



**RWS INFORMATIE**

**Routeradar 2019 Innovatiemonitor**

Binnenvaart

Datum: 8 oktober 2020  
Status: DEFINITIEF

## Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat
Auteur	Uitvoeringsteam Routeradar 2019: <ul style="list-style-type: none"><li>- Stephan van Zyl (TNO)</li><li>- Ruud Verbeek (TNO)</li></ul>
	Redactie: <ul style="list-style-type: none"><li>- Floris Mulder (RWS)</li><li>- Katinka Regtien (IenW)</li><li>- ERAC</li></ul>
Informatie	Projectleider Floris Mulder
Telefoon	088-797 1111
E-mail	floris.mulder@rws.nl
Datum	8 oktober 2020
Status	Definitief

## Inhoudsopgave

<b>Begrippenlijst .....</b>	<b>4</b>
<b>Afkortingenlijst .....</b>	<b>6</b>
<b>Managementsamenvatting .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Algemene inleiding .....</b>	<b>10</b>
1.1 Introductie .....	10
1.2 Doelstelling en doelgroepen .....	12
<b>2 Methodiek .....</b>	<b>14</b>
2.1 Inleiding .....	14
2.2 Beschikbaarheid .....	14
2.3 Betaalbaarheid .....	14
2.3.1 Overzicht brandstofprijzen en gebruikte bronnen .....	16
2.4 Functionele specificaties .....	17
<b>3 Marktontwikkelingen: binnenvaart .....</b>	<b>18</b>
3.1 Inleiding .....	18
3.2 Beschikbaarheid van binnenvaartschepen .....	18
3.2.1 Conventioneel (benzine, diesel, LPG) .....	18
3.2.2 Elektrisch .....	18
3.2.3 Waterstof .....	19
3.2.4 Gasvormig .....	19
3.2.5 Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen) .....	19
3.3 Betaalbaarheid .....	19
3.3.1 Conventioneel (benzine, diesel, LPG) .....	19
3.3.2 Elektrisch .....	21
3.3.3 Waterstof .....	22
3.3.4 Gasvormig .....	24
3.3.5 Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen) .....	25
3.4 Functionele specificaties .....	26
3.4.1 Conventioneel (benzine, diesel, LPG) .....	27
3.4.2 Elektrisch .....	28
3.4.3 Waterstof .....	28
3.4.4 Gasvormig .....	29
3.4.5 Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen) .....	30
3.5 Conclusie .....	30
3.6 Beleidsadvisering .....	32
<b>4 Referenties .....</b>	<b>34</b>

## Begrippenlijst

Begrip	Toelichting
Brandstofplatform	De maatschappelijke organisatie rond een brandstofspoor veelal bestaande uit bedrijven en industriële organisaties, branche- en maatschappelijke organisaties en regionale overheden. Er zijn vier brandstofplatforms: Formule E-team, Bio-LNG, Duurzame biobrandstoffen en H <sub>2</sub> Platform.
Brandstofspoor	Het spoor rond de implementatie van een bepaalde energiedrager. Dit spoor bestaat uit de drie velden zoals hieronder genoemd en de maatschappelijke beweging hier omheen.
Duurzame energiedrager in mobiliteit (DEM)	Hiermee refereren we aan de benaming van thema 2 in het Klimaatakkoord. Het betreft hier brandstoffen/energiedragers in transport. In de huidige beleidspraktijk heeft dit betrekking op de transitie van elektriciteit, waterstof en CNG/LNG (verplicht in AfID richtlijn) richting hernieuwbaar en biobrandstoffen. Verwante termen (met andere definities) die in dit verband vaak gebruikt worden zijn: 'alternatieve', 'duurzame' of 'innovatieve' brandstoffen.
Geavanceerde biobrandstoffen	Deze biobrandstoffen zijn gemaakt van grondstoffen zoals genoemd in de Annex 9, lijst A van de REDII.
Indicator	Een meetbaar verschijnsel dat verwijst naar de toestand van (een) sleutelfactor(en), dan wel naar een streefwaarde.
Marktphase	Binnen het innovatieproces worden zes marktfasen onderscheiden: R&D/onderzoekfase, prototype/pilot fase, markt voorbereiding fase, marktintrductie fase, opschalingsfase en beheerfase. In grove lijnen zijn de eerste drie fasen gericht op technologieontwikkeling en de laatste drie fasen op marktontwikkeling (zie hoofdstuk 3 voor een verdere toelichting).
Marktsegment	Waar aan de orde is per veld een nadere onderverdeling gemaakt in marktsegmenten. Vooral het veld vervoermiddelen is opgesplitst in diverse marktsegmenten (personenwagen, bestelwagen, vrachtauto, bussen etc.) aangezien tussen deze marktsegmenten per brandstofspoor grote verschillen kunnen bestaan.
Meetwaarde	De vastgestelde realisatie van de indicator op dit moment (zie datum document Routeradar 2019). Geeft aan hoe het 'nu' gesteld is met de realisatie van een streefwaarde.
Zero-emissie voertuigen	Definitie van zero-emissie voertuigen in kader Nederlands beleidsvoornemen nieuwverkopen personenwagens zero-emissie in 2030: deze beperkt zich tot personenwagens met tailpipe zero-emissies. Dit komt overeen met emissie

Begrip	Toelichting
	<p>vrije voertuigen volgens de Europese typekeuring (ETAP). Dit zijn voertuigen die géén emissietesten hoeven te ondergaan om op de weg te worden toegelaten. In de praktijk komt dit neer op batterij elektrische voertuigen en voertuigen op waterstof.</p> <p>De term zero-emissie wordt door een aantal partijen ook gebruikt voor biobrandstoffen. Aandachtspunt daarbij is dat dit niet betrekking heeft op tailpipe milieu emissies, maar wel dat de inzet van BB over de hele keten genomen een stevige bijdrage kan leveren aan CO<sub>2</sub>-reductie.</p>
PMC	Een Product Markt Combinatie is een unieke combinatie van een duurzame energiedrager en een marktsegment, zoals: een waterstof-bus, een batterij-elektrische personenwagen etc.
Sleutelfactor	Omstandigheid die van essentieel belang is voor een product om tot een volgende marktphase te komen.
Streefwaarde	Ambitie die in afstemming met de stakeholders, dan wel beleid is opgesteld voor een afgesproken ijkjaar, ook wel 'zichtjaar' genoemd. Deze wordt uitgedrukt in een bepaalde indicator (bijvoorbeeld: aantal H <sub>2</sub> -tankstations in 2030).
Velden	<p>Elke modaliteit kent drie velden, namelijk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Energiedragers: de ontwikkeling of productie van de brandstof;</li> <li>- Infrastructuur: de ontwikkeling van tank- en laainfrastructuur;</li> <li>- Vervoermiddelen: waarin de energiedrager voor de aandrijving gebruikt wordt.</li> </ul>

## Afkortingenlijst

Afkorting	Uitleg
AC	Adviescommissie
AFID	Alternative Fuels Infrastructure Directive
B7	Diesel
BB	Biobrandstoffen
BEV	Batterij-elektrische voertuigen. Dit type voertuig heeft enkel een elektromotor.
CNG/LNG	Compressed Natural Gas (aardgas)/ Liquid Natural Gas (vloeibaar aardgas)
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide
DEM	Duurzame Energiedragers Mobiliteit
DK-TI	Demonstratieregeling Klimaattechnologieën en -innovaties in transport
DuMo	Programma directie Duurzame Mobiliteit van I&W
E10	Euro 95 (Benzine met 10% ethanol)
E20	benzine met 20% ethanol
E5	Euro 98 (Benzine met 5% ethanol)
EC	Europese Commissie
ERAC	European and Regional Affairs Consultants
EV	Elektrisch Voertuig
FCEV	Waterstofvoertuigen
FCH-JU	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking
FEV	Volledig elektrische voertuigen (fully-electric vehicles), zelfde als BEVs. Dit type voertuig heeft enkel een elektromotor.
H <sub>2</sub>	Waterstof
HBE	Hernieuwbare brandstofeenheden
HRS	Hydrogen Refuelling Station
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil (dieselveervanger)
IEA	Internationaal Energieagentschap
IenW	Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat
INNOM	Routeradar innovatiemonitor
KA	Klimaatakkoord
KC	Kennis Consortium (TNO, CE Delft en ECN)
LEF	LEF staat voor LEF Future Centre: een centrum voor complexe maatschappelijke vraagstukken en uitdagingen. Dit centrum wordt gefaciliteerd door RWS
M&E	Monitoring & Evaluatie programma van DuMo
MIA	Milieu-investeringsaftrek
NEA	Nederlandse Emissieautoriteit

Afkorting	Uitleg
NO <sub>x</sub>	Verzamelnaam voor verschillende stikstofoxiden
OEM	Original Equipment manufacturers (autoproducenten)
OKA	Ontwerp Klimaatakkoord
PHEV	Plug-in hybride voertuigen. Dit type voertuig heeft naast een elektromotor ook nog een brandstofmotor
PM	Roetdeeltjes (kunnen verschillende grootte hebben)
PMV	Provinciale Milieu Vordering
R&D	Research & Development
REDII	Renewable Energy Directive II
RWS	Rijkswaterstaat
SDE/ SDE+	Stimulering Duurzame Energieproductie
SBM	Routeradar Straatbeeldmonitor
SMR	Steam Methane Reforming: een chemisch proces waarbij een koolwaterstof in aanwezigheid van stoom en/of zuurstofgas en eventueel een katalysator wordt omgezet in een waterstofrijk gasmengsel (lees: reformaat). De meest toegepaste reformeringstechniek voor het produceren van waterstof is stoomreforming van aardgas.
Stekkerauto	Dit zijn personenauto's met een elektromotor, waarvan de accu kan worden opgeladen met behulp van een stekker. Hieronder vallen zowel volledig elektrische personenauto's (FEV's), die enkel een elektromotor hebben (en emissievrij zijn), als plug-in hybrides (PHEV's).
Tailpipe	Uitlaatpijp (verwijst naar emissies op uitsluitend dit niveau)
TTW	Tank-to-wheel (verwijst naar emissies in dit deel van de keten, dus exclusief productie)
Vamil	Willekeurige afschrijving milieu-investeringen
WTT	Well-to-tank (verwijst naar emissies in dit deel van de keten > dus inclusief productie)
WTW	Well-to-wheel (verwijst naar emissies in gehele keten inclusief productie)
ZEV	Zero-emissie voertuigen
ZE-vervoer	Zero-emissie vervoer

## Managementsamenvatting

### Algemeen

Binnenvaartschepen zijn doorgaans tientallen jaren actief in bedrijf. In tegenstelling tot bijvoorbeeld personenvoertuigen is het bij binnenvaartschepen gebruikelijk dat een aandrijflijn tijdens de levensduur geheel gereviseerd, vervangen of aangepast wordt. Verandering van energiedrager hoeft niet gepaard te gaan met vervanging van een heel schip. Vaak is het mogelijk de aandrijflijn van een schip te vervangen.

### Beschikbaarheid

Momenteel varen vrijwel alle vaartuigen in de binnenvaart op diesel, met uitzondering van circa 65 hybride- en elf LNG-schepen. Elektrische- en waterstofschepen zitten nog in de onderzoeks- en marktintroductiefase. Er zijn momenteel drie à vier motorleveranciers die LNG-motoren aanbieden. Vloeibare biobrandstoffen als FAME, GTL en HVO kunnen worden gebruikt in conventionele binnenvaartschepen.

Het aandeel hernieuwbare energie (biobrandstoffen, groene elektriciteit, etc.) in binnenvaartschepen is niet bekend, omdat er geen aparte monitoringsverplichting voor bestaat. De Nederlandse emissieautoriteit kan hierdoor geen exacte uitsplitsing maken van de toepassing van hernieuwbare energie in verschillende modaliteiten, noch binnen de modaliteiten.

### Betaalbaarheid

De TCO ("Total Cost of Ownership") van batterij-elektrische binnenvaartschepen is (nog) aanzienlijk hoger dan die van een vergelijkbaar diesel-binnenvaartschip. Dit komt door de hogere kosten van accu-containers en het dagelijks laden en wisselen van dergelijke containers. Deze kosten zullen bij opschaling naar verwachting afnemen. De TCO van binnenvaartschepen op waterstof is (nog) aanzienlijk hoger dan die van een vergelijkbaar diesel-binnenvaartschip. Dit wordt veroorzaakt door de hoge kosten van brandstofcellen, waterstoftanks en de waterstof zelf. De kosten zullen waarschijnlijk richting 2030 flink gaan dalen. De TCO van binnenvaartschepen op LNG is iets lager dan die van het referentieschip op diesel. De aanschafkosten zijn weliswaar hoger, maar fossiele LNG is relatief goedkoop. Bio-LNG is momenteel nog duur. De TCO van schepen op HVO en FAME is iets hoger dan die van het referentieschip op diesel.

### Functionele specificaties

De actieradius van batterij-elektrische (één dag varen) en waterstof-binnenvaartschepen (één à twee dagen varen) is veel kleiner dan die van een binnenvaartschip op diesel, dat twintig dagen op één tankvulling kan varen. Bij LNG-binnenvaartschepen is dat zes tot negen dagen varen. Bij HVO en FAME is de actieradius gelijk aan die van diesel. Een dieselschip moet circa één à twee uur tanken om twintig dagen te kunnen varen. Elektrische binnenvaartschepen moeten momenteel nog circa één uur per dag laden/bunkeren. De vulsnelheid van waterstof is één à twee uur per tankvulling. De vultijden bij gasvormige brandstoffen en vloeibare biobrandstoffen zijn vergelijkbaar met die van diesel. De opslag van accu-containers en waterstoftanks neemt relatief veel ruimte in beslag. Bij gasvormige brandstoffen en vloeibare biobrandstoffen is er geen verschil met diesel.



## Beleidsadvisering<sup>1</sup>

De dominante marktpositie van Nederland in de Europese binnenvaart geeft de mogelijkheid om meer sturend te zijn. Voordeel is dat de beschikbaarheid en functionaliteiten van binnenvaartschepen die op biobrandstoffen varen vergelijkbaar zijn ten opzichte van diesel. De betaalbaarheid blijft echter achter door de hogere brandstofprijzen. Door de krachten van de maritieme sector en de Nederlandse (petro-)chemische industrie te bundelen, kan de overheid een impuls geven aan de ontwikkeling en opschaling van biobrandstoffen. Daarmee zullen de prijzen omlaag gaan en concurrerend worden met diesel. De steun van de overheid zal dan meer verschuiven van het gebruik (in de binnenvaart) naar de productie van de energiedragers. Bijkomend voordeel is dat deze voor meerdere (zwaardere) toepassingen in de mobiliteit kunnen worden ingezet. Daarnaast kan de kennis die wordt verkregen met de inzet van biobrandstoffen worden benut bij de ontwikkeling van synthetische, klimaatneutrale brandstoffen.

De overheid kan de ontwikkeling van elektrische- en waterstofschepen, die nog in de onderzoeks- en marktintroductiefase zitten, ondersteunen om tot wasdom te komen. Het is echter nog te vroeg om binnen het mogelijke ondersteuningsinstrumentarium meer revolverende<sup>2</sup> instrumenten in te zetten.

De huidige onderzoeken (ten behoeve van zwaar transport wegverkeer) op het gebied van ultra-schone verbrandingsmotoren in combinatie met klimaat-neutrale brandstoffen (zoals groene waterstof) kunnen ook interessant zijn voor de binnenvaart. Inzet van gasvormige waterstof leidt wel tot een kortere vaartijd per tankvulling. Wellicht kan vloeibare waterstof hier de oplossing zijn, omdat het zogenaamde boil-off effect bij binnenvaart nauwelijks zal spelen (schepen varen continu en liggen zelden in een overdekte stalling).

Op dit moment is het niet mogelijk om te zien of het aandeel hernieuwbare energie in binnenvaartschepen groeit of daalt. Geadviseerd wordt om onderzoek te doen naar een aparte monitoringsverplichting voor de hoeveelheid ingezette hernieuwbare energie binnen en tussen de modaliteiten.

---

<sup>1</sup> Deze beleidsadvisering is onder verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat opgesteld.

<sup>2</sup> "Revolverend" betekent dat in ieder geval een deel van de gelden die worden weggezet weer terugvloeit in een fonds.

## 1. Algemene inleiding

### 1.1 Introductie

#### *Achtergrond*

De Routeradar heeft als basisopgave de monitoring van de Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit. Deze visie kwam voor het eerst tot stand in 2014, toen nog onder de naam 'Brandstofvisie'. De Brandstofvisie werd in een samenspel van 350 stakeholders uitgewerkt en bevat een beschrijving welke duurzame brandstoffen wanneer kunnen worden ingezet om een bijdrage te leveren aan de klimaatdoelen op het gebied van CO<sub>2</sub>-reductie in transport. Deze visie heeft in 2020 een actualisatie gekregen onder de naam 'Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit'. Oogmerk daarbij is nog altijd het terugdringen van de broeikasgassenuitstoot in transport.

#### *Klimaatakkoord*

Over het reduceren van de uitstoot heeft Nederland zowel internationaal als nationaal afspraken gemaakt. Zo vormen duurzame energiedragers een belangrijk onderdeel in het mobiliteitsdeel van het Klimaatakkoord uit 2019. De uitvoering hiervan vindt deels plaats bij de programmadirectie Duurzame Mobiliteit. Tevens is er het programma Meerjarig Missie-gedreven Innovatieprogramma Duurzame Mobiliteit (MMIP-DM). Dit programma kijkt verder dan alleen de realisatie van klimaatdoelen. Duurzame mobiliteit is namelijk ook van vitaal belang voor de opbouw van een concurrerende positie van Nederland in de mondiale post-fossiele economie.<sup>3</sup>

#### *Scope*

De primaire focus van de Routeradar ligt op de ontwikkeling van duurzame energiedragers/brandstoffen voor mobiliteit. Dit is gevolg van het feit dat de Routeradar is opgezet als monitor van de Visie Duurzame Energiedragers in Mobiliteit. Daarnaast is er ook ander beleid dat bijdraagt aan duurzame mobiliteit. Denk aan minder transport, meer gebruik van fietsen en openbaar vervoer, verandering van vervoerswijze ('modal shift'), efficiëntere logistiek, et cetera. Deze elementen komen grotendeels terug in de andere onderdelen van het Klimaatakkoord: 'Verduurzaming logistiek' en 'Verduurzaming personenmobiliteit'. Deze vallen niet binnen de scope van de Routeradar, maar de Routeradar draagt wel bij aan de monitoring hiervan op alle deelonderdelen die duurzame energiedragers betreffen.

Daarbij heeft de Routeradar 2019 een dubbele scope die in twee verschillende delen wordt behandeld: de Routeradar Straatbeeldmonitor en de Routeradar Innovatiemonitor. Beide worden hieronder verder toegelicht.

#### *De Routeradar Straatbeeldmonitor*

De Routeradar Straatbeeldmonitor (RR-SBM) presenteert voor de zes vervoersmodaliteiten (wegvervoer, binnenvaart, mobiele werktuigen, zeevaart, luchtvaart en spoor) de getalsmatige voortgang en ontwikkelingen van de duurzame energiedragers in mobiliteit als volgt:

<sup>3</sup> Een meer uitgebreide analyse van het Nederlandse beleid en bijbehorende doelstellingen kan gevonden worden in ieder van de Routeradar 2019 Straatbeeldmonitor rapporten onder de paragrafen 2.2 en 2.3.

1. Door het afzetten van de streefwaarden (targets van beleid en platforms) per zichtjaar tegen de realisaties (meetwaarden) in 2019;
2. Door in te zoomen op drie onderdelen: (1) energiedragers, (2) infrastructuur, en (3) vervoermiddelen;
3. Door de emissiereducties per product-marktcombinatie te berekenen op basis van de realisaties in aantallen en afgelegde kilometers.<sup>4</sup>

#### *De Routeradar Innovatiemonitor*

In de Routeradar Innovatiemonitor wordt binnen het gebied van duurzame energiedragers voor mobiliteit gekeken naar de techniek- en marktontwikkelingen in Nederland en internationaal. Daarbij ligt de focus vooral op het vaststellen van de potentie tot opschaling.

Het begrip "innovatie" heeft in de Routeradar Innovatiemonitor twee verschillende betekenissen. Binnen het Techniekontwikkeling rapport heeft het begrip innovatie betrekking op de eerste drie product ontwikkeling fasen<sup>5</sup>: -R&D fase; -prototype fase; -marktvoorbereiding fase. Binnen de drie Marktontwikkeling rapporten praten we over de innovatie binnen de product ontwikkeling fasen 3 en 4: -marktintroductie fase; -marktopschaling fase. Dit onderscheid is belangrijk omdat voor elke fase specifieke beleidsinstrumenten nodig zijn.

#### *Technische ontwikkelingen*

De Innovatiemonitor (RR-INNOM) schetst daarbij de stand van de technische ontwikkelingen van alle brandstofsporen, door in te zoomen op de drie velden:

1. Energiedragers;
2. Infrastructuur;
3. Vervoermiddelen.

#### *Marktontwikkelingen*

De marktontwikkelingen worden specifiek in beeld gebracht voor de modaliteiten:

- Wegvervoer;
- Binnenvaart;
- Mobiele werktuigen.

Per modaliteit wordt uitsluitend gefocust op het veld 'Vervoermiddelen'. Daarbij worden per marktsegment (personenwagen, bestelwagen, vrachtwagen etc.) de volgende sleutelfactoren onderzocht:

1. Beschikbaarheid (van merken en modellen in Nederland);
2. Betaalbaarheid. Dit betreft de betaalbaarheid van het gebruik zoals dat door middel van een Total Cost of Ownership (TCO) berekening kan worden vastgesteld ten opzichte van een conventioneel referentievoertuig;
3. Kritische specificaties. Dit betreft de functionele gebruikersspecificaties (zoals actieradius, tank-/laadtijd, bagageruimte etc.) die bepalend zijn voor een succesvolle opschaling van een voertuig binnen een bepaald marktsegment.

<sup>4</sup> De methodiek en een aantal termen worden in meer detail beschreven in hoofdstuk drie van ieder van de RR-2019 Straatbeeldmonitor rapporten.

<sup>5</sup> Zie voor bespreking van markt cq productfasen de RR-2019 Straatbeeldmonitor: paragraaf 3.2.2

## 1.2 Doelstelling en doelgroepen

### *Doelstelling*

Het hoofddoel van de Routeradar 2019 is om feitelijke informatie met betrekking tot de ontwikkeling van duurzame energiedragers in transport te verzamelen en overzichtelijk te presenteren. De rapportage in zijn geheel evalueert de voortgang met betrekking tot de introductie en marktopschaling van verschillende duurzame energiedragers en vervoermiddelen, inclusief de benodigde tank-/laadinfrastructuur in het mobiliteitssysteem.

De resultaten van de Routeradar 2019 zijn input voor een proces van evaluatie van beleid en beleidsadvies. Daarbij beperken deze rapporten zich qua conclusies en aanbevelingen strikt tot zaken die op grond van de gepresenteerde informatie geconcludeerd kunnen worden.

### **Definitie duurzame energiedragers in transport**

In de huidige beleidspraktijk heeft dit begrip betrekking op de transitie van conventionele fossiele energiedragers (diesel, benzine, LPG) naar hernieuwbare nieuwe energiedragers als elektriciteit, waterstof, hernieuwbaar gas (bio-LPG, bio-CNG, bio-LNG) en biobrandstoffen. In principe vallen hier nog veel meer duurzame energiedrager opties onder, maar die worden in de Routeradar 2019 niet gemonitord. Reden is dat deze producten nog in de vroege productfase-ontwikkeling zitten, waardoor zij nog niet voor grootschalige marktinzet in aanmerking komen.

Verwante termen (met andere definities) die in dit verband vaak gebruikt worden zijn: 'alternatieve', 'duurzame' of 'innovatieve' brandstoffen. Voor alle duurzame energiedragers geldt overigens dat ook deze vaak niet hernieuwbaar geproduceerd worden. Het streven is daarom om dit vanaf volgende jaar te gaan monitoren. Dit zal gebeuren door zowel de realisaties als de streefwaarden (ambities/doelstellingen) van de hernieuwbaarheid van de verschillende energiedragers in beeld te brengen en te laten zien welke voortgang hier jaarlijks gemaakt wordt.

### *Doelgroepen*

De Routeradar 2019 wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). De rapportage is bedoeld voor de volgende doelgroepen en rapportages:

1. Beleidsmedewerkers die duurzaam mobiliteitsbeleid formuleren, herijken of inzicht willen in het huidige beleid met betrekking tot de zes belangrijkste transportmodaliteiten<sup>6</sup>;
2. Leden van de brandstofplatforms<sup>7</sup>;
3. Deelnemers aan Green Deals en convenanten en andere stakeholders op het gebied van duurzame mobiliteit;
4. Monitoring van het mobiliteitsdeel van het Klimaatakkoord, dit betreft:
  - a. Duurzame energiedragers;
  - b. Stimulering elektrisch (personen)vervoer;
  - c. Verduurzaming logistiek;
  - d. Verduurzaming personenmobiliteit;
  - e. Innovatie binnen mobiliteit (MMIP, niveau 4);
5. Monitoring van de EU-richtlijn AFID (Alternative Fuels Infrastructure Directive) in het kader van de rapportages aan de Europese Commissie door Nederland;

<sup>6</sup> Wegvervoer, Mobiele werktuigen, Binnenvaart, Zeevaart, Spoor en Luchtvaart

<sup>7</sup> Formule E-Team, LNG Platform (inclusief CNG), Biobrandstoffen Platform en H<sub>2</sub> Platform

6. Jaarlijks updaten van de Visie voor duurzame energiedragers in transport.

## 2 Methodiek

### 2.1 Inleiding

Dit rapport behandelt de marktontwikkelingen van verschillende energiedragers in de binnenvaart. Momenteel wordt het merendeel van de binnenvaartschepen nog aangedreven door dieselmotoren. Om de binnenvaart te verschonen en te verduurzamen wordt emissiewetgeving stapsgewijs aangescherpt en wordt gewerkt aan de overstap naar duurzame energiedragers. Aan de hand van een aantal indicatoren wordt inzicht gegeven in de huidige stand van zaken rondom binnenvaartschepen in combinatie met diverse energiedragers.

De marktontwikkeling voor binnenvaartschepen wordt middels de volgende drie indicatoren gemonitord:

- **Beschikbaarheid** – welke energiedragers zijn beschikbaar in de binnenvaart?
- **Betaalbaarheid** – wat zijn de gebruikskosten (TCO) van de betreffende energiedrager?
- **Functionele specificaties** – welke ontwikkelingen zijn kritisch voor het succes van bepaalde energiedragers?

Hierbij wordt telkens een binnenvaartschip, dat gebruik maakt van duurzame energiedragers, vergeleken met een referentie-vaartuig dat op conventionele brandstoffen vaart.

### 2.2 Beschikbaarheid

De beschikbaarheid in de binnenvaart wordt gemeten in termen van scheepswerven die een bepaalde technologie en energiedrager aanbieden.

### 2.3 Betaalbaarheid

De betaalbaarheid van vervoermiddelen is vastgesteld door de total-cost-of-ownership (TCO) te bepalen. De TCO wordt bepaald door de investeringskosten (CAPEX) met de operationele/variabele kosten (OPEX) te verrekenen. Dit geeft een ordegrrootte inschatting van de gemiddelde kosten van het gebruik van een vaartuig in Euros per kWh (€/kWh). Er wordt geen rekening gehouden met onderhoudskosten, met name omdat verschillen klein zijn of omdat er nog weinig informatie beschikbaar is. Voor CAPEX en OPEX wordt de volgende aanpak gehanteerd:

- CAPEX beperkt zich tot de investeringskosten van het vaartuig, de aandrijflijn en het opslagsysteem (tank-/accucapaciteit):
  - Aanschafkosten van het vaartuig;
  - Additionele opbouw-/ombouwkosten, zoals de aandrijflijn en tank-/opslagsysteem voor de nieuwe brandstof of energiedrager;
- OPEX beperkt zich tot de brandstofkosten. Deze bestaan uit kosten van brandstofproductie, compressie/liquefactie (voor aardgas en waterstof) en bunkering. Eventuele subsidies of vergoedingen voor duurzame brandstoffen – bijvoorbeeld via Hernieuwbare Brandstofeenheden (HBE's) en de Stimuleringsregeling Duurzame Energietransitie (SDE) – worden hier niet in meegenomen.



### 2.3.1 *Overzicht brandstofprijzen en gebruikte bronnen*

De brandstofprijs heeft een grote impact op de hoogte van de TCO. Bovendien zijn brandstofprijzen zeer volatiel en afhankelijk van de staat van de (wereld-)economie. Ook zijn er verschillende definities van de brandstofprijs, die gelden voor verschillende toepassingen (enkel kostprijzen of eindgebruikersprijzen; inclusief en exclusief accijnzen en BTW). Wisselende eenheden, valuta en ijkjaren maken een vergelijking van brandstofprijzen bovendien extra complex. Voor de vervoersmodaliteit binnenvaart is uitgegaan van onderstaande aannames (met als referentiejaar 2019):

- Vergelijkbaar met de luchtvaart, worden er in de binnen- en zeevaart geen accijnzen op brandstoffen geheven. De kosten worden dus weergegeven excl. BTW en accijns. Verder zijn de brandstofprijzen in de binnenvaart in lijn met de brandstofprijzen in het wegvervoer;
- Conventionele brandstofprijzen worden door het CBS gemonitord. De gemiddelde prijs in 2019 voor benzine, diesel en LPG bedroeg respectievelijk 1,65 €/l, 1,26 €/l en 0,63 €/kg (incl. BTW). Excl. BTW bedraagt de prijs van diesel 1,12 €/l. Excl. accijns van € 0,50 per liter bedraagt de prijs van diesel circa 0,62 €/l (ofwel: 14,5 €/GJ) voor de binnenvaart;
- De gemiddelde prijs voor elektriciteit in de scheepvaart is laag. Als grootgebruiker van elektriciteit hebben bedrijven vaak een laag energietarief, in de orde grootte van 0,05 à 0,06 €/kWh;
- De prijs van waterstof bedraagt bij de meeste tankstations circa 10 €/kg (incl. BTW). In de scheepvaart zijn de distributiewegen korter. Hierdoor kan op kostprijsniveau een lagere prijs gehanteerd worden van 5,12 €/kg (circa 43 €/GJ). Op waterstof wordt geen accijns geheven;
- Volgens een prijsoverzicht van PitPoint [Pitpoint, 2020] was de gemiddelde prijs voor LNG in 2019 1,21 €/kg (incl. BTW) en 1 €/kg (excl. BTW) voor wegtransport. Voor bio-varianten van LNG wordt een meerprijs van 0,10 €/kg aangehouden. Voor binnenvaart wordt uitgegaan van een (fossiele) LNG-prijs van circa 0,30 tot 0,40 €/kg (excl. BTW, accijns niet van toepassing), op basis van mondelinge informatie van de leverancier;
- In 2019 kostte een liter HVO circa € 1,28 (excl. BTW), blijkt uit marktconsultatie. Dit is circa 0,78 €/l excl. accijns, ofwel circa € 0,15 duurder dan diesel<sup>8</sup>;
- FAME kost ongeveer evenveel als diesel, blijkt uit marktconsultatie.

De meerkosten die de eindgebruiker moet betalen voor HVO en FAME zullen over het algemeen lager zijn dan in deze rapportage wordt vermeld. Dit komt door de jaarverplichting die voor brandstofleveranciers geldt. Bedrijven die in Nederland brandstoffen leveren aan de vervoerssector zijn namelijk verplicht een jaarlijks toenemend aandeel hernieuwbare energie te leveren, oplopend naar 16,4% in 2020. De verplichting is in een zogenaamde HBE-waarde (Hernieuwbare Brandstofeenheden) te vertalen. De HBE-waarde is niet meegenomen in deze TCO.

<sup>8</sup> HVO was tot vorig jaar nog beperkt beschikbaar. Het is nu beschikbaar bij Marina Den Oever bijvoorbeeld.



Tabel 1: Aannames rondom brandstofprijzen (referentiejaar 2019)

		C*				E*	W*	G*		VB*	
		Benzine	Diesel	Ad-blue	LPG	Elektriciteit	H <sub>2</sub>	CNG	LNG	HVO (100%)	FAME (100%)
Vervoers- specifiek	incl./ excl. accijns	€/l	€/l	€/l	€/l	€/kW h	€/kg	€/kg	€/kg	€/l	€/l
Binnen- vaart	excl. accijns	**	0,62	**	**	0,06	5,12	**	0,31	0,74	0,62

\*C=Conventioneel, E=Elektrisch, W=Waterstof, G=Gasvormig, VB=Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen) .

\*\*Energiedrager niet relevant in deze marktsegmenten.

## 2.4 Functionele specificaties

Functionele specificaties beschrijven factoren die een dominante rol spelen voor een succesvolle opschaling van een energiedrager. Functionele specificaties worden in dit rapport steeds op dezelfde manier beschreven en betreffen de volgende drie indicatoren:

- **Actieradius;**
- **Laad-/vultijd;**
- **Laadvermogen** (volume en/of gewicht).

Door het in kaart brengen van de functionele specificaties kan de lezer zelf een inschatting maken over de (on-)mogelijkheden voor opschaling van een type energiedrager binnen een gegeven marktsegment.

## 3 Markontwikkelingen: binnenvaart

### 3.1 Inleiding

Binnenvaartschepen worden vaak tientallen jaren ingezet, en wijken daarmee duidelijk af van de markt van bijvoorbeeld personenvoertuigen. Doordat de schepen lang meegaan worden schepen tijdens de levensduur aangepast en wordt de aandrijflijn gereviseerd, vervangen en/of geheel vernieuwd. Verandering van energiedrager hoeft niet gepaard te gaan met vervanging van een heel schip. Vaak is het mogelijk de aandrijflijn van een schip te vervangen. Momenteel varen in de binnenvaart momenteel vrijwel alle vaartuigen op diesel, met uitzondering van circa 65 hybride- en elf LNG-schepen. Elektrische- en waterstofschepen zitten nog in de onderzoeks- en marktintroductiefase. De marktontwikkeling van de verschillende energiedragers wordt in dit hoofdstuk beschreven volgens de in het voorgaande hoofdstuk beschreven methodiek.

### 3.2 Beschikbaarheid van binnenvaartschepen

In deze paragraaf volgt een overzicht van de beschikbare alternatieve aandrijftechnologieën die momenteel in de markt (Europa en Nederland) worden aangeboden.

#### 3.2.1 *Conventioneel (benzine, diesel, LPG)*

In de binnenvaart varen vrijwel alle vaartuigen op diesel. Ook zijn er circa 65 schepen met een diesel-elektrische (hybride) aandrijving [EICB, 2019]. De beschikbaarheid van binnenvaartschepen op diesel is daarmee vanzelfsprekend heel groot. Alle gewenste schepen zijn met dieselmotor leverbaar.

#### 3.2.2 *Elektrisch*

Er zijn momenteel twee verschillende concepten van batterij-elektrische binnenvaartschepen. Deze worden hieronder toegelicht.

##### 3.2.2.1. Mobile Energy Containers (MEC's)

Er zijn nog geen binnenvaartschepen beschikbaar op de markt die uitsluitend op elektriciteit uit accu's varen. Deze technologie bevindt zich nog in de onderzoeksfase. Wel zijn er concrete plannen voor de marktintroductie. Sinds enkele jaren wordt er gewerkt aan een concept met verwisselbare energiecontainers. Dit zijn grote accu's in containers (Mobile Energy Containers). Deze containers hebben een capaciteit van circa 2 tot 3 MWh per container. De containers kunnen, als ze leeg zijn, dagelijks worden gewisseld voor een opgeladen exemplaar. Op die manier is het schip bijna continu operationeel beschikbaar.

De scheepseigenaren hoeven niet zelf de enorme investering van deze MEC's te dragen. Zij hoeven alleen te zorgen voor een elektrische aandrijving. Deze wordt, ook in combinatie met diesel- of gasmotoren, al vaak toegepast. Recent is het bedrijf ZES<sup>9</sup> opgericht om te voorzien in deze MEC's. De scheepseigenaar koopt feitelijk elektrische stroom van ZES tegen een van te voren afgesproken elektriciteitsstarief.

<sup>9</sup> Zero Emission Services, gelanceerd door de bedrijven ENGIE, Havenbedrijf Rotterdam, ING Bank en Wärtsilä.

#### 3.2.2.2. Flow-batteries

Een tweede batterij-elektrisch concept betreft het gebruik van zogeheten “flow-batteries”. Dit concept is gelanceerd door scheepsbouwbedrijf Port-Liner, maar is nog niet in de praktijk beproefd. Bij het gebruik van flow-batteries wordt als het ware “geladen elektrolyt” getankt, die aan boord in bunkertanks wordt opgeslagen en door de accu wordt gepompt [Portliner, 2020].

#### 3.2.3 Waterstof

Er zijn momenteel nog geen binnenvaartschepen die varen op waterstof. De technologie bevindt zich nog in de onderzoeksfase. Er lopen wel enkele (pilot)projecten gericht op de ontwikkeling van varen op waterstof. Behalve de toepassing van waterstof in een brandstofcel, kan waterstof eventueel ook bijgemengd worden als brandstof voor een (speciale) dieselmotor. Dit heeft als voordeel dat geïnstalleerde motoren alleen aangepast hoeven te worden. Deze technologie bevindt zich echter nog in de onderzoeksfase. Voor meer informatie zie Routeradar Straatbeeldmonitor [RR-SBM, 2020].

#### 3.2.4 Gasvormig

Vanuit de markt zijn er drie tot vier motorleveranciers die LNG-motoren aanbieden, zowel voor de kleine binnenvaartsegmenten (motorvermogens kleiner dan 500 kW) als voor het grotere segment (boven 500 kW). Voor meer informatie zie Routeradar Straatbeeldmonitor [RR-SBM, 2020]. CNG is momenteel nog geen aantrekkelijke optie voor de binnenvaart, omdat de energiedichtheid te laag is. Hierdoor zou de opslag van CNG veel volume vergen.

#### 3.2.5 Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

Biobrandstoffen zijn in technisch opzicht relatief gemakkelijk toepasbaar in verschillende kwaliteiten en blends met dieselbrandstof. Motorleveranciers laten afwijkende specificaties in blends met FAME, GTL en HVO vaak wel toe, waardoor er gewoon met conventionele technologie kan worden gevaren. De beschikbaarheid van biobrandstoffen voor schepen is dus vooral afhankelijk van de beschikbaarheid van bunkerlocaties voor biobrandstoffen. Voor zover bekend is er één bunkerlocatie in Nederland, waar in 2019 voor het eerst een binnenvaartschip op volledig duurzame biobrandstof werd gebunkerd. Voor meer informatie zie Routeradar – Straatbeeldmonitor 2020 [RR-SBM, 2020].

### 3.3 Betaalbaarheid

#### 3.3.1 Conventioneel (benzine, diesel, LPG)

##### 3.3.1.1. Selectie referentie-vaartuig conventioneel

De TCO-berekeningen worden gemaakt voor een groot binnenvaartschip van het RWS-formaat M9<sup>10</sup> in 24-uursdienst. Dit is een verlengd Groot Rijnschip met een laadvermogen van 3.301-4.000 ton<sup>11</sup>. Dit soort schepen wordt in Europa veel gebruikt voor internationaal vervoer.

<sup>10</sup> De binnen- of rivierscheepvaart is in Europa opgedeeld in CEMT-klassen om de afmetingen van vaarwegen in West-Europa op elkaar af te stemmen. De RWS-klassen voor vaartuigen zijn hier op afgestemd, maar de indeling is nauwkeuriger. Dit betekent er wordt gedifferentieerd naar meer vaartuig-klassen.

<sup>11</sup> Lengte: 135 meter; breedte: 11,4 meter; diepgang geladen: 3,5 meter.

Enkele relevante specificaties van dit type schip en gebruikte uitgangspunten voor de TCO zijn:

- De hoofdmotor heeft een vermogen van 1.125 kW;
- Het vaartuig is bijna het hele jaar operationeel met circa 6.000 draaiuren per jaar<sup>12</sup>.

### 3.3.1.2. Aannames (energiedrager-specifiek)

Enkele voor de TCO relevante en energiedrager-specifieke aannames van dit schip zijn in onderstaande tabel opgenomen.

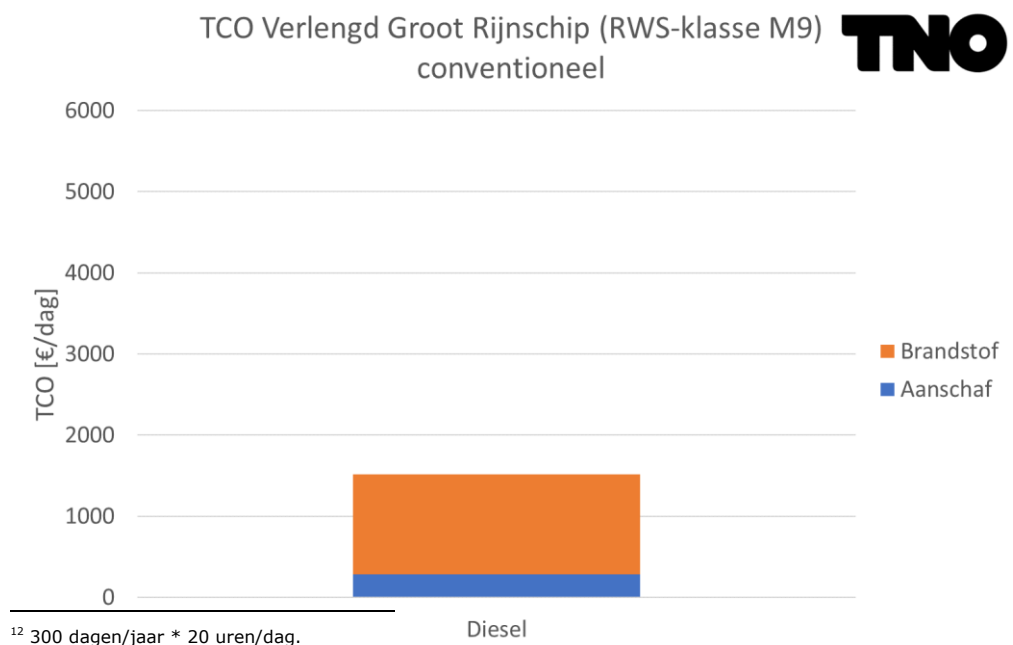
Tabel 2: Aannames en kostenkennallen voor TCO voorbeeld-vaartuig conventioneel

Kostensoort	Onderwerp	Kostenkennallen
Directe kosten	Aanschafprijs diesel aandrijving in vaartuig ("bare vessel")	€ 700.000
	Additionele vaartuigkosten ("opbouw/ombouw")	€ 0
Brandstofkosten	Brandstofverbruik	2,0 t/dag
	Brandstofprijs, totaal	Circa 14,5 €/GJ, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 13,5 €/GJ productiekosten;</li> <li>• 0 €/GJ compressie-/liquefactiekosten;</li> <li>• 1 €/GJ distributie/bunkering.</li> </ul>

### 3.3.1.3. Resultaten

Varen op diesel kost dagelijks grofweg € 1.500. Het overgrote deel van de kosten bestaat uit brandstofkosten (circa 80%).

Figuur 1: TCO Verlengd Groot Rijnschip - conventioneel



### 3.3.2 *Elektrisch*

#### 3.3.2.1. Selectie referentie-vaartuig elektrisch

De TCO berekeningen worden gemaakt voor een binnenvaartschip van het formaat M9 (zie 3.3.1.1. voor een verdere toelichting).

#### 3.3.2.2. Aannames (energiedrager-specifiek)

Enkele voor de TCO relevante en energiedrager-specifieke aannames van dit schip zijn hieronder opgenomen.

*Tabel 3: Aannames en kostenkennallen voor TCO referentie-vaartuig elektrisch*

Kostensoort	Onderwerp	Kostenkennallen
Directe kosten	Aanschafprijs aandrijving in vaartuig ("bare vessel")	€ 700.000
	Additionele vaartuigkosten ("opbouw/ombouw")	Circa € 200.000 (tussen € 100.000 en € 400.000 afhankelijk van type aandrijflijn)
Brandstofkosten	Brandstofverbruik	9,5 MWh/dag (34 GJ/dag)
	Brandstofprijs, totaal	90 €/GJ, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 16,7 €/GJ productiekosten;</li> <li>• 0 €/GJ compressie-/liquefactiekosten;</li> <li>• 73 €/GJ accu-investering en accu-container wisselen.</li> </ul>

#### 3.3.2.3. Resultaten

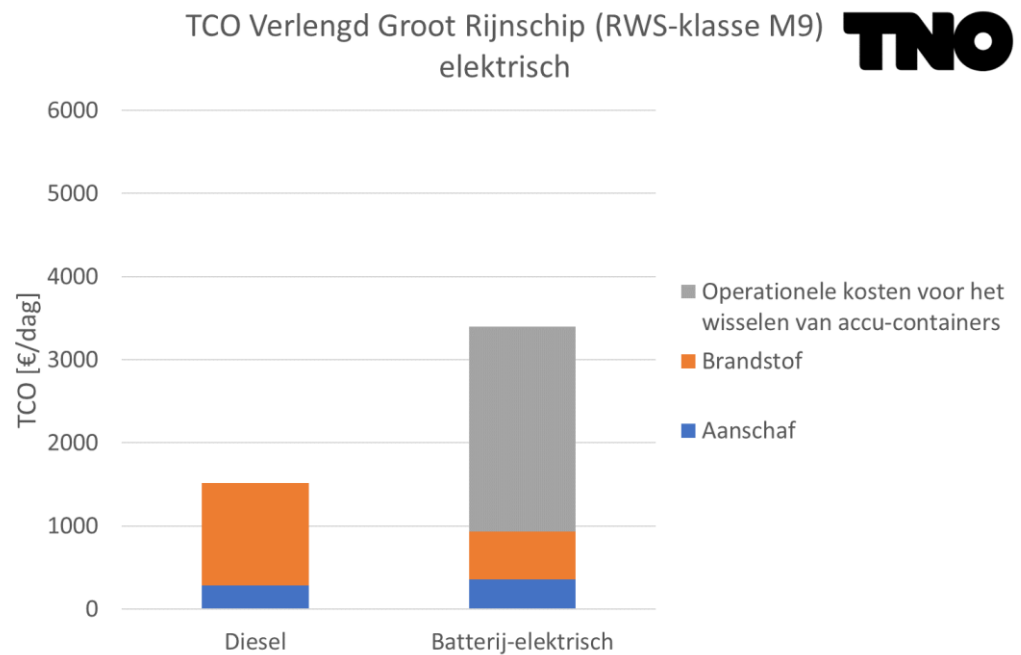
Accu-elektrische binnenvaartschepen zijn voorlopig fors (meer dan twee keer) duurder dan een conventioneel vergelijkbaar schip (zie onderstaande figuur). Dit komt onder andere door de additionele aanschafkosten van accu-containers<sup>13</sup>. Veel bepalender voor de meerkosten van elektrisch varen zijn echter de hierdoor ontstane extra operationele kosten als gevolg van verlies van laadvermogen en tijd. De accu's nemen ruimte in beslag en hierdoor kan minder getransporteerd worden. Ook neemt het extra tijd in beslag om de accu's te laden of te wisselen. Verder leidt het tot één uur per dag tijdverlies voor het wisselen van accu's<sup>14</sup>. De precieze kosten hiervan zijn nog niet bekend. In eerdere studies volgde dat 260 €/MWh een realistische inschatting is [Abma, 2019a].

De totale "systeemkosten" zullen ook dalen, naarmate er meer schepen overstappen op batterij-elektrisch. Dan zullen meerdere schepen van dezelfde infrastructuur profiteren en zal de verhouding accu's aan wal ten opzichte van accu's aan boord gunstiger worden [Abma, 2019a]. Desondanks blijven accu-elektrische binnenvaartschepen in 2030 waarschijnlijk economisch minder aantrekkelijk dan diesel.

<sup>13</sup>Mits deze kosten aan het schip worden toegekend, en niet aan een investeringsmaatschappij die deze containers verhuurt, waardoor de kosten in feite in de operationele kosten vallen.

<sup>14</sup>In vergelijking met diesel: één uur per week.

Figuur 2: TCO Verlengd Groot Rijnschip - elektrisch



### 3.3.3 Waterstof

#### 3.3.3.1. Selectie voorbeeld-vaartuig waterstof

De TCO berekeningen worden gemaakt voor een binnenvaartschip van het formaat M9 (zie 3.3.1.1. voor een verdere toelichting). Hoewel waterstof-elektrische binnenvaartschepen momenteel niet beschikbaar zijn, zijn er wel studies, waarin de toepassing wordt onderzocht [Abma, 2019b] [Verbeek, 2020]. Interessant zijn vooral brandstofcel-aangedreven binnenvaartschepen.

#### 3.3.3.2. Aannames (energiedrager-specifiek)

Enkele voor de TCO relevante en energiedrager-specifieke aannames van dit schip zijn hieronder opgenomen.

Tabel 4: Aannames en kostenkennallen voor TCO referentie-vaartuig waterstof

Kostensoort	Onderwerp	Kostenkennallen
Directe kosten	Aanschafprijs aandrijving vaartuig ("bare vessel")	€ 700.000
	Additionele vaartuigkosten ("opbouw/ombouw")	€ 3.750.000
Brandstofkosten Grijze & groene waterstof	Brandstofverbruik	85 GJ/dag of 0,71 t/dag
	Brandstofprijs	43 €/GJ, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 35 €/GJ productiekosten;</li> <li>• 2 €/GJ compressie-/liquefactiekosten;</li> <li>• 6 €/GJ bunkering.</li> </ul>

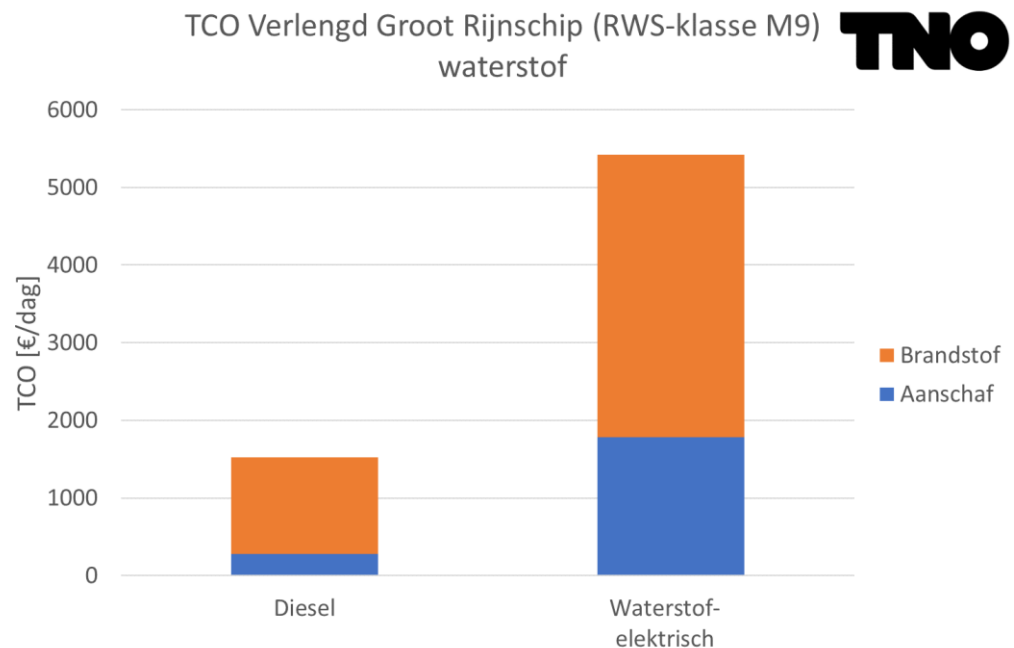
### 3.3.3.3. Resultaten

Uit onderstaande figuur blijkt dat waterstof-elektrische binnenvaartschepen voorlopig veel duurder zijn ten opzichte van een vergelijkbaar conventioneel binnenvaartschip. Dit komt zowel door de hogere aanschafkosten van waterstof-elektrische binnenvaartschepen als door de hoge bunkerkosten. De waterstof-aandrijflijn is duur in verband met hoge prijzen voor brandstofcellen en de waterstoftanks. Voor dit schip wordt uitgegaan van extra aanschafkosten rond de € 3,75 miljoen per schip<sup>15</sup>.

De brandstofkosten zijn hoog voor zowel grijze als groene waterstof. Dit komt door relatief hoge kosten voor de distributie en bunkering en voor het comprimeren op hoge druk (of het vloeibaar maken voor cryogene waterstof). De productiekosten van groene waterstof zijn mede hoog vanwege de hoge kosten van elektrolyzers en het hoge elektriciteitsverbruik.

De kosten voor de aandrijflijn en de elektrolyzers zullen richting 2030 waarschijnlijk flink dalen, mogelijk met circa 30%. Maar ook dan blijven waterstof-elektrische binnenvaartschepen een dure optie in vergelijking met diesel, elektrisch, gas en biobrandstoffen [Abma, 2019b].

Figuur 3: TCO Verlengd Groot Rijnschip - waterstof



Behalve dat waterstof als energiedrager voor brandstofcellen gebruikt kan worden, is het ook mogelijk om waterstof direct in een dieselmotor te verbranden. Momenteel wordt de bijmenging van waterstof in dieselmotoren onderzocht en lijkt het mogelijk om met modificaties een dieselmotor geschikt te maken om op een combinatie van diesel en waterstof te laten draaien. Dit zou een aantrekkelijke case kunnen vormen om op korte termijn schepen uit de bestaande vloot deels op waterstof te laten varen, zonder de volledige aandrijflijn te moeten vervangen.

<sup>15</sup> Prijsniveau 2020.

### 3.3.4 Gasvormig

#### 3.3.4.1. Selectie referentie-vaartuig gasvormig

De TCO berekeningen worden gemaakt voor een binnenvaartschip van het formaat M9 (zie 3.3.1.1. voor een verdere toelichting).

#### 3.3.4.2. Aannames (energiedrager-specifiek)

Enkele voor de TCO relevante en energiedrager-specifieke aannames van dit schip zijn hieronder opgenomen. Deze gelden voor LNG. CNG is niet een optie voor de binnenvaart, omdat de energiedichtheid te laag is.

*Tabel 5: Aannames en kostenkennallen voor TCO referentie-vaartuig gasvormig (LNG)*

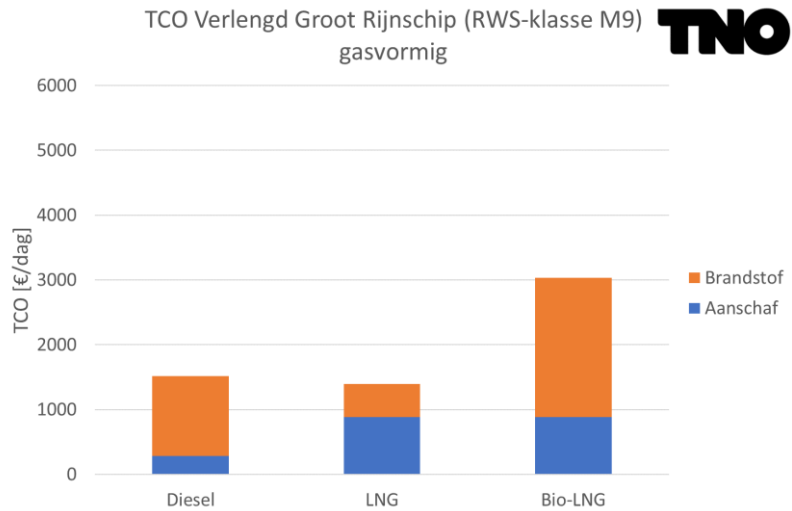
Kostensoort	Onderwerp	Kostenkennallen
Directe kosten	Aanschafprijs aandrijving vaartuig ("bare vessel")	€ 700.000
	Additionele vaartuigkosten ("opbouw/ombouw")	€ 1.500.000
Brandstofkosten LNG	Brandstofverbruik	85 GJ/dag, 1,74 t/dag
	Brandstofprijs	6,1 €/GJ, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3,3 €/GJ productiekosten;</li> <li>• 2,8 €/GJ distributie/bunkering.</li> </ul>
Brandstofkosten Bio-LNG		25 €/GJ, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 22 €/GJ productiekosten;</li> <li>• 2,8 €/GJ distributie/bunkering.</li> </ul>

#### 3.3.4.3. Resultaten

De kosten van de aandrijflijn inclusief de tanks aan boord van het schip zijn voor LNG veel hoger dan voor een vergelijkbaar conventioneel schip (diesel) (circa € 1,5 miljoen meerprijs). Fossiele LNG is daarentegen heel goedkoop en de komende jaren worden ook geen grote prijsstijgingen verwacht. Bio-LNG is momenteel wel kostbaar, waarschijnlijk vooral vanwege de lage productiecapaciteit. Als de waarde van de hernieuwbare brandstofeenheden wordt meegerekend, dan hoeft de prijs die de eindgebruiker betaalt waarschijnlijk niet veel hoger te zijn dan die van fossiele LNG. De meerprijs zal ook afhangen van vraag en aanbod.

*Figuur 4: TCO Verlengd Groot Rijnschip – gasvormig. Bio-LNG op basis van ruwe inschatting bulk leverprijs (excl. HBE waarde)*





### 3.3.5 Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

#### 3.3.5.1. Selectie referentie-vaartuig hoge-mix biobrandstoffen

De TCO berekeningen worden gemaakt voor een binnenvaartschip van het formaat M9 (zie 3.3.1.1. voor een verdere toelichting). Er worden twee groepen dieselvangers onderscheiden:

- **Fatty Acid Methyl of Ethyl Esters**, ook vaak aangeduid met FAME of FAEE. De varianten worden vaak aangeduid met de grondstof, gevolgd door de letters ME van Methyl Ester:
  - UCOME: Used Cooking Oil Methyl Ester;
  - SME: Soja Been Methyl Ester;
  - RME: Rapeseed Methyl Ester;
  - PME: Palm oil Methyl Ester;
- **Hydrotreated Vegetable Oil**, ofwel HVO. Dit is een zogenaamde paraffine diesel, die vaak gemaakt wordt van dezelfde grondstoffen als de eerste groep, maar een ander proces kent.

Deze dieselvangers kunnen min of meer direct in een dieselmotor in een hoge blend of pure biobrandstof gebruikt kunnen worden. Bij hoge blends zijn er in de praktijk echter flinke beperkingen vanwege de (vaak minder goede) brandstofeigenschappen en de regelgeving:

- De methyl esters worden meestal beperkt tot hooguit B20 of B30 (20% respectievelijk 30% methyl esters), afhankelijk van het motortype;
- Voor HVO is er vaak geen restrictie, maar dit varieert wel per motortype. In de praktijk werd er de laatste jaren vaak HVO30, HVO50 en HVO100 (respectievelijk 30%, 50% en 100% HVO) gebruikt.

#### 3.3.5.2. Aannames (energiedrager-specifiek)

Enkele voor de TCO relevante en energiedrager-specifieke aannames van dit schip zijn hieronder opgenomen.

Tabel 6: Aannames en kostenkennallen voor TCO referentie-vaartuig hoge-mix biobrandstoffen (HVO)

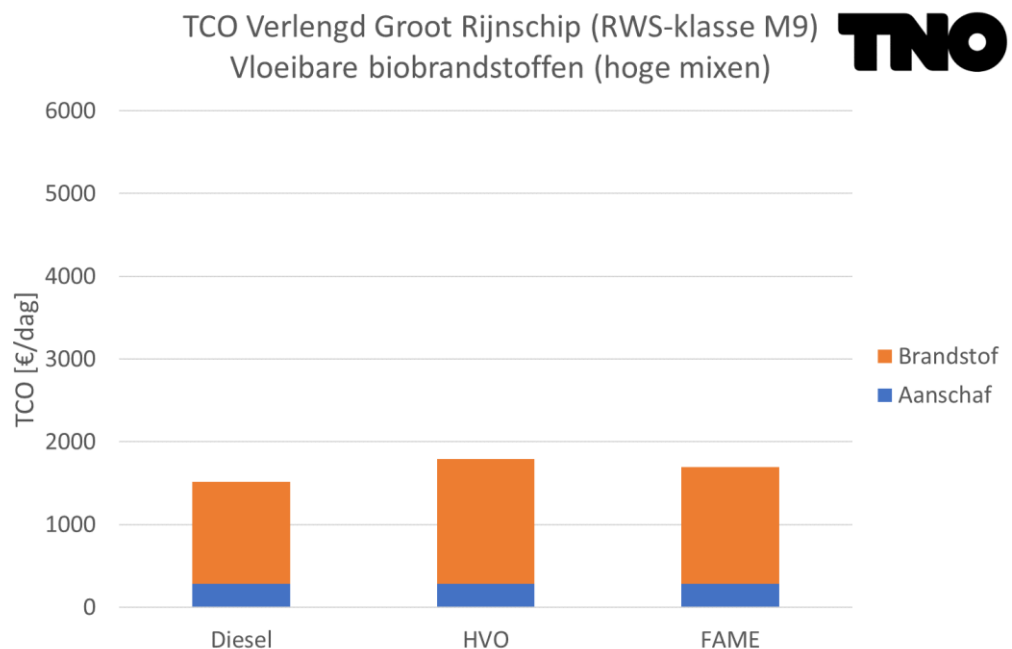
Kostensoort	Onderwerp	Kostenkennallen
Directe kosten	Aanschafprijs aandrijving vaartuig ("bare vessel")	€ 700.000
	Additionele vaartuigkosten ("opbouw/ombouw")	geen
Brandstofkosten HVO	Brandstofverbruik	85 GJ/dag, 1,94 t/dag
	Brandstofprijs	29 €/GJ, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 28 €/GJ productiekosten;</li> <li>• 1 €/GJ distributie/bunkering.</li> </ul>
Brandstofkosten FAME (uitgangspunt UCO - "used cooking oil")	Brandstofverbruik	85 GJ/dag, 2,3 t/dag
	Brandstofprijs	21-27 €/GJ, bestaande uit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20-26 €/GJ productiekosten;</li> <li>• 1 €/GJ distributie/bunkering.</li> </ul>

### 3.3.5.3. Resultaten

De TCO voor hoge-mix biobrandstoffen wordt voor het grootste deel bepaald door de brandstofprijzen. Er zijn geen verdere aanpassingen nodig aan het vaartuig. De eindgebruiker die een hoge mix of pure duurzame brandstof wil, hoeft dus over het algemeen alleen de brandstofmeerprijs (ten opzichte van diesel) te betalen plus een opslag voor extra handelingskosten en winst.

Onderstaande figuur laat zien dat hoge mix vloeibare biobrandstoffen maar beperkt duurder zijn dan diesel. Dit komt omdat de ingezette biobrandstof ook wordt aangemeld onder de verplichting van het wegtransport (HBE-waarde). De binnenvaartondernemer betaalt maar een deel van de meerkosten.

Figuur 5: TCO Verlengd Groot Rijnschip - vloeibare biobrandstof (hoge mixen)



## 3.4 Functionele specificaties

3.4.1 *Conventioneel (benzine, diesel, LPG)*

Het onderstaande overzicht bevat de gebruikelijke functionele specificaties voor een conventionele aandrijving. Dit dient als referentie voor de vergelijking met andere energiedragers.

*Tabel 7: Functionele specificaties voorbeeld-vaartuig conventioneel*

	<b>Eenheid</b>	<b>Conventioneel</b>
<b>Vaartuigtype</b>		M9
<b>Actieradius (15% margin)</b>	dagen	~20 (bij een tankinhoud van 50 ton en een verbruik van 2,4 t/dag)
<b>Laad/Vultijd</b>	Mins	Circa 1u (bij een tankinhoud van 50 ton en een vulsnelheid van 80.000 m <sup>3</sup> /h)
<b>Laadvermogen</b>	m <sup>3</sup> / tonnen	3.301-4.000 ton

### 3.4.2 *Elektrisch*

De functionele specificaties van elektrische vaartuigen (zie onderstaande tabel) brengen op dit moment de volgende beperkingen met zich mee:

- **Actieradius:** elektrische vaartuigen moeten twee keer per dag bunkeren/laden (in vergelijking met één keer per week voor diesel);
- **Laad-/vultijd:** het wisselen van accu's kost extra tijd. Er moet gerekend worden met één uur per dag tijdverlies. Ter vergelijking: tanken kost een dieselschip circa één uur per twintig dagen, bij elektrisch is dat dus circa tien keer zoveel. Bij een containerschip zou dat minder kunnen zijn als de accu-containers tegelijkertijd met de lading gewisseld kunnen worden;
- **(Ruimtelijk) laadvermogen:** een accupakket neemt snel de ruimte van drie tot vier containers in beslag. Hierdoor kan er minder getransporteerd worden. Het ruimteverlies bedraagt circa 2% tot 5% van de ladingcapaciteit.

De bovengenoemde beperkingen vertalen zich uiteindelijk in hogere operationele kosten.

Tabel 8: Functionele specificaties referentie-vaartuig elektrisch

	Eenheid	Elektrisch
<b>Vaartuigtype</b>		M9
<b>Actieradius (40-50% margin)</b>	Dagen	~0,5 (bij een accucapaciteit van circa 6 MWh en een verbruik van 10,6 MWh/dag). Marge is nodig vanwege beperkt aantal wissellocaties.
<b>Laad/Vultijd</b>	Mins	1u per dag
<b>Laadvermogen</b>	m3 / tonnen	-2 à -5% (ten opzichte van diesel)

### 3.4.3 *Waterstof*

Vergelijkbaar met elektrisch, hebben waterstof-vaartuigen ten opzichte van dieselveertuigen (nog) een aantal beperkende factoren:

- **Actieradius:** doordat waterstoftanks ten opzichte van conventionele dieseltanks duidelijk meer ruimte innemen, kan niet meer dan voor circa twee dagen varen waterstof meegenomen worden. Anders zouden de benodigde tanks te veel laadruimte in beslag nemen. De actieradius bij een volledige waterstofaandrijving zal waarschijnlijk beperkt blijven tot één à twee dagen. Mogelijk vinden de eerste toepassingen plaats met alleen een waterstof-aandrijving voor de (elektrische) hulpsystemen. De hoofdaandrijving blijft dan nog diesel;
- **Laad-/vultijd:** het tijdverlies als gevolg van waterstof bunkeren valt mogelijk mee en hangt af van de vulstandaard (vulsnelheden, druk, etc.). Op dit moment is er nog geen sprake van standaardisatie. In termen van drukniveau is alles mogelijk (350 bar, 500 bar of 700 bar). Ook vloeibare (cryogene) waterstof wordt nog als optie gezien. Op het bunkersysteem worden de volgende opties gehanteerd: a) vullen met een slang of b) vullen met een verwisselbare H<sub>2</sub>-container;

- **(Ruimtelijk) laadvermogen:** de waterstoftanks nemen extra ruimte in beslag. Het verlies aan laadvermogen (ten opzichte van diesel) wordt geschat op 1% tot 3%.

Tabel 9: Functionele specificaties referentie-vaartuig waterstof

	Eenheid	Waterstof
<b>Vaartuigtype</b>		M9
<b>Actieradius (15% margin)</b>	Dagen	1-2 (bij een tankinhoud van 1,5 ton en een verbruik van 0,8 t/dag)
<b>Laad/Vultijd</b>	Mins	vergelijkbaar met diesel
<b>Laadvermogen</b>	m3 / tonnen	-1 à -3% (ten opzichte van diesel)

Brandstofcellen voor de binnenvaart zijn nog in ontwikkeling. Hierdoor zijn de specificaties van binnenvaartschepen met brandstofcel moeilijk te vergelijken met schepen die varen op andere energiedragers. Brandstofcellen zijn momenteel (nog) zeer duur, en mogelijk minder betrouwbaar.

#### 3.4.4 Gasvormig

De functionele specificaties voor LNG-vaartuigen zijn (zie ook onderstaande tabel):

- **Actieradius:** het is belangrijk dat de schepen veel gebruikt worden, zodat de LNG-brandstoftank elke één tot twee weken opnieuw gevuld kan worden. Als dat niet wordt gedaan, dan wordt de tank te warm en zal er op den duur een ophoping van hogere koolwaterstoffen ontstaan. Deze moet dan apart verwijderd worden. De bunkerfrequentie is circa 50% hoger dan voor dieselveertuigen. Dit vertaalt zich in tijdverlies en dus ook minder transport. Bij gebruik van bio-LNG zal dit risico kleiner zijn, omdat bio-LNG over het algemeen een lager aandeel zwaardere koolwaterstoffen bevat;
- **Laad-/vultijd:** vergelijkbaar met diesel;
- **(Ruimtelijk) laadvermogen:** vergelijkbaar met diesel.

Andere relevante factoren zijn:

- Een grotere complexiteit: de complexiteit van varen op LNG is groter dan varen op diesel, vanwege de cryogene LNG-opslag en de dual-fuel motoren. Dit leidt ook tot een meerprijs van circa € 1 miljoen op de aandrijflijn en brandstofopslag;
- Hogere methaanemissies: de gebruikte motortechniek (dual-fuel met gastoevoer in het "manifold") heeft als voordeel dat er geen aparte NO<sub>x</sub>-nabehandeling nodig is om de Stage V emissie-eisen te halen. Het leidt wel tot hoge(re) methaanemissies, waardoor er qua broeikasgasemissies geen voordeel is ten opzichte van dieselmotoren.

Tabel 10: Functionele specificaties referentie-vaartuig gasvormig

	Eenheid	LNG
<b>Vaartuigtype</b>		M9
<b>Actieradius (15% margin)</b>	dagen	9 (bij een tankinhoud van 21 ton en een verbruik van 2 t/dag)
<b>Laad/Vultijd</b>	Mins	vergelijkbaar met diesel
<b>Laadvermogen</b>	m3 / tonnen	vergelijkbaar met diesel

### 3.4.5 Vloeibare biobrandstoffen (hoge mixen)

De functionele specificaties van FAME en HVO zijn vergelijkbaar met die van diesel. Varen op hoge mixen vloeibare biobrandstoffen kent dus nauwelijks operationele beperkingen of afwijkingen ten opzichte van diesel (zie onderstaande tabel).

Tabel 11: Functionele specificaties referentie-vaartuig hoge-mix biobrandstoffen

	Eenheid	Biodiesel
<b>Vaartuigtype</b>		M9
<b>Actieradius (15% margin)</b>	dagen	20 (bij een tankinhoud van 50 ton en een verbruik van 2 t/dag)
<b>Laad/Vultijd</b>	Mins	vergelijkbaar met diesel
<b>Laadvermogen</b>	m3 / tonnen	vergelijkbaar met diesel

Bij FAME zijn er wel wat extra technische risico's waar rekening mee gehouden moet worden, met name rondom de opslag van de brandstof. FAME trekt vocht aan. Dit kan tot enkele problemen leiden, zoals filterverstopping door deeltjesvorming, bacterie- of schimmelgroei, waterophoping of corrosie. Door hier bewust mee om te gaan, goed onderhoud te plegen, extra filters en/of frequenter vervangen van filters, kunnen de meeste problemen vermoedelijk worden voorkomen. Hier wordt momenteel onderzoek naar gedaan door onder andere TNO en EICB.

## 3.5 Conclusie

Een belangrijke opmerking vooraf is dat de markt van binnenvaartschepen significant afwijkt van het wegvervoer, omdat (binnenvaart-)schepen doorgaans tientallen jaren actief in bedrijf zijn. Hieronder volgt een verdere uitwerking van de conclusie.

### Beschikbaarheid

Bijna alle binnenvaartschepen varen momenteel op diesel. Alle denkbare binnenvaartschepen worden dus met dieselmotoren geleverd. Voor de duurzame varianten geldt dat:

- (Batterij-)elektrische binnenvaartschepen zich in de onderzoeksfase bevinden, maar wel met concrete plannen voor marktintroductie. Batterij-elektrische schepen zijn nog niet zomaar beschikbaar. Ook de tank- en laadinfrastructuur moeten nog verder worden ontwikkeld;
- Waterstof-binnenvaartschepen zich nog echt in de onderzoeksfase bevinden;
- Momenteel meerdere motorleveranciers LNG-motoren aanbieden. Daardoor zijn LNG-binnenvaartschepen nieuwbouw te bestellen of conventionele binnenvaartschepen om te bouwen tot LNG-schip;

- Vloeibare biobrandstoffen vaak door motorleveranciers toegelaten worden, waardoor HVO en FAME in hoge en lage mixen te gebruiken zijn in conventionele binnenvaartschepen. Het aandeel hernieuwbare energie (biobrandstoffen, groene elektriciteit, etc.) in binnenvaartschepen is niet bekend, omdat er geen aparte monitoringsverplichting voor bestaat. De Nederlandse emissieautoriteit kan hierdoor geen exacte uitsplitsing maken van de toepassing van hernieuwbare energie in verschillende modaliteiten, noch binnen de modaliteiten.

### *Betaalbaarheid*

De betaalbaarheid (zoals beschreven in hoofdstuk 1) is bepaald op basis van de TCO. Als referentie is een dieselveertuig gekozen. De TCO daarvan is vergeleken met de TCO van vaartuigen die op duurzame brandstoffen varen. Dit leidt tot de volgende conclusies:

- De TCO van batterij-elektrische binnenvaartschepen is (nog) aanzienlijk hoger dan die van een vergelijkbaar diesel-binnenvaartschip. Dit komt door de hogere kosten van accu-containers en het dagelijks laden en wisselen van dergelijke containers. Deze kosten zullen bij opschaling naar verwachting wel duidelijk afnemen;
- De TCO van waterstof-binnenvaartschepen is (nog) iets hoger dan die van batterij-elektrisch en (nog) aanzienlijk hoger dan voor een vergelijkbaar diesel-binnenvaartschip. Dit wordt veroorzaakt door de hoge kosten van brandstofcellen en waterstoftanks. Ook de kosten van waterstof zelf zijn momenteel nog hoog. Wel zullen deze kosten waarschijnlijk richting 2030 gaan dalen;
- De TCO van binnenvaartschepen op LNG is iets lager dan die van het referentieschip op diesel. De aanschafkosten zijn weliswaar hoger, maar de fossiele LNG is relatief goedkoop. Bio-LNG is momenteel kostbaar, waardoor de TCO voor bio-LNG veel hoger uitvalt dan voor diesel. Die kosten zullen meer op een lijn komen met die van biodiesel als bio-LNG aangemeld wordt onder de RED-verplichting van wegtransport;
- De TCO van schepen op HVO en FAME is respectievelijk iets hoger (HVO) en beperkt hoger (FAME) dan die van het referentieschip op diesel.

### *Actieradius*

Voor het diesel-referentieschip geldt dat het schip circa twintig dagen kan varen. De duurzame varianten wijken hiervan als volgt af:

- Elektrische vaartuigen moeten minimaal één maal per dag "bunkeren" (MEC (accu-containers) wisselen);
- Waterstof-binnenvaartschepen kunnen één tot twee dagen varen op één tankvulling (uiteraard sterk afhankelijk van de tankinhoud);
- LNG-binnenvaartschepen kunnen zes tot negen dagen varen op één tankvulling;
- Schepen op FAME of HVO kunnen net als diesel circa twintig dagen varen op een tankvulling.

*Laad-/vulsnelheid*

Voor een diesel referentieschip geldt dat het schip circa één à twee uur moet tanken om twintig dagen te kunnen varen. De duurzame varianten wijken hiervan als volgt af:

- Elektrische binnenvaartschepen moeten momenteel nog circa één uur per dag laden/bunkeren;
- Voor waterstof-binnenvaartschepen is de vulsnelheid één à twee uur per tankvulling, waarmee circa twee dagen gevaren kan worden;
- Voor gasvormige brandstoffen en vloeibare biobrandstoffen zijn de vultijden vergelijkbaar met diesel.

*Laadvermogen*

Ten opzichte van de laadcapaciteit van een diesel-referentieschip wijken de duurzame varianten als volgt af:

- Een batterij-elektrisch schip verliest minimaal drie tot vier containers laadruimte door de ruimte die de MEC's (accu-containers) innemen;
- Door de opslag van waterstof gaat 1% tot 3% laadruimte verloren;
- Voor gasvormige brandstoffen en vloeibare biobrandstoffen geldt dat de laadruimte vergelijkbaar is met diesel.

Op hoofdlijnen kan gesteld worden dat de vloeibare brandstoffen HVO en FAME relatief makkelijk en snel ingezet kunnen worden in de bestaande vloot, zonder dat daardoor belangrijke functionele specificaties van de binnenvaartschepen wijzigen. Wel zal dit met de motorleverancier afgestemd moeten worden.

Ook gasvormig brandstoffen kunnen ingezet worden, waarbij de biovariant (bio-LNG) wel duurder is. Uiteraard moet de motor geschikt zijn voor een gasvormige brandstof. Voor bestaande schepen vraagt dit om vervanging van de motor.

Voor batterij-elektrisch en waterstof geldt momenteel (nog) dat de kosten relatief hoog zijn en dat de actieradius en vul-/laadinfrastructuur beperkingen kent. Verder leidt vooral batterij-elektrisch varen tot extra operationele kosten, doordat vervanging van accu-containers relatief veel tijd kost. Ook wordt bij batterij-elektrische en waterstof-aandrijflijnen een (beperkte) laadruimte ingeleverd. Batterij-elektrisch en waterstof schepen zijn echter nog in de ontwikkelingsfase en zullen naar verwachting de komende jaren op alle vlakken dichter naar diesel toe bewegen.

### 3.6 Beleidsadvisering<sup>16</sup>

De dominante marktpositie van Nederland in de Europese binnenvaart geeft de mogelijkheid om meer sturend te zijn. Voordeel is dat de beschikbaarheid en functionaliteiten van binnenvaartschepen die op biobrandstoffen varen vergelijkbaar zijn ten opzichte van diesel. De betaalbaarheid blijft echter achter door de hogere brandstofprijzen. Door de krachten van de maritieme sector en de Nederlandse (petro-)chemische industrie te bundelen, kan de overheid een impuls geven aan de

<sup>16</sup> Deze beleidsadvisering is onder verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat opgesteld.



ontwikkeling en opschaling van biobrandstoffen. Daarmee zullen de prijzen omlaag gaan en concurrerend worden met diesel.

De steun van de overheid zal dan meer verschuiven van het gebruik (in de binnenvaart) naar de productie van de energiedragers. Bijkomend voordeel is dat deze voor meerdere (zwaardere) toepassingen in de mobiliteit kunnen worden ingezet. Daarnaast kan de kennis die wordt verkregen met de inzet van biobrandstoffen worden benut bij de ontwikkeling van synthetische, klimaatneutrale brandstoffen.

De overheid kan de ontwikkeling van elektrische- en waterstofscheperen, die nog in de onderzoeks- en marktintroductiefase zitten, ondersteunen om tot wasdom te komen. Het is echter nog te vroeg om binnen het mogelijke ondersteuningsinstrumentarium meer revolverende<sup>17</sup> instrumenten in te zetten.

De huidige onderzoeken (ten behoeve van zwaar transport wegverkeer) op het gebied van ultra-schone verbrandingsmotoren in combinatie met klimaat-neutrale brandstoffen (zoals groene waterstof) kunnen ook interessant zijn voor de binnenvaart. Inzet van gasvormige waterstof leidt wel tot een kortere vaartijd per tankvulling. Wellicht kan vloeibare waterstof hier de oplossing zijn, omdat het zogenaamde boil-off effect bij binnenvaart nauwelijks zal spelen (scheperen varen continu en liggen zelden in een overdekte stalling).

Op dit moment is het niet mogelijk om te zien of het aandeel hernieuwbare energie in binnenvaartscheperen groeit of daalt. Geadviseerd wordt om onderzoek te doen naar een aparte monitoringsverplichting voor de hoeveelheid ingezette hernieuwbare energie binnen en tussen de modaliteiten.

---

<sup>17</sup> "Revolverend" betekent dat in ieder geval een deel van de gelden die worden weggezet weer terugvloeit in een fonds.

## 4 Referenties

[Abma, 2019a] Dick Abma, Bilim Atli-Veltin, Ruud Verbeek. Feasibility study for a zero emission, battery-electric powertrain for the Gouwenaar II. TNO report 2019 R10456. 28 March 2019

[Abma, 2019b] Dick Abma, Bilim Atli-Veltin, Ruud Verbeek, Rogier van der Groep. Feasibility study for a zero emission, hydrogen fuel cell powertrain for the Gouwenaar II. TNO report 2019 R10453. 28 March 2019

[EICB, 2019] Bilaterale communicatie met EICB, 2019

[Pitpoint, 2020] Prijshistorie-LNG, PitPoint, 2020  
[<https://www.pitpointcleanfuels.com/app/uploads/2020/02/Prijshistorie-LNG.pdf>]

[Portliner, 2020] Technology, 2020 [<https://www.portliner.nl/technology>]

[RR-SBM, 2020] Routeradar Straatbeeldmonitor, Rijkswaterstaat, 2020

[Verbeek, 2020]: Power-2-Fuel Cost Analysis. Ruud Verbeek, Maarten Verbeek, Robert de Kler, Karin van Kranenburg, Richard Smokers. Smart Port. TNO project nr. 060.42496, 2020