalig. De investeringsbereidheid in de productie van de meeste geavanceerde biobrandstoffen en e-brandstoffen is momenteel nog klein. De markt focust vooral op de goedkoopste duurzame brandstoffen. De markt voor de op lange termijn essentiële opties komt daardoor op dit moment nog onvoldoende op gang.

Alles wijst er verder op dat ook op langere termijn de prijzen van duurzame brandstoffen veel hoger zullen liggen dan de prijzen voor fossiele diesel zoals die tot voor kort golden. Bij inzet van die duurzame brandstoffen zal het aandeel van de energiekosten in de totale transportkosten van de binnenvaart sterk stijgen. Oplossingen met relatief lagere energiekosten zoals batterij-elektrisch, en potentieel op termijn ook waterstof, hebben juist relatief de hoogste investeringskosten voor het schip en ook operationeel ongemak, zoals frequent accu's moeten wisselen of brandstof bunkeren. Uit praktische overwegingen gaat de voorkeur uit naar een koolstofhoudende brandstof. Voor e-brandstoffen geldt echter dat er mogelijk schaarste aan duurzame koolstof zal zijn of dat de kosten om het uit de lucht te halen (Direct Air Capture) mogelijk te hoog zullen zijn. De koolstof kan echter ook uit andere bronnen komen, namelijk uit biobronnen of uit Carbon Capture and Utilisation (CCU). Het is dus op dit moment moeilijk in te schatten waar de binnenvaart uiteindelijk gebruik van zal maken. Het is voor binnenvaartpartijen hiermee lastig om nu een goede afweging te maken in welke technologie zij het beste kunnen investeren. Hiervoor is verdere ontwikkeling en meer ervaring in de praktijk nodig.

Batterij-elektrisch varen lijkt economisch haalbaar voor in ieder geval de containermarkt, vooral wanneer duurzame stroom relatief goedkoop is en al te hoge investeringskosten voor de



scheepseigenaar met een pay-per-use systeem worden voorkomen. De vraag is dan vooral of de capaciteit van het elektrisch netwerk voldoende is op knooppunten waar accu's geladen moeten worden. Groot voordeel is wel dat het laden van accu's tijdelijk onderbroken kan worden bij een tekort aan elektriciteit, en dat zelfs energie terug geleverd kan worden. Dit maakt het gebruik van accucontainers ook vanuit het bredere perspectief van het energiesysteem extra aantrekkelijk. Bijkomend voordeel is het veel grotere ketenrendement van deze route, waardoor aanzienlijk minder hernieuwbare elektriciteit nodig is dan bij varen op e-brandstoffen of waterstof. Een andere uitdaging is de uitrol van punten waar batterijcontainers verwisseld kunnen worden. Het Groeifondsproject dat in paragraaf 2.4 is toegelicht zet hier eerste stappen in.

De beschikbaarheid van kritieke materialen kan ook een grote rol gaan spelen. Vooral de behoefte aan materialen voor accu's zal explosief toenemen. Ook hier geldt dat de vraag vanuit de binnenvaart bescheiden is in vergelijking met andere toepassingen zoals het wegverkeer. Maar de binnenvaart gaat wel concurreren om dezelfde technologieën met het wegverkeer en andere toepassingen.

### **Operationele aspecten**

De nieuwe energiedragers elektriciteit (met accu's) en waterstof hebben een grote impact op de operationele aspecten van de binnenvaart. Vaak zal het dagelijks wisselen van accu- of waterstofcontainers nodig zijn. Dat levert al snel één tot enkele uren per dag aan tijdverlies op. Uiteindelijk zal het economische plaatje maatgevend zijn voor de investeringsbereidheid van de scheepseigenaren. Als de energiekosten en/of het tijdverlies minder zijn dan voor een andere duurzame optie, dan zal het tijdverlies waarschijnlijk toch geaccepteerd worden.

Bij de impact op operatie moet goed worden gekeken naar de verschillende deelmarkten in de binnenvaart. En zelfs dan moet er, om potentiële goed in te schatten en technologie en infrastructuur goed te dimensioneren, goed rekening worden gehouden met de spreiding in inzetprofielen tussen schepen en per schip door het jaar heen. Containervaart lijkt erg geschikt voor elektrisch vervoer aangezien de schepen op een vaste route worden ingezet en het wisselen van accucontainers kan worden gecombineerd met overslag van lading. Voor het vervoer van grote bulkkladingen op de Rijn met duwbotten (met motoren van ongeveer 4 MW) lijkt inzet van methanol in combinatie met een verbrandingsmotor juist een goede optie (C-Job 2022). Mogelijk moet er per deelmarkt een verschillende oplossing komen.

### **Wetgevings- en financiële aspecten**

Conform internationale afspraken wordt de uitstoot van broeikasgassen van de internationale binnenvaart niet tot het nationale emissietotaal van een land gerekend. Landen moeten deze uitstoot wel rapporteren aan het klimaatbureau van de VN (de UNFCCC), maar hij valt buiten de reductiedoelen en -verplichtingen. Voor Nederland is de uitstoot van de internationale binnenvaart veel groter dan die van de binnenlandse binnenvaart (zie par. 2.1). Reductie van de uitstoot van de internationale binnenvaart zou Europees moeten worden opgepakt.

De beleidsinstrumenten voor verduurzaming van de binnenvaart blijven tot nu toe achter bij die voor de zeevaart en het wegtransport.

Dit heeft mogelijk te maken met de relatief kleine omvang van de binnenvaart op Europese schaal en beperkingen in beleidsvrijheid vanuit bestaande verdragen zoals de Akte van Mannheim. Zo zijn er momenteel geen verplichte instrumenten gericht op de energie-efficiëntie voor binnenvaartschepen. Voor de zeevaart zijn er normen voor de efficiëntie van nieuwe en bestaande schepen die

zowel de technische als operationele efficiëntie reguleren. En voor nieuwe wegvoertuigen gelden al circa 15 jaar CO<sub>2</sub>-normen, die periodiek worden aangescherpt. In eerste instantie waren die normen alleen gericht op het lichte verkeer, maar sinds een aantal jaar wordt ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot van nieuwe vrachtauto's gereguleerd. In het kader van het NAIADES III actieplan wordt gewerkt aan een EU-brede energie-indexmethodologie voor het monitoren en rapporteren van de koolstofintensiteit van binnenvaartschepen (Europese Commissie 2021b). Hiermee wordt een eerste stap gezet richting mogelijke normering, maar een implementatieroute hiernaartoe is onzeker.

De Europese regelgeving voor hernieuwbare energie (de RED en REDII) was tot nu toe ook niet van toepassing op de binnenvaart. Pas met de herziening van de REDII (REDIII genaamd), zoals recent is overeengekomen binnen de EU, wordt ook de inzet van hernieuwbare energie in de binnenvaart gereguleerd. De REDIII vereist een reductie van de broeikasgasintensiteit van brandstoffen voor de transportsector (inclusief binnenvaart) van 14,5% in 2030 ten opzichte van de fossiele referentiebrandstof, uit te voeren door de brandstofleveranciers. De doelstelling geldt voor de transportsector als geheel. Het staat lidstaten vrij om aan deelmarkten andere eisen te stellen. Besluitvorming over de Nederlandse implementatie van de REDIII zal de komende jaren plaatsvinden. Afhankelijk van hoe de binnenvaart daarin wordt meegenomen, kan dit tot een snelle toename leiden van de inzet van hernieuwbare brandstoffen in de binnenvaart. Over het pad na 2030 biedt de REDIII echter nog geen duidelijkheid. Daar waar de Europese regelgeving voor hernieuwbare energie en de koolstofintensiteit van de brandstoffen in de luchtvaart en zeevaart normen bevat tot en met 2050, en daarmee langdurige zekerheid over het ingroeipad geeft, loopt de REDIII slechts tot 2030.

De binnenvaart valt op dit moment nog niet onder het Europese emissiehandelssysteem, waardoor de uitstoot van broeikasgassen nog niet wordt beprijsd. Met de herziening van het EU-ETS, waarover begin 2023 overeenstemming is bereikt, is de uitstoot van broeikasgassen van de zeescheepvaart binnen de EU en de helft van de vaarten van en naar de EU wel onder het ETS gebracht. De intra-Europese luchtvaart viel al onder het ETS. En voor het wegverkeer wordt een nieuw emissiehandelssysteem opgetuigd. De binnenvaart doet hier nog niet in mee. Wel hebben landen mogelijkheden om de nationale binnenvaart vrijwillig onder het ETS te hangen (zie ook paragraaf 2.3.2).

Ook de brandstof in de binnenvaart is tot op heden nog niet belast als gevolg van de Akte van Mannheim. Net als voor de lucht- en zeevaart geldt ook voor de binnenvaart een nultarief in de accijns. De prikkels tot het nemen van efficiëntie maatregelen en de prikkels om te verduurzamen zijn daardoor aanzienlijk minder groot dan bij andere modaliteiten. In het Fit-for-55 pakket wordt een herziening van de energiebelastingrichtlijn voorgesteld (Europese Commissie 2021c). Het voorgestelde minimumbelastingtarief op diesel voor intra-EU scheepvaart voor de periode 2023-2033 is echter zo laag dat het effect op de uitrol van alternatieve brandstoffen in de binnenvaart verwaarloosbaar zal zijn. Bovendien is het zeer de vraag of er op korte termijn overeenstemming wordt bereikt over dit voorstel.

Het belasten van de uitstoot van broeikasgassen kan samen met gericht beleid om het aanbod van duurzame technologieën en bijbehorende infrastructuur te stimuleren een belangrijke rol spelen in het snel terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen (zie bijvoorbeeld OECD (2022)). Het gebrek aan beleid voor verduurzaming van de binnenvaart maakt dat er tot nu toe nog weinig voortgang is geboekt op dit vlak.

In onderzoek van de CCR naar de mogelijkheden om de energietransitie naar een bijna zero-emissie binnenvaartsector te financieren kwam men tot de hoofdconclusie dat samen met de invoering van

een geschikt juridisch raamwerk een financieringssysteem voor de transitie noodzakelijk is (Kaarslan & Quispel 2021). Dit speelt zeker in de beginfase van de transitie, wanneer de kosten van duurzame aandrijftechnologie nog hoog zijn en veelal nog niet in rekening kunnen worden gebracht bij opdrachtgevers, wat een ongelijk speelveld oplevert voor early adopters en koplopers in verduurzaming.

Vanuit de CCR is voorgesteld om hiervoor fondsen op te richten die gevuld worden met bijdragen van zowel de publieke sector (nationale overheden en de EU) als van de binnenvaartsector (geoormerkte bijdragen die naar de sector terugvloeien voor de energietransitie)<sup>42</sup>. Om een bijdrage vanuit de sector te kunnen innen is een aanpassing van de Akte van Mannheim en de Conventie van Belgrado vereist. Een bijdrage vanuit de overheid kan een logische plek hebben in de beginfase van de transitie. Op de lange termijn zal ook gekeken moeten worden naar structurele oplossingen die de verduurzaming afdwingen, zoals normering of CO<sub>2</sub>-beprijzing.

Op lange termijn zal daarnaast mogelijk gerichte ondersteuning van deelsegmenten nodig zijn. Een deel van de binnenvaartsector bestaat uit kleine ondernemers met weinig investeringsruimte. Het lijkt onwaarschijnlijk dat deze groep zelfstandig alle investeringskosten zal kunnen opbrengen voor een nieuwe aandrijflijn. Zonder ondersteuning zullen deze eigenaren voornamelijk gebruik gaan maken van biobrandstoffen om aan verplichtingen te voldoen, aangezien dit geen kapitaalinvestering vereist.

---

<sup>42</sup> Dit is vergelijkbaar met de Nederlandse 'terugsluis' van de opbrengsten van de vrachtautoheffing en de verhoging van de vliegticketheffing naar het wegtransport resp. de luchtvaartsector voor verduurzaming van die sectoren.

## 6 Handelingsperspectief

In dit rapport zijn twee paden geschetst om te komen tot een klimaatneutrale binnenvaart in 2050. De analyse laat zien dat de stap naar klimaatneutraal in beginsel haalbaar is, maar dat er zeer grote stappen gezet moeten worden om dit te realiseren. Dit betreft onder meer het verder uitwerken van verschillende (technologische) sporen en deze toepasbaar maken voor verschillende deelsegmenten van de binnenvaart en het vinden van geschikte financieringsinstrumenten. Deze stappen zullen niet gezet worden zonder ontwikkeling en implementatie van normatieve wetgeving en andere beleidsmaatregelen.

In de basis zien we twee technologische hoofdsporen voor het verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de binnenvaart: middels gebruik van alternatieve energiedragers en bijbehorende aandrijftechnologie aan boord van het schip (elektrische aandrijving, waterstof, methanol) of via duurzame *drop-in* brandstoffen (biodiesel of e-diesel) in bestaande dieselmotoren. Deze hoofdsporen worden ondersteund met maatregelen die de energie-efficiëntie van de binnenvaart verbeteren. Dit kan door zuiniger en slimmer varen, hydrodynamische verbetering en *rightsizing* van motoren.

Gezien de relatief beperkte omvang van de markt is het niet waarschijnlijk dat er een groot palet aan verschillende energiedragers voor de binnenvaart komt. Op dit moment is de technologie van de verschillende opties echter nog niet uitontwikkeld en is er nog onzekerheid over de prijs waartegen verschillende oplossingen in de toekomst beschikbaar zijn. Het kan hiermee risicovol zijn om nu één specifiek pad uit te werken voor de verduurzaming van de sector. De binnenvaart bestaat uit een aantal vlootsegmenten die verschillen in operationele inzet (vaargebied en ureninzet), technische karakteristieken zoals vermogen en leeftijd van de motor en gerelateerde bedrijfsmodellen. Verduurzaming vergt mogelijk een gedifferentieerde aanpak wat betreft de keuze van toe te passen technieken. Om snel duidelijkheid te krijgen over de potentie van verschillende innovatieve oplossingen in (deel)markten zijn proeftoepassingen van verschillende oplossingen in de praktijk noodzakelijk. Daarnaast is het verstandig bij nieuwe schepen te bezien of er een zekere mate van modulariteit in het ontwerp kan worden toegepast. Dit kan door bijvoorbeeld in te zetten op dual-fuel motoren of elektromotoren en mogelijk al na te denken over tankruimtes en leidingen.

Gezien de lange levensduur van binnenvaartschepen dient niet alleen naar oplossingen voor nieuwe schepen, maar juist ook naar retrofitoplossingen te worden gekeken. Dit kan goed gebeuren binnen bestaande innovatiemiddelen, zoals de toegewezen subsidies uit het Nationaal Groeifonds van ZES en het Maritiem Masterplan (waar binnenvaart ook een onderdeel van is) of Europese fondsen zoals Horizon Europe en het Innovation Fund. De fondsen zijn momenteel wel sterk versnipperd, waardoor het niet duidelijk is of de benodigde breedte zowel op het gebied van de oplossingsrichtingen als de deelmarkten wordt bereikt. Het verdient aandacht om vanuit beleid, in samenspraak met kennisinstellingen en stakeholders uit de markt, overzicht te houden op de verschillende initiatieven en hier op bij te sturen waar nodig.

Voor grootschalige implementatie van alternatieve energiedragers gecombineerd met een ingroei van duurzame *drop-in* brandstoffen is het cruciaal dat er handhaafbare doelstellingen voor de binnenvaart worden geformuleerd. Strategische doelstellingen, zoals die bijvoorbeeld zijn gesteld door de CCR, moeten hierbij worden vertaald naar concrete beleidsinstrumenten. Zonder deze stap zullen er onvoldoende prikkels zijn voor partijen om grootschalig duurzame oplossingen te implementeren. In verschillende deelmarkten wordt vooral gewerkt met kortlopende contracten (zie

paragraaf 3.5) waarbij het moeilijk is voor partijen om kosten van CO<sub>2</sub>-reductiemaatregelen door te berekenen naar klanten. Dit is wel mogelijk als het, door beleid, generiek voor de gehele markt geldt.

Gezien het internationale karakter van de markt moet deze regelgeving op Europees niveau worden geïmplementeerd. Verschillende opties zijn mogelijk. Een eerste optie is om CO<sub>2</sub> op te nemen in de prijsvorming van de binnenvaart. Dit kan door het onderbrengen van binnenvaart onder ETS. Momenteel mogen lidstaten zelf kiezen of ze binnenvaart opnemen (“opt-in”) in het ETS voor grote emitters (ETS<sub>1</sub>) of het nieuwe ETS<sub>2</sub> voor mobiliteit en gebouwde omgeving of geheel niet in een ETS opnemen. Idealiter wordt de maatregel in alle EU-Rijnlanden (Nederland, België, Duitsland en Frankrijk) op uniforme wijze ingevoerd. Bij opname in een ETS ontstaat er een plafond op de uitstoot en een financiële prikkel om te verduurzamen. Indirect kan dit ook door eisen te stellen aan de inzet van hernieuwbare energie, conform de huidige RED. De huidige RED gaat nu slechts tot en met 2030 en geeft dus geen lange termijn zekerheid aan investeerders. Lange termijn invulling van de RED zou de investeringsbereidheid bij partijen (zowel van schippers als van technologieleveranciers) vergroten.

Een andere mogelijkheid die hierbij kan aansluiten is het vaststellen van het beleidsmaatregelenpakket voor 2030 en doelstellingen voor de langere termijn, waaraan de sector moet voldoen. Voor de zeevaart gebeurt dit nu in FuelEU Maritime (dat reductiedoelstellingen geeft voor verschillende zichtjaren) en in energie-efficiëntie richtlijnen zoals de EEDI, EEXI en CII (zie voor uitleg PBL en TNO (2024b)). Dergelijke maatregelenpakketten vergen echter een goed inzicht in de huidige uitstoot. De ontwikkeling van (verplichte) CO<sub>2</sub>-monitoringsinstrumenten, zoals opgenomen in NAIADES III, en de aangekondigde norm in de Actieagenda Toekomst binnenvaart om in Nederland gemiddeld te voldoen aan emissielabel B (een CO<sub>2</sub>-reductie van ca 55% in 2030) is hierin een belangrijke stap. De wijze van implementatie van deze norm is nog niet bekend.

Aansluitend hierop is meer algemene kennis nodig over de huidige leeftijdsopbouw en inzet van de vloot en de dynamiek hierin in de tijd. Zonder informatie over de huidige stand van zaken is het niet mogelijk om goede en gerichte doelstellingen te formuleren en inzicht te krijgen in de mate waarin bepaalde oplossingen uitgerold kunnen worden in specifieke deelmarkten en de beleidsmaatregelen waarmee dit effectief bevorderd kan worden. Hier ligt een rol voor kennisinstellingen. Nederland zou ook het initiatief kunnen nemen om op Europees of CCR-niveau wetgeving tot stand te brengen waarbij de broeikasgasemissies van de internationale binnenvaart ook worden meegenomen bij reductiedoelstellingen. Momenteel is geen enkel land verantwoordelijk voor deze uitstoot.

Het opstellen van handhaafbare doelstellingen kan helpen bij het financieerbaar maken en terugverdienen van investeringen en hogere operationele kosten. Op korte termijn, waarbij nog geen duidelijke doelstellingen geformuleerd zijn, is er sprake van een ongelijk speelveld met enkele koplopers maar vooral veel ondernemers die niet investeren en is het lastig om financiering te krijgen voor investeringen of deze te kunnen terugverdienen. Ingroei van nieuwe energiedragers vergt hierdoor nieuwe financieringsopties. Ondersteuning voor het uitvoeren van pilots en het oprichten van fondsen voor koplopers op de korte termijn, zoals wordt voorgesteld in NAIADES III, is hierbij belangrijk.

Wanneer technologie verder ontwikkeld is, en er handhaafbare doelen zijn, is ondersteuning minder noodzakelijk voor een groot gedeelte van de markt. Mogelijk blijft ook op de lange termijn wel gerichte ondersteuning aan kleine zelfstandig opererende schippers noodzakelijk.

Vergroening van de binnenvaart vergt afstemming en implementatie op Europees niveau. Gezien de belangrijke rol in de sector, kan Nederland hier een voortrekkersrol in spelen. Dit kan zowel op het gebied van ontwikkeling van beleidsinstrumenten en ontwikkeling van technologie als bij het implementeren hiervan in de praktijk. Door een voortrekkersrol te spelen kan de concurrentiepositie van de Nederlandse schipper en de toeleverende industrie verbeteren.

# Referenties

- ARENA (2014), *Commercial Readiness Index for Renewable Energy Sectors*, Copyright Commonwealth of Australia. <https://arena.gov.au/assets/2014/02/Commercial-Readiness-Index.pdf>
- AVIV (2021), *Veiligheidsaspecten nieuwe energiedragers binnenvaart*, Project 204323, Enschede: Adviesgroep AVIV BV.
- Berkehan Inal, O., B. Zincir & C. Deniz (2022), 'Investigation on the decarbonization of shipping. An approach to hydrogen and ammonia', *International Journal of hydrogen energy* 47: 19888-19900.
- CCR (2018), *Verklaring van Mannheim. 150 jaar Akte van Mannheim: motor voor een dynamische Rijn – en binnenvaart*, Straatsburg: Centrale Commissie voor de Rijnvaart.
- CCR (2021a), *CCR Marktobservatie – Jaarverslag 2021*, Straatsburg: Centrale Commissie voor de Rijnvaart.
- CCR (2021b), *Study on financing the energy transition towards a zero-emission European IWT sector. Deliverable Research\_question\_A*, Straatsburg: Centrale Commissie voor de Rijnvaart.
- C-Job (2022), *Methanol Feasibility Study. GMM (Green Maritime Methanol) 2.0 WP-3 Veerhaven Pusher*.
- CE Delft (2020), *STREAM Goederenvervoer 2020. Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*, Delft: CE Delft.
- Dat.mobility & Districon (2021), *Integrale Mobiliteitsanalyse. Achtergrondrapportage goederenvervoer integraal*, uitgegeven door Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL).
- DST (2020), *Assessment of technologies in view of zero-emission IWT. Edition 1*, Duisburg: Development Centre for Ship Technology and Transport Systems.
- DST & EICB (2021), *Assessment of technologies in view of zero-emission IWT. Edition 2*, Duisburg: Development Centre for Ship Technology and Transport Systems en Rotterdam: Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart.
- EICB & TNO (2021), *Toekomst duurzame binnenvaart*, presentatie EICB op 09-06-2021. Rotterdam: Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart.
- Europese Commissie (2019), *The European Green Deal*, COM(2019)640 final.
- Europese Commissie (2020), *Sustainable and Smart Mobility Strategy. Putting European transport on track for the future*, COM(2020)789 final.
- Europese Commissie (2021a), *Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil*, COM(2021)400 final.
- Europese Commissie (2021b), *NAIADES III. Boosting future-proof European inland waterway transport*, COM(2021) 324 final.
- Europese Commissie (2021c), *Proposal for a Council directive restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity*, COM(2021) 563 final.
- Europese Commissie (2021d), *Proposal for a regulation of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure*, COM(2021) 559 final.
- EZK (2023a), *Voorjaarsbesluitvorming Klimaat. Brief van de minister voor Klimaat en Energie aan de Voorzitter van de Tweede Kamer*, Kenmerk DGKE / 27070798.
- EZK (2023b), *Stand van zaken Fit for 55-pakket. Brief van de minister voor Klimaat en Energie aan de Voorzitter van de Tweede Kamer*, Kenmerk DGKE-K / 26862885.

- Geilenkirchen, G.P., M. Bolech, J. Hulskotte, S. Dellaert, N. Ligterink, M. Sijstermans, K. Geertjes, K. Felter & M. 't Hoen (2023), *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Gerritse, E. & J. Harmsen (2023), *Green Maritime Methanol. A call to action*, TNO 2022 R12341
- Goodfuels (2023), [Now Supplying GoodFuels Biomethanol in the Port of Amsterdam](#), geraadpleegd op 01-10-2023.
- IEA (2020), *Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction*, IEA Bioenergy: Task 41: 2020:01. Parijs: Internationaal Energie Agentschap.
- IenW (2020), *Uitgangspunten Referentieprognoses Goederenvervoer 2021 (RPGV2021)*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- IenW (2022a), *Beleidsprogramma Infrastructuur en Waterstaat*, Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- IenW (2022b), *Toekomst binnenvaart. Brief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat aan de voorzitter van de Tweede Kamer*, kenmerk IENW/BSK-2022/271554.
- IenW (2022c), *Modal shift aanpak, Brief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat aan de voorzitter van de Tweede Kamer*, kenmerk IENW/BSK-2022/261732.
- IenW (2023), *Actieagenda toekomst binnenvaart. Brief van de minister van Infrastructuur en Waterstaat aan de voorzitter van de Tweede Kamer*, kenmerk IENW/BSK-2023/308118.
- IPCC (2021), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.
- Jonkeren, O. (2023), *Verandering in externe kosten en infrastructuurkosten van het goederenvervoer door modal shift*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- Karaarslan, S. & M. Quispel (2021), *Study on financing the energy transition towards a zero-emission European IWT sector. Final overall study report*.
- KiM (2022), *Kerncijfers mobiliteit 2022*, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- Lamboos, S. & M. Weeda (2022), *Impact Fit for 55 voorstel voor herziening RED op de vraag naar groene waterstof in Nederland*, TNO-rapport 2022 P10151.
- Lande, P. van de, E. den Boer, H. Wagter, R. van den Berg, H. van Essen, J. van Rijn & J. Spreen (2018), *Outlook Hinterland and Continental Freight 2018*, Topsector Logistiek, TNO, CE Delft & Connekt.
- Lindstad, E. (2021), *Alternative marine fuels in light of carbon emission reduction targets. 2<sup>nd</sup> of April 2021*, Noorwegen: SINTEF Ocean.
- Marigreen (2019), *Innovaties in de scheepvaart. Resultaten van het Duits-Nederlandse samenwerkingsproject MariGreen*, Leer (Duitsland): Mariko GmbH en Groningen: FME.
- Marin, TNO en Deltares (2022), *Duurzame Binnenvaart – Transitie & onderzoeksvragen*.
- Maritime Knowledge Centre, TNO and TU Delft (2020), *Final Report: Assessment of alternative fuels for seagoing vessels using Heavy Fuel Oil*.
- NEN (2021), *Vervolgonderzoek veiligheidsrisico's biobrandstoffen gebruik in binnenvaart*, Delft: Nederlands Normalisatie Instituut (NEN).



- OECD (2022), *Pricing greenhouse gas emissions. Turning climate targets into climate action*, OECD Series on Carbon Pricing and Energy Taxation, OECD Publishing, Paris.
- Otten, M., E. Tol, P. Scholten, P. van de Lande, M. Verbeek & H. Wagter (2020), *Outlook Hinterland and Continental Freight 2020*, Topsector Logistiek, CE Delft & TNO.
- Panteia (2020), *Middellange termijn prognoses voor de binnenvaart. Vervoer in relatie tot Nederland, periode 2020 – 2025*, Zoetermeer: Panteia.
- PBL (2021), *Reflectie op de leefomgevingsthema's in het Coalitieakkoord 2021-2025*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL (2024), *Trajectverkenning klimaatneutraal 2050. Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. Nog te verschijnen.
- PBL, TNO, CBS en RIVM (2022), *Klimaat- en Energieverkenning 2022*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL & TNO (2024a), *Klimaatneutrale mobiliteit in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving en TNO.
- PBL & TNO (2024b), *Klimaatneutrale zeescheepvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving en TNO.
- PBL & TNO (2024c), *Klimaatneutrale luchtvaart in 2050. Een verkenning van beelden en paden daar naartoe*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving en TNO.
- Platina3 (2022), *Report on implementation of European IWT emission label/ energy index / GLEC for vessels*, Deliverable 2.6, gemaakt in Task 2.6. <https://platina3.eu/>
- PROMINENT D6.4 (2018), *Final pilot-review report*, Deliverable 6.4 of the H2020 project PROMINENT, SWP6.1. [Website D6.4](#)
- PROMINENT D2.8/D2.9 (2018), *Standardized model and cost/benefit assessment for right-size engines and hybrid configurations*, Deliverable D2.8/D2.9 of the H2020 project PROMINENT, WP2. [Website D2.8/D2.9](#)
- RH2INE consortium (2021), *RH2INE Kickstart Study. Main findings & strategic Roll-Out Plan*, [RH2INE » RH2INE Kickstart Study](#)
- Romijn, G., P. Verstraten, H. Hilbers & A. Brouwers (2016), *Goederenvervoer en zeehavens. WLO – Welvaart en Leefomgeving, scenariostudie voor 2030 en 2050*, Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.
- STC-Nestra, EICB & RebelGroup (2015), *Inventarisatie milieuprestaties bestaande binnenvaartvloot West-Europa*, Rotterdam
- TNO datasheets. Website: <https://energy.nl/data> (bezocht maart 2022).
- TNO (2020), *TNO kennisinbreng mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2019. NRMM, binnenvaart en zeevaart*.
- TNO (2021), *Gebruikershandleiding POTAMIS v1.4*, TNO 2021 R10401.
- TNO (2021b), *NOx-effecten Modal Shift*, TNO 2021 P11675.
- TNO (2022), *TNO kennisinbreng mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022*, Amsterdam: TNO.
- Van Kranenburg, K., T. van Bree, A. Gavrilova, J. Harmsen, C. Schipper, R. Verbeek, S. Wieclawska & F. Wubbolts (2021), *Transition to e-fuels: a strategy for the Harbour Industrial Cluster Rotterdam*, TNO 2021 R12635.
- Verbeek, R., S. Karaarslan, M. Quispel & K. Tachi (2020a), *Impact assessment biobrandstoffen voor de binnenvaart*, TNO 2020 R11455

- Verbeek, R., M. Verbeek, R. de Kler, K. van Kranenburg & R. Smokers (2020b), *Power-2-Fuel Cost Analysis*. TNO & Smart Port.
- Verbeek, R. (2021), *Transition pathways for alternative energy for IWT*, presentatie bij Platina3, stage 1-the Budapest sessions, April 2021
- Vermij, H. & K. de Vries (2019), *Gevolgen grote transitie en wereldhandel voor de binnenvaart 2020-2040*, Amersfoort: Royal Haskoning DHV.
- Winter, K., J. Kiel, B. Wesseling, M. de Bok, K. Friso & M. van de Berg (2021), *Referentieprognoses Goederenvervoer 2021*.
- Zyl, S. van, V. de Jonge, R. Verbeek & J. Harmsen (2020), *Routeradar 2019 straatbeeldmonitor. Status quo en ontwikkeling van hernieuwbare energiedragers in mobiliteit in Nederland*, TNO, uitgegeven door Rijkswaterstaat.

# Bijlagen

## Bijlage 1 Toelichting TRL & CRL

**Tabel B1.1**

Toelichting TRL en CRL-niveaus

<b>TRL</b>	<b>TRL description</b>	<b>CRL</b>	<b>CRL description</b>
1	Basic principles observed	Not available	Not available
2	Technology concept formulated	1	Hypothetical commercial proposition
3	Experimental proof of concept		
4	Technology validated in laboratory		
5	Technology validated in relevant environment		
6	Technology demonstrated in relevant environment	2	Small scale commercial trial
7	System prototype demonstration in operational environment		
8	System complete and qualified		
9	Actual system proven in operational environment	3	Commercial scale-up
		4	Multiple commercial applications
		5	Market competition driving widespread development
		6	Bankable asset class

Bron: ARENA (2014), bewerking PBL en TNO

**Tabel B1.2**

Toelichting op CRL-niveaus en vertaling naar de casus binnenvaart

<b>CRL</b>	<b>Phase</b>	<b>Definition</b>	<b>Indicative number of barges</b>
<b>1</b>	Research phase & Development – proof of principle	Research, proof of principle and testing of important components	0
<b>2</b>	Pilot phase – prototyping	The first complete vehicle and propulsion system is built.	1-2
<b>3</b>	Demonstration – Experimentation (large-scale market introduction is yet uncertain)	A small batch of complete vehicles is being experimented with in a single application under daily operational conditions. Infrastructure is locally organized or available in small numbers.	2-4
<b>4</b>	Market-introduction	Different brands and models of product are available for different applications. Infra is being scaled up to a regional or national level.	4-10
<b>5</b>	Market scale-up	(Rapid) growth of vehicle sales. Infra is being scaled up to a regional or national level.	more than 10
<b>6</b>	Market control	A stable situation has been reached.	more than 500

Bron: Van Zyl et al. (2020)

## Bijlage 2 Bio- en e-brandstoffen voor binnenvaart

Tabellen B2.1 – B2.4 geven een overzicht van een scala aan biobrandstoffen en e-brandstoffen die in beeld zijn voor verduurzaming van de binnenvaart.

**Tabel B2.1**

Conventionele biobrandstoffen voor binnenvaart en hun grondstoffen of productieroute

End product	Feed stock / Production route
SVO / PPO	Oil crops
FAME	Oil crops
HVO	Oil crops
Ethanol	Sugar / starch hydrolysis

Bron: Maritime Knowledge Centre, TNO and TU Delft (2020)

**Tabel B2.2**

Geavanceerde en lijst B biobrandstoffen voor binnenvaart en hun grondstoffen of productieroute

End product	Feed stock / Production route
HVO	Used oil (used cooking oil)
Methanol	Black liquor Gasification
Ethanol	Lignocellulosic hydrolysis
Ethanol/ methanol	Waste based
LDO (lignin diesel oil)	Lignocellulose hydrolysis / solvolysis
Bio-crude (Upgraded bio-oil)	Lignocellulose hydrothermal liquefaction / catalytic refining
Upgraded pyrolysis oil	Lignocellulose pyrolysis / catalysed upgrading
Methane / bio-LNG	Lignocellulose gasification
Methanol (& DME)	Lignocellulose gasification
FT-Diesel	Lignocellulose gasification
Renewable diesel	Wood extractives pulping / catalytic upgrading
Renewable diesel	Algae /oil extraction / catalytic upgrading
Methane / bio-LNG	Sludge /maize /manure / residues fermentation

Bron: Maritime Knowledge Centre, TNO and TU Delft (2020)

Geavanceerde biobrandstoffen betreft de lijst grondstoffen van annex IX, deel A van REDII. Lijst B biograndstoffen (gebruikt frituurvet en dierlijke vetten) vallen onder 'Overige grondstoffen'.

**Tabel B2.3**

E-brandstoffen voor binnenvaart en hun grondstoffen of productieroute

End product	Feed stock / Production route
Hydrogen	Electrolysis with renewable electricity
e-methane	H <sub>2</sub> + C + methane synthesis
e-methanol	H <sub>2</sub> +C + methanol synthesis
e-diesel	H <sub>2</sub> + C + Fischer Tropsch
e-ammonia	H <sub>2</sub> + N

Bron: Maritime Knowledge Centre, TNO and TU Delft (2020)

De koolstof voor op koolstof gebaseerde e-brandstoffen komt van CCU van de industrie of van DAC.

**Tabel B2.4**

Blauwe e-brandstof voor binnenvaart en zijn grondstoffen of productieroute

<b>End product</b>	<b>Feed stock / Production route</b>
<b>Hydrogen (blue)</b>	Natural gas steam reforming + CCS

*Bron: Maritime Knowledge Centre, TNO and TU Delft (2020)*

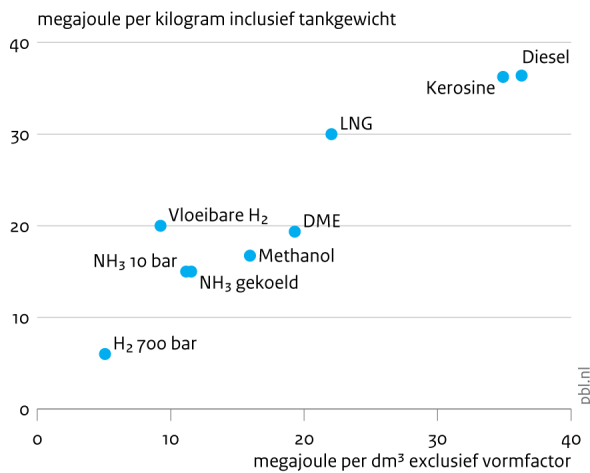
# Bijlage 3 Energiedichtheid brandstoffen

## Energiedichtheid en inbouw in het schip

De verschillende aspecten van energiedichtheid van brandstoffen zijn weergegeven in figuur B3.1 en tabel B3.1. De massa en vormfactor spelen een grote rol in de massa- en volumespecifieke energie-inhoud. Cilindrische tanks, die over het algemeen gebruikt worden voor gasvormige brandstoffen onder druk en voor cryogene brandstoffen, nemen veel meer ruimte in beslag dan een lage-druktank, die de vorm van de boeg kan volgen.

**Figuur B3.1**

### Energiedichtheid van brandstoffen



Bron: Verbeek 2021

**Tabel B3.1**

### Ruimte-inname ten opzichte van dieselbrandstof

	Volumefactor	Vormfactor	Volume incl. vormfactor
<b>Diesel of biodiesel</b>	1	1	1
<b>Methanol</b>	2,3	1	2,3
<b>LNG</b>	1,6	2	3,2
<b>NH3 gekoeld</b>	3,1	1,1	3,1
<b>NH3 op 10 bar</b>	3,1	2	6,3
<b>Cryogene H2</b>	6,3	2	12,5
<b>Gasvormige H2 op 700 bar</b>	7,1	2,5	17,7
<b>Gasvormige H2 op 350 bar</b>	12,5	2,5	31
<b>Batterij</b>	50	2	100

Bron: Verbeek (2021)

## Bijlage 4 Energie-efficiëntie

Bij de productie van e-brandstoffen, zoals e-diesel, e-methaan, e-methanol en e-ammoniak, zijn grote hoeveelheden elektriciteit nodig om via waterstof de e-brandstof te maken. In Tabel B4.1 is een overzicht gegeven van de globale behoefte aan elektriciteit en benodigde tussenproducten om de uiteindelijke e-brandstof te kunnen maken. Hieruit kan opgemaakt worden dat rond 2 GJ (0,56 MWh) elektrische energie nodig is om 1 GJ e-brandstof te maken. Voor waterstof ligt dat wat lager, maar daarbij is weer meer energie nodig voor de distributie (incl. compressie).

**Tabel B4.1**

Behoefte aan elektriciteit, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub> voor productie van 1 GJ aan e-brandstof in 2030

	koolstofin- houd (m/m)	Elektriciteit <sup>a</sup> (GJ)	H <sub>2</sub> (GJ)	CO <sub>2</sub> <sup>d</sup> (kg)	N <sub>2</sub> (kg)
<b>e-diesel / e-kerosine<sup>b</sup></b>	86%	2,0 - 2,2	1,26 - 1,41	72-73	-
<b>e-methaan</b>	75%	1,8	1,2	55	-
<b>e-vloeibare methaan</b>	75%	1,9	1,2	55	-
<b>e-methanol</b>	38%	1,7 - 1,9	1,21	69	-
<b>e-ammoniak</b>	0%	1,7 - 1,9	1,14	-	44
<b>waterstof<sup>c</sup></b>	0%	1,3 - 1,7	1	-	-

a) elektriciteit voor totale proces

b) methanol-to-diesel of FT-to-diesel

c) exclusief energiebehoefte voor vloeibaar maken of comprimeren van waterstof

d) CO<sub>2</sub> afkomstig van direct air capture (van invloed op benodigde elektriciteit voor totale proces)

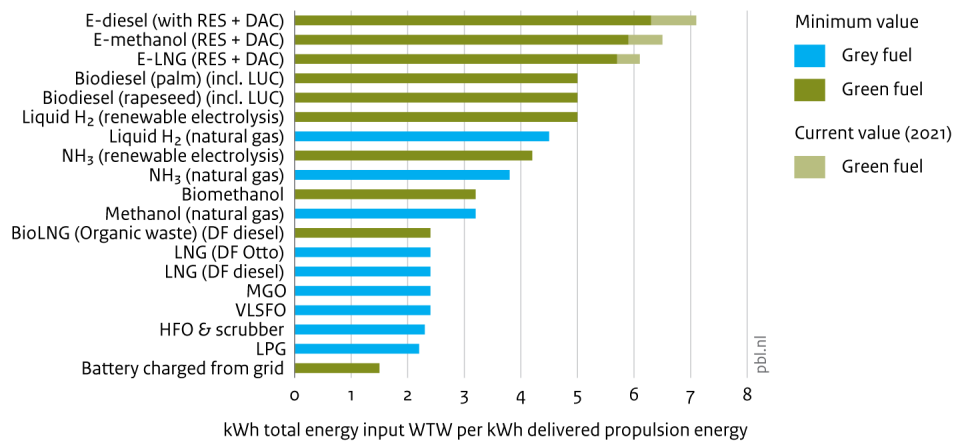
Bron: TNO Supply Chain model, TNO datasheets (<https://energy.nl/data>), Lamboo & Weeda (2022)

Figuur B4.1 geeft een overzicht van de WtW (*well-to-wake*, d.w.z. van bron tot kielzog) energie-efficiëntie voor fossiele brandstoffen, biobrandstoffen en e-brandstoffen bij toepassing in scheepvaart (Lindstad 2021). De WtW energie-efficiëntie omvat de energie-efficiëntie van brandstofproductie en transport / distributie plus de conversie in het schip naar voortstuwingsenergie. Langs de horizontale as staat aangegeven hoeveel kWh energie van de bron nodig is voor een kWh duurzame nuttige (hoofdzakelijk mechanische) energie aan boord van het schip. Hoe groter deze factor hoe lager de WtW energie-efficiëntie van de betreffende brandstof. Volgens de publicatie hebben van alle brandstoffen de fossiele brandstoffen de hoogste WtW energie-efficiëntie, corresponderend met een factor 2,2 tot 2,4. Ook bio-LNG en biomethanol hebben een gunstige WtW energie-efficiëntie (een factor van resp. 2,4 en 3,2). Van de e-brandstoffen, heeft e-ammoniak de meest gunstige energie-efficiëntie, corresponderend met factor 4,2. Dat betekent dat voor iedere kWh duurzame nuttige (hoofdzakelijk mechanische) energie aan boord van het schip, er 4,2 maal zoveel duurzame elektrische energie nodig is. Duurzame cryogene H<sub>2</sub> ligt daar met een factor 5,0 net boven, terwijl de energie-efficiëntie voor koolstofhoudende duurzame brandstoffen correspondeert met een factor 5 tot 7.



**Figuur B4.1**

**Well-to-wake energie-efficiëntie van fossiele, bio- en e-brandstoffen**



Bron: Lindstad 2021

## Bijlage 5 Raming energievraag tot 2050

In paragraaf 4.3 hebben we de resultaten gepresenteerd van een raming van de mogelijke ontwikkeling van de energievraag van de binnenvaart tot 2050. In deze bijlage lichten we die raming toe met cijfermateriaal. We benadrukken dat het hierbij gaat om een verkenning met indicatief karakter.

### **Energievraag op basis van conventionele aandrijflijn**

Het brandstofverbruik op basis van een conventionele aandrijflijn van beide scenario's staat in tabel B5.1. De geraamde waarden zijn het resultaat van de jaarlijkse volumegroei en de jaarlijkse efficiëntieverbetering (tabel 4.1 in par. 4.3) op basis van een conventionele aandrijflijn. Hierbij wordt nog geen rekening gehouden met de hogere efficiëntie van de batterij-elektrische en waterstofaandrijflijn. We nemen aan dat de procentuele efficiëntieverbetering van dieselaandrijvingen en elektrische aandrijflijnen tussen 2019 en 2050 gelijk zijn omdat beide technologieën nu al volwassen zijn. Door voor de verschillende zichtjaren het (verwachte) brandstofverbruik op basis van conventionele aandrijvingen te delen door het (verwachte) rendement van conventionele aandrijvingen wordt vervolgens bepaald hoeveel voortstuwingsenergie er in de verschillende jaren nodig is. De verdeling van de voortstuwingsenergie over de technologieën/brandstoffen in 2019 is een waarneming en de verdelingen in toekomstige jaren zijn aannamen (tabellen B5.2 en B5.3) die per scenario verschillen. Het aandeel van batterij-elektrisch varen in 2050 is 35% in het innovatieve scenario en 14% in het conservatieve scenario. Deze waarden zijn indicatief en rechtstreeks overgenomen uit de transitiepaden van DST & EICB (2021), alhoewel het daar percentages van het aantal schepen in de Europese vloot betrof. We nemen aan dat de aandelen batterij-elektrisch en waterstof pas tussen 2030 en 2040 zullen gaan toenemen en dat dit versneld zal doorzetten tussen 2040 en 2050 in het innovatieve scenario. In het conservatieve scenario veronderstellen we een dominant aandeel biodiesel vanwege kostenefficiëntie t.o.v. de andere alternatieve technologieën en laten we het aandeel batterij-elektrisch tussen 2040 en 2050 beperkt toenemen.

**Tabel B5.1**

Brandstofverbruik o.b.v. conventionele aandrijflijn (PJ)

	2019	2030	2040	2050
<b>Innovatief scenario</b>	42,9	44,1	45,1	46,2
<b>Conservatief scenario</b>	42,9	42,9	42,9	42,9

**Tabel B5.2**

Verdeling voortstuwingsenergie bij innovatief scenario

	2019	2030	2040	2050
<b>Diesel</b>	99%	90%	65%	0%
<b>Biodiesel</b>	1%	9%	10%	10%
<b>Elektrisch</b>	0%	1%	15%	35%
<b>H<sub>2</sub></b>	0%	0%	10%	55%

**Tabel B5.3**

Verdeling voortstuwingsenergie bij conservatief scenario

	2019	2030	2040	2050
<b>Diesel</b>	99%	90%	65%	0%
<b>Biodiesel</b>	1%	9%	25%	86%
<b>Elektrisch</b>	0%	1%	10%	14%

**Energievraag inclusief efficiëntere batterij-elektrische en waterstofaandrijving**

De uiteindelijke finale energievraag (Tank-to-Wake) van de binnenvaart voor beide scenario's, rekening houdend met de efficiëntere elektrische en waterstofaandrijflijn t.o.v. diesel, staat in tabel B5.4 en is getekend in figuur B5.1. De aandelen van de verschillende energiedragers in de finale energievraag staan in tabellen B5.5 en B5.6. De aandelen batterij-elektrisch in de finale energievraag zijn kleiner dan de aandelen in de voortstuwingsenergie omdat de energieconversie van "tank naar propeller" van een batterij-elektrisch aangedreven schip veel efficiënter is dan bij diesel. In de berekeningen hebben we een tweemaal efficiëntere energieconversie voor batterij-elektrisch aangenomen. Daarnaast nemen we aan dat de waterstof-brandstofcelaandrijving momenteel 10% minder energie verbruikt dan dieselaandrijving en dat dit verschil langzaam toeneemt tot 19% in 2050. We verwachten deze relatieve efficiëntieverbetering omdat de waterstof-brandstofcelaandrijving nog geen uitontwikkeld product is.

**Tabel B5.4**

Finale energievraag inclusief hogere energie-efficiëntie elektrische en waterstofaandrijving (PJ)

	2019	2030	2040	2050
<b>Innovatief scenario</b>	42,9	43,8	41,0	33,3
<b>Conservatief scenario</b>	42,9	42,7	40,7	39,9

**Tabel B5.5**

Verdeling finale energievraag volgens innovatief scenario

	2019	2030	2040	2050
<b>Diesel</b>	99%	90%	72%	0%
<b>Biodiesel</b>	1%	9%	11%	14%
<b>Elektrisch</b>	0%	1%	8%	24%
<b>H<sub>2</sub></b>	0%	0%	9%	62%

**Tabel B5.6**

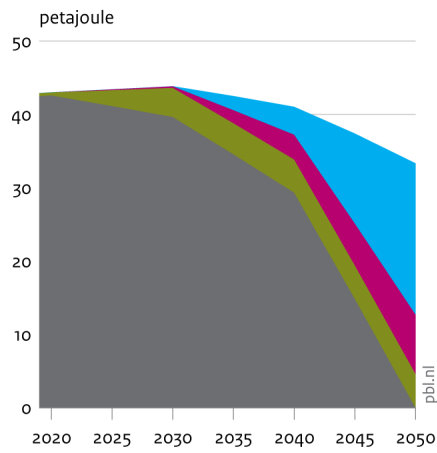
Verdeling finale energievraag volgens conservatief scenario

	2019	2030	2040	2050
<b>Diesel</b>	99%	90%	68%	0%
<b>Biodiesel</b>	1%	9%	26%	92%
<b>Elektrisch</b>	0%	1%	5%	8%

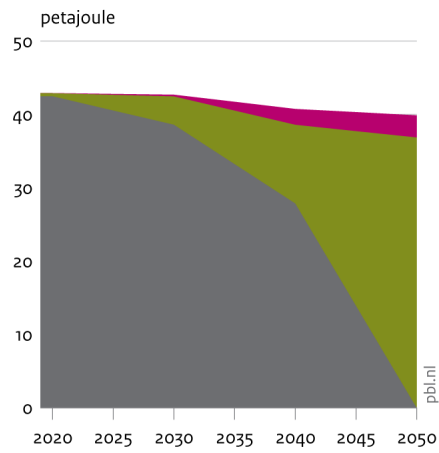
### Figuur B5.1

#### Energiemix van de binnenvaart in Nederland

Innovatief transitiepad



Conservatief transitiepad



- Waterstof
- Elektrisch
- Biodiesel
- Diesel

Bron: PBL & TNO

*NB: In het innovatieve transitiepad kan waterstof ook ingevuld worden door een op elektriciteit gebaseerde energiedrager (e-fuel) zoals e-methanol, e-diesel of e-ammoniak.*