

Toekomst duurzame Binnenvaart



Expertise- en
InnovatieCentrum
Binnenvaart

EICB

TNO
innovation
for life

Versie 1 april 2021

Samenvatting en conclusies

Aanpak



VRAAG 1

Welke brandstof,
technieken, wanneer?



VRAAG 2

Maatschappelijke
effecten: emissies en
bedrijfseconomische
kosten



Onderzoeksvragen verduurzaming binnenvaart

Vraag 1: welke brandstof, technieken en wanneer?

- a) Wat zijn de beschikbare brandstoffen/energiedragers die bijdragen aan verduurzaming binnenvaart?
- b) Wat zijn daarbij de mogelijkheden van elektrificatie? En welke inzet van nieuwe energieconcepten is denkbaar?
- c) Vanaf wanneer zijn de brandstoffen/energiedragers en andere energieconcepten te verwachten?

Vraag 2: wat zijn maatschappelijke effecten: emissies en bedrijfseconomische kosten?

Wat zijn de maatschappelijke effecten: emissies, bedrijfsmatige effecten voor schippers/rederijen en de financiële bedrijfsvoering?

NB: We richten ons vooral op de betekenis voor de Nederlandse vloot voor vrachtvervoer en passagiersvaart. Er is daarnaast ook een doorkijk opgenomen voor de situatie in Europa. De doorkijk is gebaseerd op onderzoek dat parallel is uitgevoerd voor de Centrale Rijnvaart Commissie waarbij veel van de aannames onderling zijn afgestemd omtrent technieken en prijzen.



Onderzoeksaanpak

1. **Longlist samenstellen:** op basis van desk research vergroeningstechnieken in kaart brengen die passen in de roadmap richting zero-emissie in 2050 + karakteristieken en kosten van de technieken
2. **Shortlist maken** op basis van multi-criteria analyse
3. **Case studie interviews** → informatie ophalen over de schepen/vaarprofielen (type schip, verbruik, vermogen, etc.) die in de case studies worden gebruikt. Interviewees vragen naar hun visie m.b.t. de technieken uit de shortlist.
4. **Vergelijkend overzicht van oplossingen** voor een aantal case studies en de economische effecten.
5. **Extrapolatie**

Longlist technieken/brandstoffen voor transitie zero-emissie

De longlist aan vergroeningstechnieken bevat de technieken en brandstoffen die passen in het transitiepad naar een (nabij) zero-emissie binnenvaart in 2050. De longlist is primair opgedeeld in twee categorieën; schone verbrandingsmotoren en elektrificatie.

Uitgangspunt is Tank-to-Propellor, met IPCC methodiek voor bio-fuels, e-fuels, elektriciteit m.b.t. CO₂ uitstoot binnenvaart.

Hybride combinaties	Schone verbrandingsmotoren	Motoren	NRMM Stage V IWP, IWA	
			NRMM Stage V NRE	
			EURO VI	
			SCR & DPF retrofit	
		Brandstoffen	BioDiesel (FAME, HVO)	E-diesel
			BioMethaan (Bio-LNG)	E-methaan
			BioMethanol	E-methanol
			Blauwe waterstof (H ₂), gas of vloeibaar	E-H ₂ (groene waterstof), gas of vloeibaar
			Blauwe ammoniak (NH ₃)	E-ammoniak
	Elektrificatie	Batterij varen	Lithium Ion NMC techniek	
			Lithium LiFePO ₄ techniek	
			Flow batteries	
		Brandstofcel (fuel cell)	PEM FC (automotive)	
		Energiedragers voor brandstofcel	Blauwe ammoniak (NH ₃)	E-ammoniak
			Blauwe waterstof (H ₂), gas of vloeibaar	E-waterstof (groene waterstof), gas of vloeibaar
			BioMethanol	E-methanol



Longlist energie conversie technieken/brandstoffen

Belangrijkste motor en fuel cell opties per brandstoftype

Er is geen of nauwelijks verschil tussen fossiele, bio of E-route per type brandstof (voor de toepasbaarheid aan boord). Voor Fuel Cell is wel de mate van zuiverheid van de waterstof van belang.

	Motortechniek	Fuel cell systeem
Biodiesel: HVO, FAME	DI-diesel	(reformer + fuel cell)
Methaan (bio-LNG)	Dual-fuel met diesel (pilot) Single fuel - vonkonsteking	(reformer + fuel cell)
Methanol	Dual-fuel met diesel (pilot) Singel fuel - vonkonsteking Diesel-cycle + ignition improver Diesel-cycle + DME ontbranding*	Reformer + fuel cell Direct methanol fuel cell
Waterstof	Dual-fuel met diesel (pilot) Single fuel – vonkonsteking	PEM FC Solid Oxide of Alkaline FC
Ammoniak	Dual-fuel met H ₂ -ontbranding* Dual-fuel met diesel (pilot)	Reformer + fuel cell Direct ammonia fuel cell

* Onboard DME
of H₂ processing



Technieken/brandstoffen - buiten scope

Dimethylether (DME) C_2H_6O

Productie sterk verwant met methanol, zowel via bio-route als E-fuel. Verbrandt als dieselbrandstof hetgeen een voordeel kan zijn, maar opslag aan boord is iets minder efficiënt. TRL level aandrijflijn iets lager dan voor methanol

LOHC : Liquid organic Hydrogen Carriers

Feitelijk een brede groep chemische verbindingen welke als H_2 drager fungeren bij atmosferische druk. Voorbeelden zijn tolene-cyclohexane, dibenzyltoluene, mierzuur (CH_2O_2) en ook $NaBH_4$. Deze groep is niet meegenomen, omdat de energie-inhoud aanzienlijk lager ligt dan die van methanol en NH_3 welke feitelijk ook hydrogen carriers zijn. Daarnaast vereisen de LOHC een chemische reactor aan boord van het schip, waarvan de techniek nog in de kinderschoenen staat.

(Bio) LPG

bio-LPG wordt maar heel beperkt aangeboden. Daarnaast is het als brandstof minder goed dan methanol en bio-methaan.

BioEthanol

Goede biobrandstof, met name voor Otto-motoren. Kan ook in diesel, door gebruik te maken van een blend met 'ignition improver'. Ethanol is een ideale mengbrandstof voor benzine voor personenauto's. Waarschijnlijk beter om het daarvoor voorlopig te reserveren.

Direct Fuel cells voor methanol en ammoniak (zonder reformer)

Door de eigenschappen vooral geschikt voor lage vermogens (1-5 kW). Rendement ook vrij laag: 30-40%. Daardoor niet geschikt voor scheepsaandrijving. Op lange termijn zouden grote units ontwikkeld kunnen worden, welke opereren op hoge druk en hoge temperatuur. Voor zover bekend, is zo'n ontwikkeling nog niet echt in gang gezet.

Criteria Longlist naar Shortlist voor beleid



Technische haalbaarheid (2020-2040):

- TRL aandrijflijn
- TRL brandstof/energie productie
- Ruimtebeslag aan boord
- Inpasbaarheid aan de wal
- Wet- en regelgeving
- Veiligheid

Bijdrage aan klimaat en milieu:

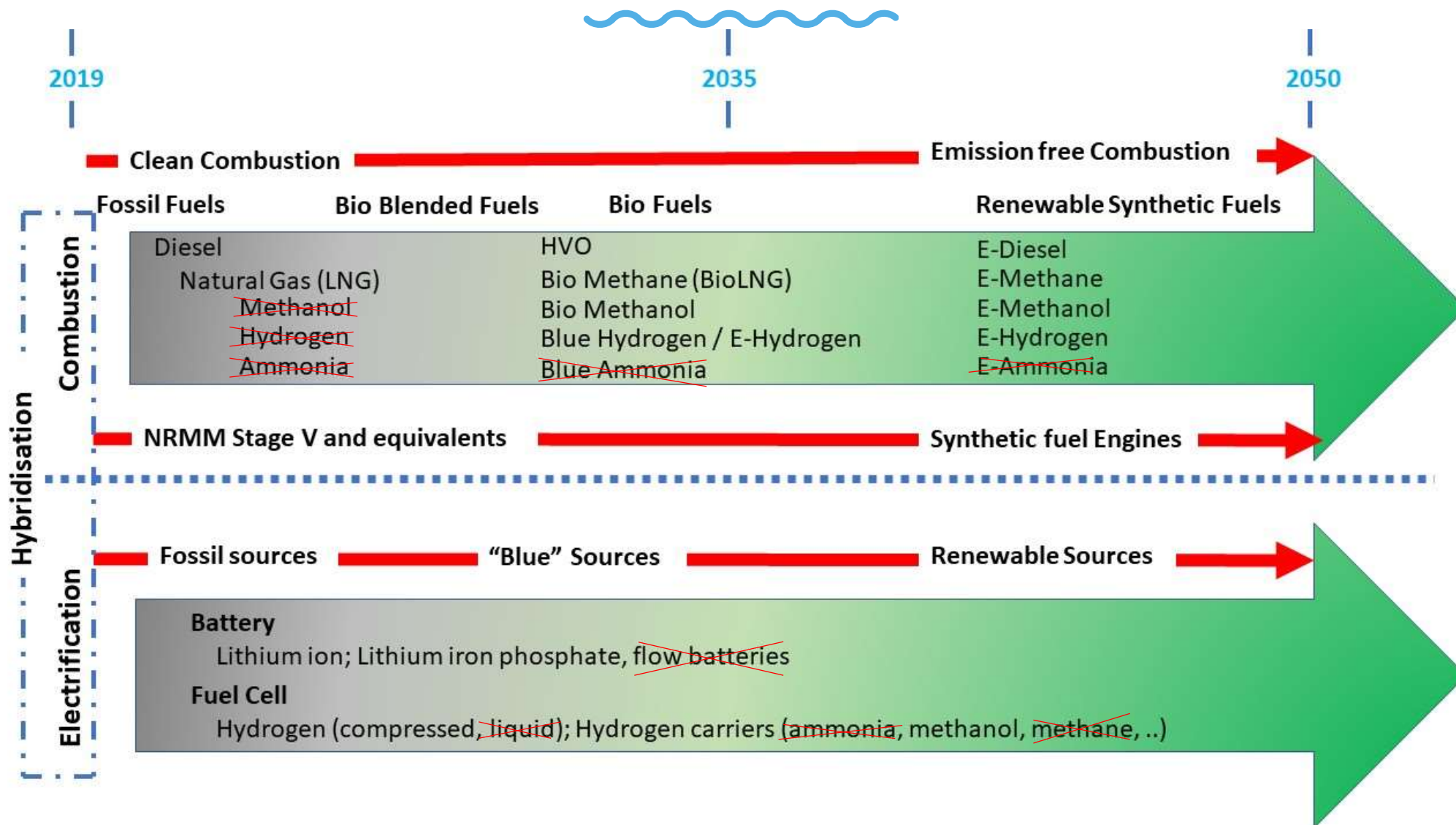
- Fijnstofemissies
- Stikstofemissies
- Klimaatemissies

Economische haalbaarheid schip en walinfrastructuur (2020-2040):

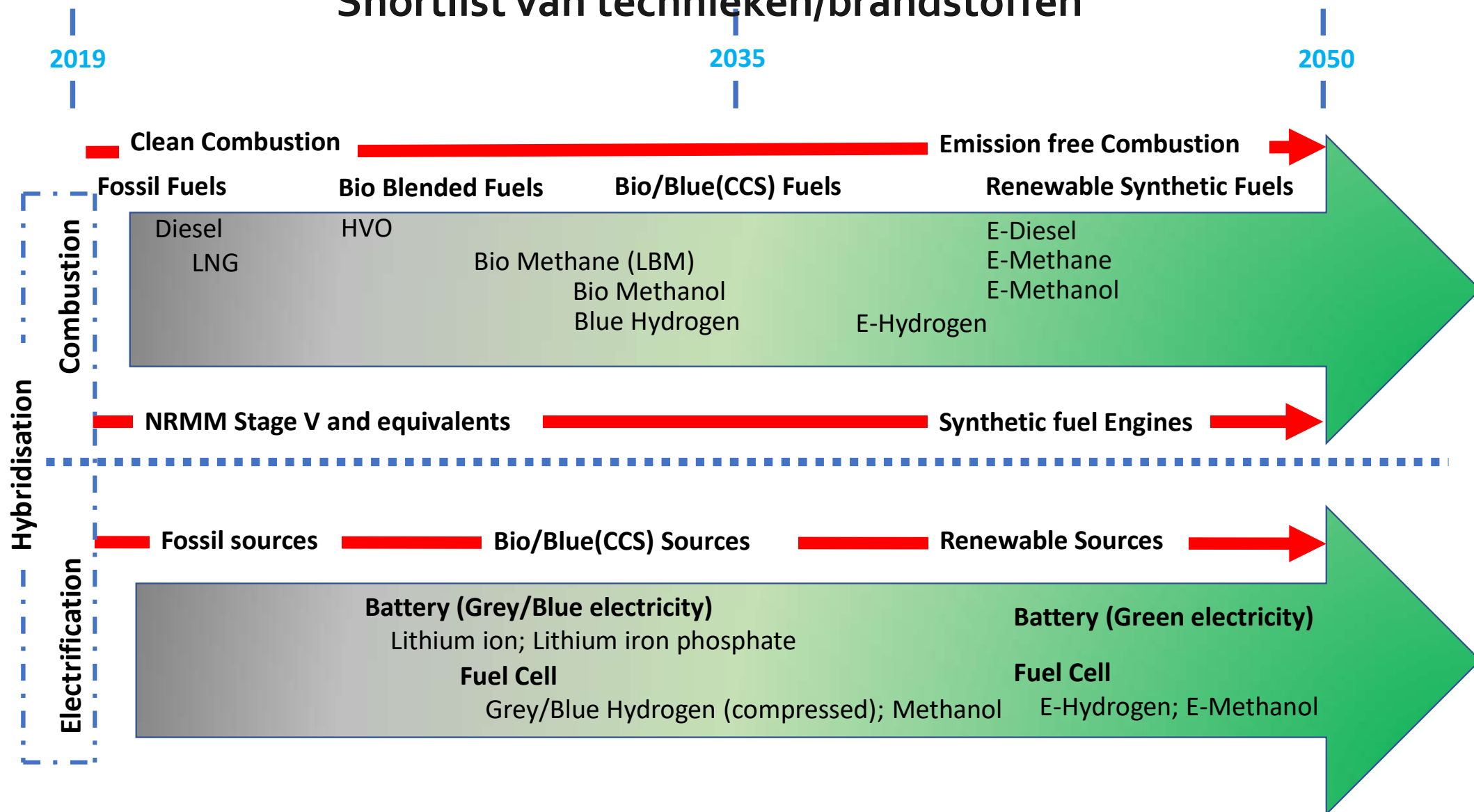
- Capex
- Opex
- Overige kosten en opbrengsten (tijdsverlies bunkeren, ladingverlies, inzet batterijcontainers voor grid stabilisatie, etc.)

Synergie effecten en werkgelegenheid in de regio

Longlist van technieken/brandstoffen



Shortlist van technieken/brandstoffen



Shortlist

Op basis van de gepresenteerde criteria (technische en economische haalbaarheid, bijdrage klimaat en milieu) en gegeven de huidige beschikbare informatie is er toegewerkt naar een shortlist. De shortlist bestaat uit de onderstaande technieken en brandstoffen:

Hybride combinaties	Schone verbrandingsmotoren	Motoren	NRMM Stage V IWP, IWA
			NRMM Stage V NRE
			EURO VI
			SCR & DPF retrofit
	Brandstoffen		BioDiesel (FAME, HVO)
			BioMethaan (Bio-LNG)
			BioMethanol
			E-H ₂ (groene waterstof), gas onder druk in containers
	Elektrificatie	Batterij varen	Lithium Ion NMC techniek in containers
		Brandstofcel (fuel cell)	PEM FC (automotive)
		Energiedragers voor brandstofcel	E-waterstof (groene waterstof), gas onder druk (500bar) in containers
			BioMethanol

Notitie: De blauwe varianten, zoals blauwe waterstof, staan niet in het overzicht vermeld. Maar deze blauwe varianten kunnen in de initiële fase van het EICB transitiepad wel een belangrijke rol spelen.



Shortlist

De belangrijkste redenen waarom de onderstaande technieken op dit moment niet worden meegenomen in de shortlist zijn als volgt:

- **E-fuels** (op E-H₂/groene waterstof na) → De productie van e-fuels is nog erg beperkt. Verder ligt de prijs van e-fuels significant hoger dan de bio varianten. Er is enkel een rol weggelegd voor e-fuels, zoals e-diesel, wanneer het aanbod van de bio varianten niet kan voldoen aan de vraag.
- **Ammoniak** → de toepassing van ammoniak (blauw en groen) in de binnenvaart wordt gezien als een no-go vanuit een veiligheidsperspectief. Verder staat de techniek nog erg in de kinderschoenen.
- **Lithium LiFePO₄** → Lithium Ion NMC batterijen hebben qua ontwikkeling, productie en toepassing reeds een groter aandeel in de transport- en mobiliteitssector t.o.v. de alternatieve varianten zoals LiFePO₄. Het aanbod van Lithium Ion batterijen in de binnenvaart ligt daarom meer voor de hand en er is meer over bekend.
- **Flow batteries** → Het TRL niveau van flow batteries ligt relatief laag. Er bestaan juridische barrières. Verder lijkt de techniek meer geschikt voor stationaire toepassingen en zijn er t.o.v. de overige technieken in de shortlist nog geen pilots bekend in de scheepvaart.
- **Blauwe waterstof** → De shortlist gaat uit van groene waterstof i.p.v. de blauwe variant, omdat dit beter past in het transitie pad richting 2050. CCS techniek en toepassing is daarbij onvoldoende zeker.



Shortlist – Uitgangspunten batterijen

- Wat betreft batterijen (Lithium Ion NMC) en groene waterstof, wordt in de shortlist uitgegaan van een gecontaineriseerde opslag aan boord van schepen.
- Een gecontaineriseerde opslag i.c.m. innovatieve vormen van financiering (pay-per-use/energy-as-a-service) maken de toepassing van deze technieken/brandstoffen economisch eerder haalbaar. Energiecontainers kunnen breder worden ingezet, zoals ook op bouwlocaties of bij evenementen.
- De business case voor uitwisselbare systemen is met name kansrijk voor batterij containers. Deze containers kunnen tevens ingezet worden voor stabilisatie van het elektriciteitsnetwerk en zodoende extra inkomsten genereren. Dit kan de totale kosten drukken voor inzet van deze systemen in de binnenvaart.
- Modulaire energie concepten zijn ook in lijn met bestaande initiatieven (ZES / R2HINE / KOTUG e-pusher).



Shortlist – Case studies

- De gepresenteerde shortlist is geen statische lijst! Onzekerheden zijn groot en afhankelijk van overheidsbeleid. Het is dus nodig de ontwikkelingen te volgen en de studie te actualiseren en beleid te herijken. Dit geldt met name voor waterstof, waar mogelijk doorbraken ontstaan zodra veel subsidiegeld is geïnvesteerd in de opbouw van een Europese waterstof economie. Er is daarbij nog veel onzekerheid over de betaalbaarheid in relatie tot andere alternatieven en de meest effectieve vorm van waterstof aan boord voor de binnenvaart.
- De technieken en brandstoffen die op de shortlist staan zijn binnen 8 case studies getoetst op basis van de huidige verwachtingen en inzichten. Deze case studies betreffen transportstromen en routes die representatief en relevant zijn voor de Provincie Zuid-Holland.
- Aan de hand van de schepen en vaarprofielen binnen de case studies is geanalyseerd welke technieken/brandstoffen geschikt zijn voor een toepassing aan boord van het schip en is geschat wat de kosten zijn. De kosten zijn opgedeeld in kapitaalkosten (rente, afschrijving), operationele kosten (energie/brandstof, onderhoud) en overige kosten (vb. verlies van omzet door lading en tijd).
- De resultaten van de case studies zijn samengevat in vertrouwelijke rapporten die met betreffende bedrijven zijn besproken en afgestemd. De bijlagen van dit document bevatten factsheets voor de technieken en brandstoffen uit de longlist.

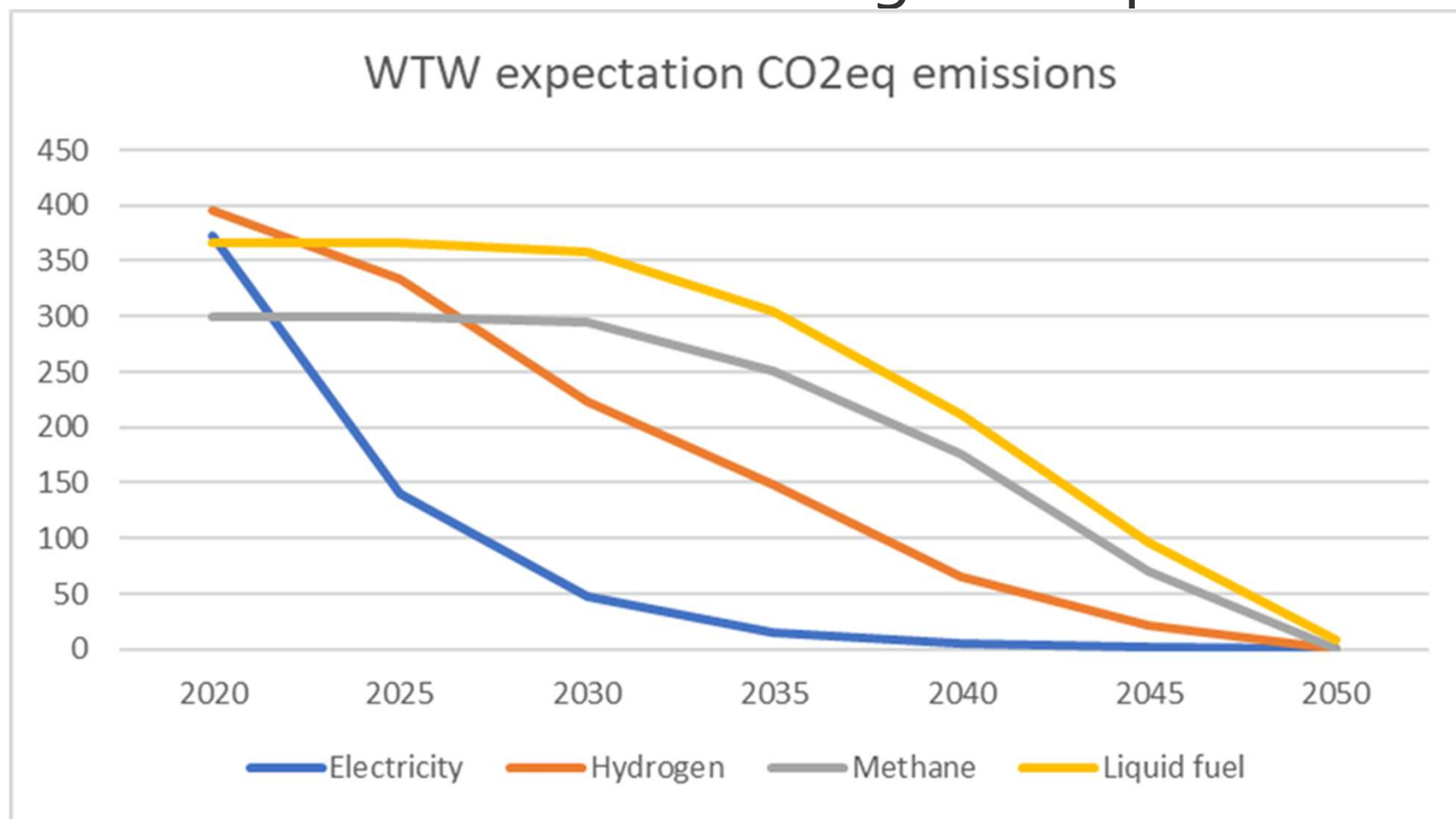
Verwachte ontwikkeling CO₂eq emissies

Fuel/energy	Method	Unit	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Electricity	TTW	gCO ₂ eq/kWh _{el}	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydrogen	TTW	gCO ₂ eq/kWh _{H₂}	0	0	0	0	0	0	0	0
LNG	TTW	gCO ₂ eq/kWh _{CH₄}	237	237	237	230	194	135	54	0
Liquid fuel	TTW	gCO ₂ eq/kWh _{th}	266	266	266	258	218	151	71	10
Electricity	WTW	gCO ₂ eq/kWh _{el}	513	373	140	47	15	6	2	0
Hydrogen	WTW	gCO ₂ eq/kWh _{H₂}	389	395	334	223	148	65	21	0
LNG	WTW*	gCO ₂ eq/kWh _{CH₄}	300	300	300	294	251	176	71	0
Liquid fuel	WTW	gCO ₂ eq/kWh _{th}	368	366	366	358	305	211	96	8

Tabel: Global Transportation Demand Development with Impacts on the Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions in a Climate-Constrained World, 2019 [Khalili et al.]

* Including methane slip emissions engine (100 year GWP)

Verwachte ontwikkeling CO₂eq emissies



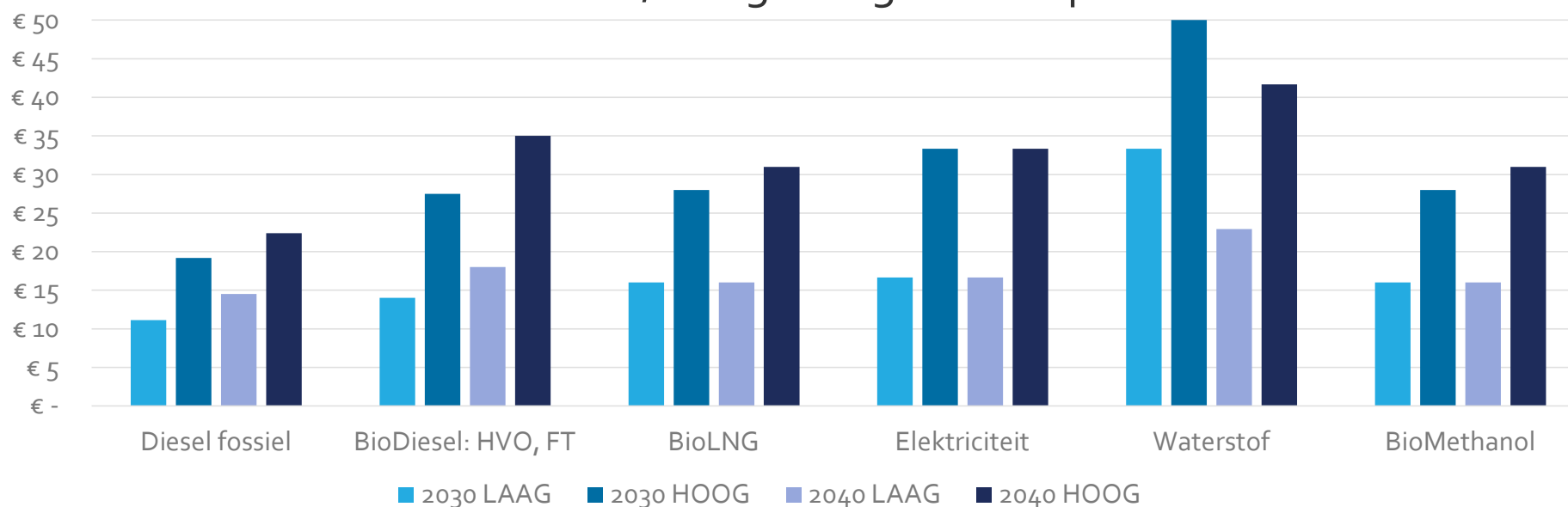


Conclusies m.b.t. prestatie klimaat emissies (CO₂ equivalent)

- Inzet batterijen gevoed vanuit het elektriciteitsnetwerk levert op korte en lange termijn de grootste CO₂ besparing
- Er is beperkte beschikbaarheid van groene waterstof tot 2030, waarbij het produceren van groene waterstof veel energie kost.
- Er is goede korte termijn beschikbaarheid van methaan (Bio)LNG en (Bio)diesel, ook in categorie 'Advanced' (RED2, Annex IX lijst A) grondstoffen.
- De methaanemissie kan op korte termijn niet volledig worden geëlimineerd in de binnenvaart, nieuwe motortechniek is nodig. Het CO₂ effect van LNG is beperkt tot 10% reductie t.o.v. fossiel diesel (single fuel motoren). Inzet van methaan (Bio)LNG is iets gunstiger dan (Bio)diesel voor de klimaat emissies.
- Op langere termijn zijn alle brandstoffen en energievormen CO₂ neutraal door gebruik van groene elektriciteit (wind, water, zonne energie) en productie op basis van duurzame feedstocks / grondstoffen.

Uitgangspunten case studie berekeningen – prijsscenario's

Brandstoffen/energiedragers euro per GJ



Scenario	Diesel	BioDiesel/HVO	BioLNG	Elektriciteit	Groene Waterstof	BioMethanol
2020-2030 laag	€ 11,11	€ 14,03	€ 16,00	€ 16,67	€ 33,33	€ 16,00
2020-2030 hoog	€ 19,17	€ 27,50	€ 28,00	€ 33,33	€ 50,00	€ 28,00
2030-2040 laag	€ 14,51	€ 18,00	€ 16,00	€ 16,67	€ 22,92	€ 16,00
2030-2040 hoog	€ 22,41	€ 35,00	€ 31,00	€ 33,33	€ 41,67	€ 31,00



Uitgangspunten – prijsscenario's hardware (motoren, opslag aan boord)

Kosten per techniek	Euro per kW
CCR 2 motor	250
Stage V / Euro VI motor diesel	375
Stage V / Euro VI motor waterstof	550-550
Stage V / Euro VI methanol aandrijflijn (kosten motor incl. tank)	600-650
Stage V / Euro V LNG aandrijflijn (kosten motor incl. tank)	1100-1400
Elektrische aandrijving installatiekosten (elektromotoren en aansturing/interface)	420-580
Fuel cell	2030 laag-hoog: 1500 – 2500 euro per kW 2040 laag-hoog: 1000 – 2000 euro per kW
Overige kosten	
H2 opslag container	2030 laag-hoog : 800 – 1000 euro per kg 2040 laag-hoog: 528 – 800 euro per kg
Energie inhoud batterij container (ISO-20 voet)	3 MWh in 2030, 5 MWh in 2040
Pay-per-use batterij container	16 cent per kWh (laag), 21 cent per kWh (hoog) bij 2 keer wisselen per dag Bij meer containers aan boord: 2030 laag- hoog: 175 -349 euro per dag per container (3 MWh, ISO-20 ft) 2040 laag-hoog: 145-365 euro per dag per container (5 MWh, ISO-20 ft)

Opmerking: Voor H2 en batterijen is uitgegaan van opslag in uitwisselbare containers. Dit is in lijn met de huidige projecten (R2HINE en ZES) en maakt het mogelijk om energy-as-a-service als financieringsinstrument toe te passen. Dit is een optie om de significant hoge CAPEX voor brandstof/energieopslag voor H2 en elektriciteit omlaag te brengen. Voor de overige technieken/brandstoffen zijn de capex voor brandstof/energieopslag niet dermate hoog dat er een behoefte is voor de toepassing van energy-as-a-service instrumenten. Met LNG was hier overigens wel behoefte naar, maar bleek het juridisch niet mogelijk.

De kosten voor de LNG en methanol aandrijflijn zijn inclusief opslag (brandstoftank). Voor de dieselmotor (CCR2 en Stage V dieselmotor) is niet afzonderlijk rekening gehouden met de kosten voor opslag (brandstoftank), omdat deze verwaarloosbaar zijn.

De indicaties voor de prijzen betreffen de prijzen voor de aandrijflijn en gelden daarmee voor zowel nieuwbouw als bestaande schepen. Met bestaande schepen zullen er altijd additionele kosten zijn voor de ombouw (vb. voor het stilliggen, uitbouwen, snijden/lassen, etc.). Deze meerkosten kunnen beperkt worden wanneer het moment van ombouw samenvalt met het moment voor een grote onderhoudsbeurt.

Matrix 2020 – 2030, kostenvergelijk hoofdaandrijving schip

Case Studies	Stage V+ / Euro VI	BioDiesel Stage V+ / Euro VI	BioLNG Stage V+ / Euro VI	Batterij varen container (lage frequentie)	Batterij varen container (hoge frequentie)	H2 500b (container) FC (lage frequentie)	H2 500b (container) FC (hoge frequentie)	Bio-Methanol FC	H2 500b (container) ICE (lage frequentie)	H2 500b (container) ICE (hoge frequentie)	Bio-Methanol ICE
Case 1 Alphen-Moerdijk containervaart (90m schip/104TEU)	1,1	1,5	1,8	1,8	1,5	3,5	3,7	3,0	3,0	3,2	1,6
Case 2 Rotterdam-Bovenrijn containervaart (185m koppelverband/342TEU)	1,1	1,5	1,9	8,3	2,4	4,9	4,0	3,6	3,7	2,8	1,6
Case 3 Rotterdam-Duisburg containervaart (135m schip / 336TEU)	1,2	1,5	2,1	7,7	2,2	5,2	3,9	4,5	3,4	2,1	1,7
Case 4 Rotterdam-Duisburg duwvaart (duwboot met 4 of 6 bakken/gemiddeld 12.000 ton)	1,1	1,4	1,9					3,6			1,6
Case 5 Den Haag-Rotterdam afvaltransport (67m schip/500ton)	1,1	1,5	2,1	3,3	3,3	4,3	4,3	3,3	3,7	3,7	1,9
Case 6 Trierveld-Den Haag zand-en grindvaart (70m schip/1010ton)	1,2	1,6	2,0	6,5	3,7	4,3	4,2	3,7	3,3	3,2	1,8
Case 7 ARA tankvaart (135m schip/6280ton)	1,1	1,5	2,0	3,8	2,5	4,2	4,0	3,8	3,1	2,9	1,7

Toelichting: vereenvoudigd overzicht van de jaarlijkse kosten voor de aandrijflijn, energie en overige (Capex, Opex, Overige kosten per kWh) van iedere alternatieve techniek/brandstof uitgedrukt in een factor ten opzichte van de baseline (CCRII diesel) . De tabel gaat uit van de gemiddelde kosten (gemiddelde van hoog en laag scenario) in de periode 2020-2030

Matrix 2030-2040, kosten hoofdaandrijving schip

Case Studies	Stage V+ / Euro VI	BioDiesel Stage V+ / Euro VI	BioLNG Stage V+ / Euro VI	Batterij varen container (lage frequentie)	Batterij varen container (hoge frequentie)	H2 500b (container) FC (lage frequentie)	H2 500b (container) FC (hoge frequentie)	Bio- Methanol FC	H2 500b (container) ICE (lage frequentie)	H2 500b (container) ICE (hoge frequentie)	Bio- Methanol ICE
Case 1 Alphen-Moerdijk containervaart (90m schip/104TEU)	1,1	1,5	1,6	1,04	1,05	2,3	2,4	2,4	2,0	2,1	1,4
Case 2 Rotterdam-Bovenrijn containervaart (185m koppelverband/342TEU)	1,1	1,5	1,6	4,5	1,6	3,3	2,7	2,9	2,5	1,8	1,4
Case 3 Rotterdam-Duisburg containervaart (135m schip / 336TEU)	1,1	1,5	1,8	4,3	1,4	3,6	2,7	3,5	2,3	1,4	1,5
Case 4 Rotterdam-Duisburg duwvaart (duwboot met 4 of 6 bakken/gemiddeld 12.000 ton)	1,1	1,5	1,6					2,9			1,4
Case 5 Den Haag-Rotterdam afvaltransport (67m schip/500ton)	1,1	1,6	1,8	2,7	2,7	2,9	2,9	2,7	2,5	2,5	1,7
Case 6 Trierveld-Den Haag zand-en grindvaart (70m schip/1010ton)	1,2	1,6	1,7	4,2	3,0	2,9	2,8	2,9	2,2	2,1	1,5
Case 7 ARA tankvaart (135m schip/6280ton)	1,1	1,5	1,7	2,3	1,6	2,9	2,8	3,0	2,1	2,0	1,5

Toelichting: vereenvoudigd overzicht van de jaarlijkse kosten voor de aandrijflijn, energie en overige (Capex, Opex, Overige per kWh) van iedere alternatieve techniek/brandstof ten opzichte van de baseline (CCRII diesel) uitgedrukt in een factor. De tabel gaat uit van de gemiddelde kosten (gemiddelde van hoog en laag scenario) in de periode 2030-2040



Extrapolatie vloot (vertrouwelijk)

[Vertrouwelijk: momenteel loopt nog een onderzoek in afronding voor de CCR waarin onderstaande resultaten nader worden toegelicht. Onderzoek wordt uitgevoerd door DST & EICB]

Conservatief scenario:

- Een extrapolatie naar vlootniveau (circa 10.000 schepen) op basis van de huidige economische resultaten zou resulteren in een '**conservatief scenario**' waarin een groot deel van de vloot overgaat op **schone verbrandingsmotoren en drop-in fuels** om te **voldoen aan de 2050 emissiedoelstelling** van CCNR (min 90% emissiereductie t.o.v. 2015 op vlootniveau). Dit kan gezien worden als een kosteneffectief scenario.

Innovatief scenario:

- Er kan ook een alternatief, '**innovatief scenario**' geschetst worden waarin relatief meer nadruk wordt gelegd op **innovatieve zero-emissie technieken** waarmee (makkelijker) voldaan kan worden aan de 2050 doelstelling. De investeringen zullen in dit scenario substantieel hoger liggen. Op de lange termijn, en afhankelijk van prijs- en techniekontwikkelingen en beleid, kan er zelfs een positieve business case ontstaan voor dit scenario, bijvoorbeeld bij batterij varen.

Drie scenario's

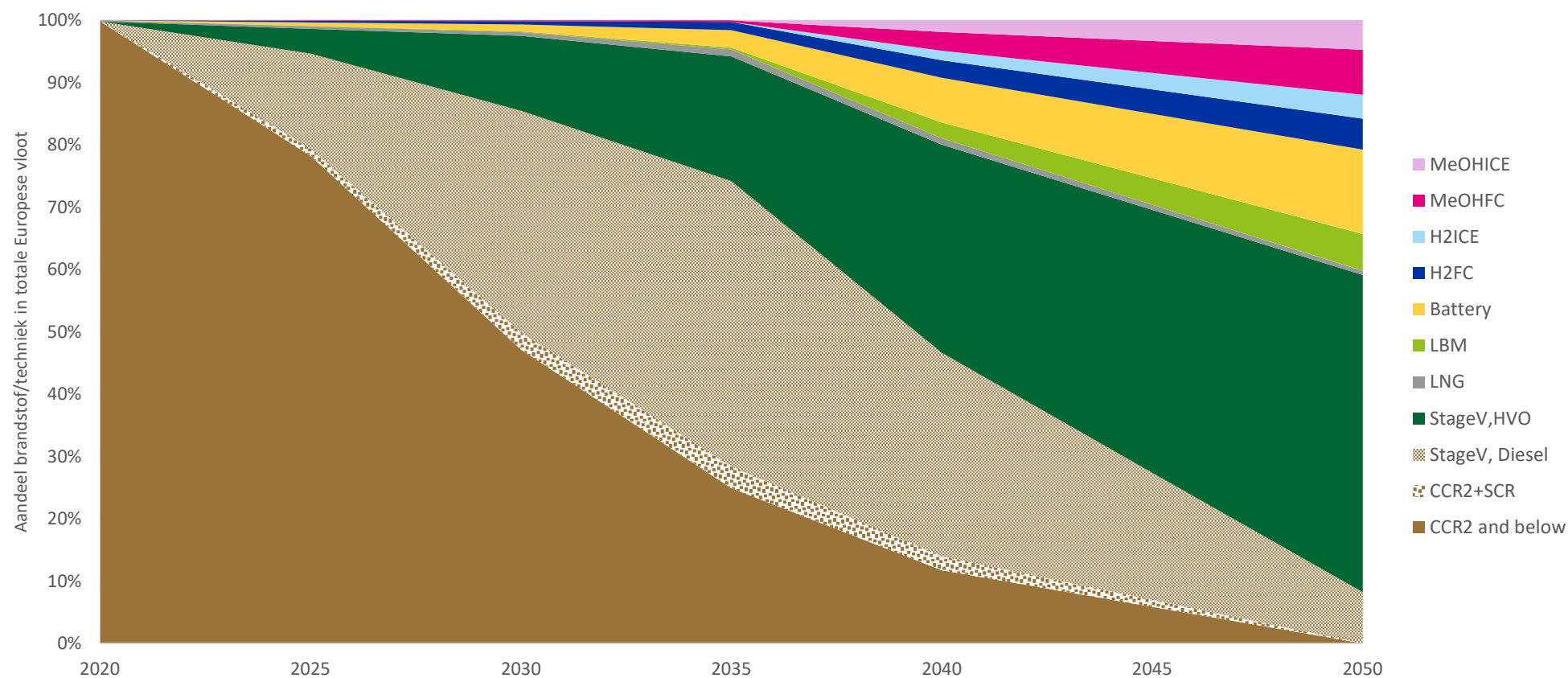
	Business as Usual Scenario	Conservative pathway	Innovative pathway
Brandstof/Technologie	Technieken in 2050 in aandeel in de Europese vloot		
Diesel ICE	90%	8%	12%
HVO ICE	6%	51%	4%
LNG ICE	1%	1%	-
LBM ICE	-	6%	3%
Battery	3%	14%	35%
H ₂ FC	-	5%	14%
H ₂ ICE	-	4%	12%
MeOH FC	-	7%	8%
MeOH ICE	-	5%	12%
Emissie type	Emissie reductie in jaar 2050 ten opzichte van 2015		
NO _x	76%	90%	94%
PM	83%	96%	98%
GHG / CO ₂ eq	22%	91%	91%



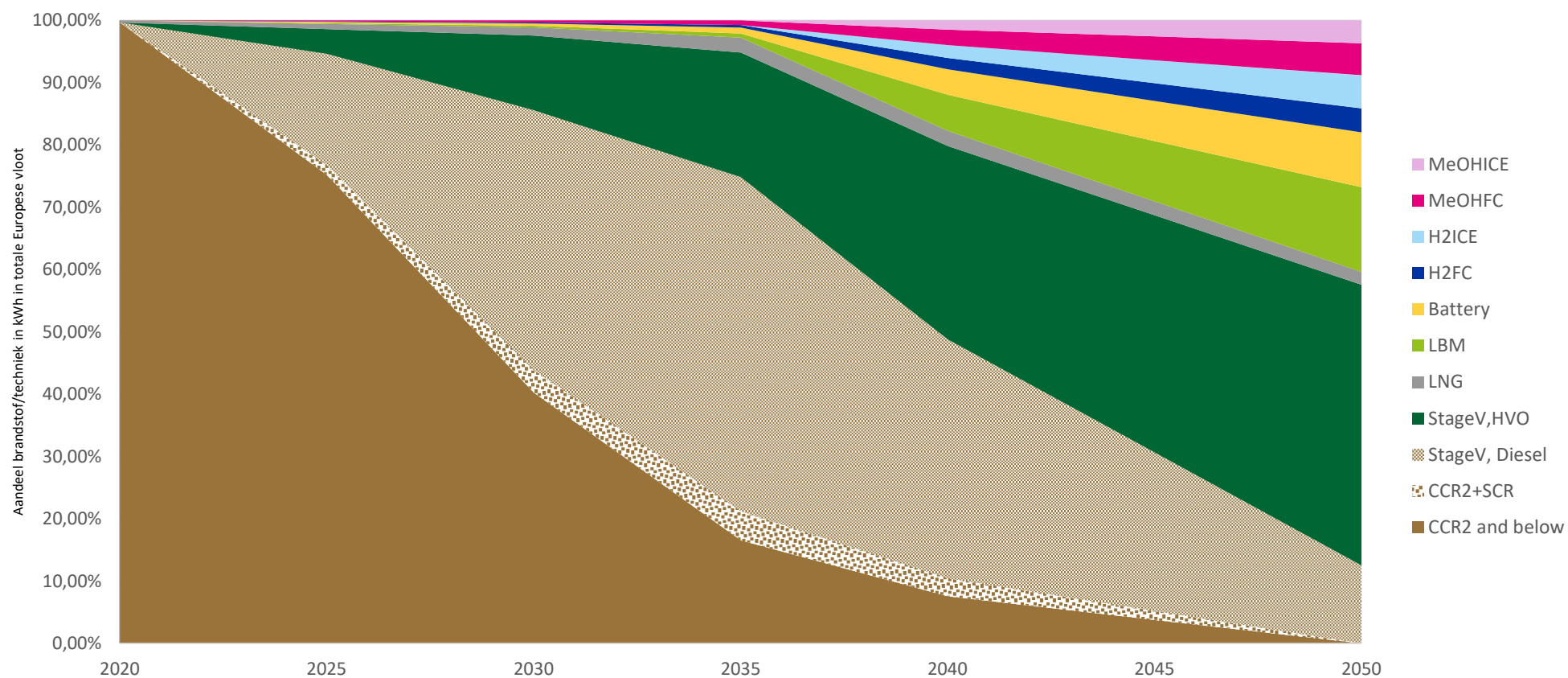
Extrapolatie vloot

- Mogelijk zal er een mix ontstaan: een scenario waarin zowel kosteneffectiviteit als overheidsbeleid en -instrumenten zo goed mogelijk worden ingepast.
- Beleid, op provinciaal/nationaal/EU niveau, zal een belangrijk rol spelen in de mate waarin emissie gereduceerd wordt. Zoals faciliteren infrastructuur, realiseren van een (Europees) verduurzamingfonds, label systeem, carbon footprinting, brandstofbeleid (RED 2) en productie van brandstoffen en energie.
- De afbeeldingen op de volgende sheets geven een overzicht van de verdeling van de brandstoffen/technieken over de totale Europese vloot, uitgedrukt in aantal vaartuigen & energieverbruik (kWh), voor de twee transitiepad scenario's die Centrale Rijnvaart Commissie hanteert.

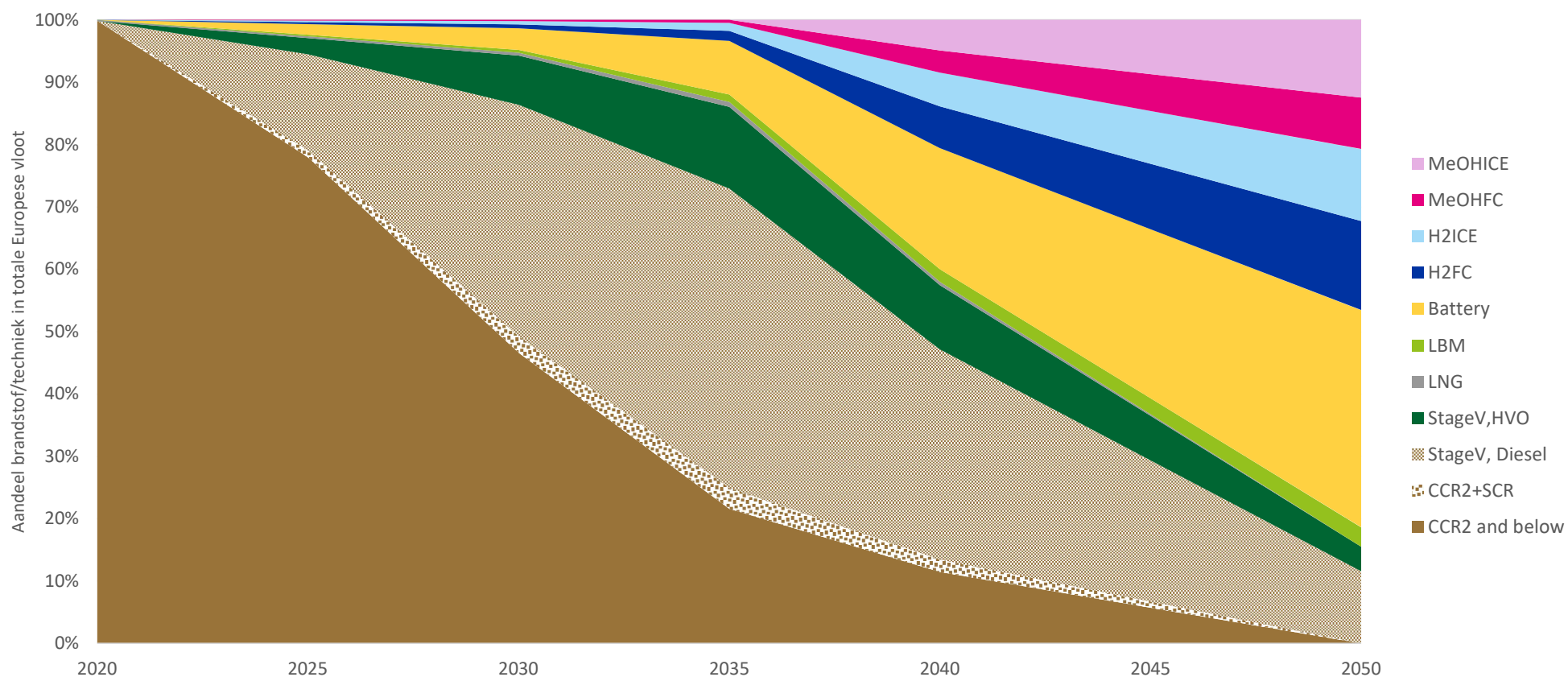
Conservatief pad – verloop aantal schepen



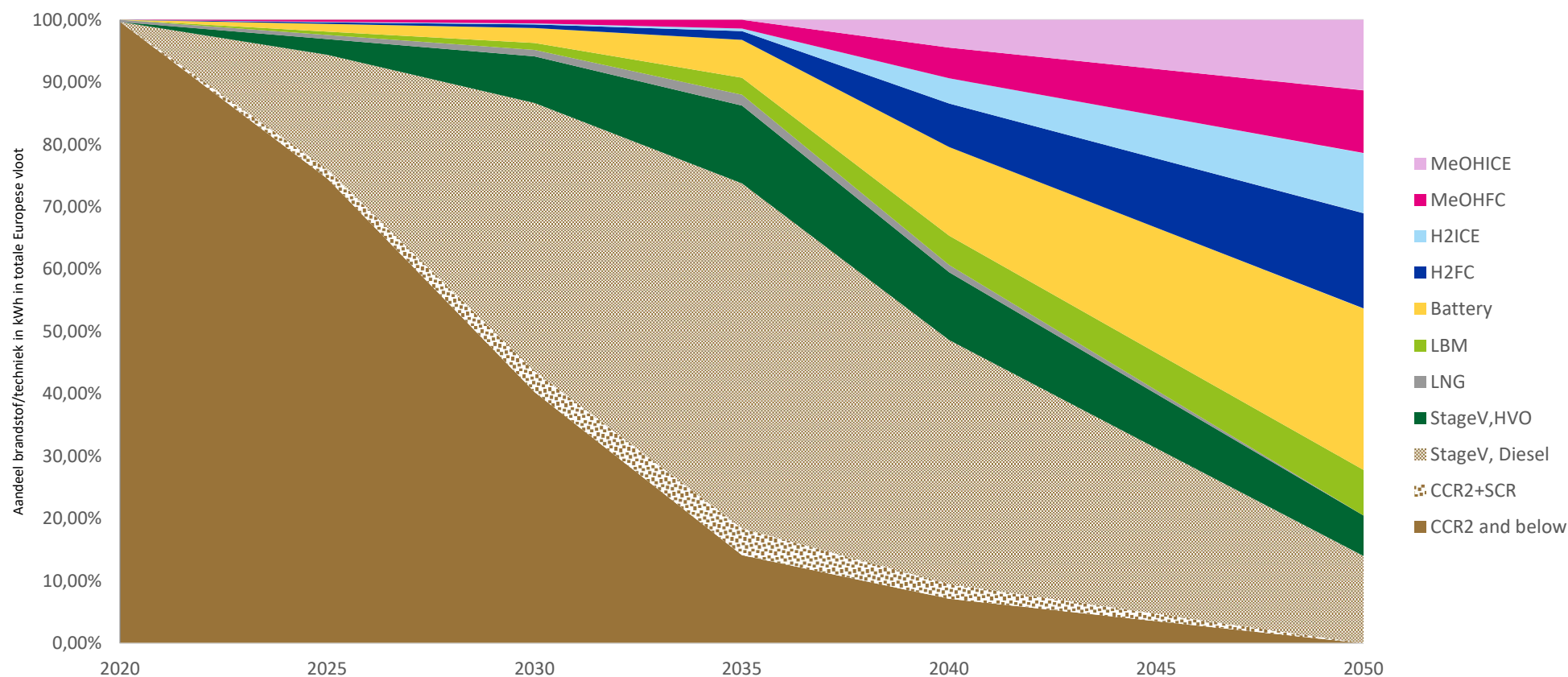
Conservatief pad – energieconsumptie (kWh)



Innovatief pad – verloop aantal schepen



Innovatief pad - energieconsumptie (kWh)





Extrapolatie vloot

- Schone verbrandingsmotoren en (drop-in) fuels hebben een groter aandeel in het totale energieverbruik dan in het aantal schepen. Dit heeft te maken met de grootverbruikers die in beide scenario's (innovatief en conservatief) vaker blijven doorvaren op (bio)brandstoffen. Dit gaat vooral om de grote duwboten en grotere motorschepen voor vervoer van droge bulk en tankvaart.
- Dit heeft een grotere impact op het totale energieverbruik, dan schepen met een relatief kleiner verbruik die overgaan op zero-emissietechnieken zoals batterijen.
- Ook is in het DST & EICB onderzoek geanalyseerd wat de bedrijfseconomische effecten zijn, de kapitaal uitgaven (CAPEX), de operationele kosten (OPEX) en de totale jaarlijkse kosten (Total Cost of Ownership) voor de vloot. Dit is gedaan voor de tijdsperiode tot en met 2050 voor de Europese vloot van schepen actief in transport van goederen en passagiers.
- De kosten voor de beide transitie paden zijn vergeleken met het 'Business As Usual' scenario. Zodoende is duidelijk wat de opgave is om tenminste 90% emissie reductie te behalen ten opzicht van het jaar 2015.

Kosten voor de twee paden - CAPEX

- De twee transitie pad scenario's zijn in het onderzoek afgezet tegen een Business As Usual scenario.
- De prijsaannames in beide onderzoeken (PZH en CCR onderzoek) zijn op elkaar afgestemd.

Jaarlijkse Investeringskosten (CAPEX) in miljoen euro in het BAU en de twee scenario's voor de gegeven jaren en de totale accumulatie over 30 jaar

		2020 to 2025	2025 to 2030	2030 to 2035	2035 to 2040	2040 to 2045	2045 to 2050	Total	Gap vs BAU	
Business As Usual	Minimum	134	104	102	97	38	33	2542	-	-
	Average	137	110	103	99	40	35	2619	-	-
	Maximum	140	106	104	100	41	36	2645	-	-
Conservative Pathway	Minimum	148	151	240	229	220	208	5977	3435	+135%
	Average	152	164	260	261	253	242	6657	4038	+154%
	Maximum	156	156	279	292	284	265	7165	4520	+171%
Innovative Pathway	Minimum	189	190	330	315	293	262	7893	5351	+211%
	Average	208	216	383	375	357	332	9354	6735	+257%
	Maximum	227	217	432	431	412	372	10452	7807	+295%

Kosten voor de twee paden - OPEX

- De twee paden zijn in het onderzoek afgezet tegen een Business As Usual scenario.
- De prijsaannames in beide onderzoeken (PZH en CCR onderzoek) zijn op elkaar afgestemd.
- In OPEX voor de pathways is 30% energie efficiency verondersteld, t.o.v. 15% in BAU.

Jaarlijkse OPEX in miljoen euro in het BAU en de twee scenario's voor de gegeven jaren en de totale accumulatie over 30 jaar

		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Total	Gap vs BAU	
Business As Usual	Minimum	875	844	858	895	934	925	911	26751		
	Average	942	923	956	1034	1118	1052	1029	30231		
	Maximum	1009	1001	1043	1172	1303	1287	1263	34620		
Conservative Pathway	Minimum	875	896	883	900	907	857	781	26138	-613	-2%
	Average	942	982	1009	1036	1045	945	863	29238	-993	-3%
	Maximum	1009	1080	1135	1300	1421	1390	1308	37037	2417	7%
Innovative Pathway	Minimum	875	909	898	907	887	804	677	25529	-1222	-5%
	Average	942	1003	1029	1072	1089	998	895	30125	-106	0%
	Maximum	1009	1107	1155	1326	1382	1304	1147	36133	1513	4%

Kosten voor de twee paden - TCO

- De twee paden zijn in het onderzoek afgezet tegen een Business As Usual scenario.
- De prijsaannames in beide onderzoeken (PZH en CCR onderzoek) zijn op elkaar afgestemd.

Jaarlijkse TCO in miljoen euro in het BAU en de twee scenario's voor de gegeven jaren en de totale accumulatie over 30 jaar

		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Total	Gap vs BAU	
Business As Usual	Minimum	877	901	956	1033	1108	1115	1115	30443		
	Average	944	981	1059	1174	1296	1246	1238	34026		
	Maximum	1012	1060	1145	1314	1483	1484	1476	38461		
Conservative Pathway	Minimum	877	959	1012	1139	1219	1241	1223	32873	2430	+8%
	Average	944	1048	1162	1288	1383	1370	1362	36672	2646	+8%
	Maximum	1012	1145	1279	1559	1782	1847	1840	44845	6384	+17%
Innovative Pathway	Minimum	877	997	1069	1256	1368	1403	1360	35701	5258	+17%
	Average	944	1101	1231	1455	1631	1689	1708	41827	7801	+23%
	Maximum	1012	1210	1352	1723	1975	2058	2022	48646	10185	+26%



Totale kosten 2020-2050 voor 2 paden

	Totale kosten t.o.v. BAU (TCO gap)	Extra benodigde investering t.o.v. BAU (CAPEX gap)
Conservative Pathway	2.4-6.4 miljard € Gemiddeld per schip: 8.200 – 21.500 € per jaar	3.4 - 4.5 miljard € Gemiddeld per schip: 350.000 – 460.000 €
Innovative Pathway	5.3-10.2 miljard € Gemiddeld per schip 17.700 – 34.400 € per jaar	5.4 – 7.8 miljard € Gemiddeld per schip: 540.000 – 790.000 €



Conclusies – beperkte markt vraagt om keuzes

Er zijn belangrijke aspecten aan de binnenvaart welke de keuzevrijheid voor duurzame brandstof beperken:

- Binnenvaart is in Europa en wereldwijd een klein segment. Voor ontwikkeling van motoren is binnenvaart afhankelijk van wegtransport, mobiele machines en eventueel van de zeevaart.
- Binnen een transport segment als binnenvaart kunnen een beperkt aantal duurzame brandstoffen of energiedragers ondersteund worden. Anders wordt de infrastructuur te kostbaar en zal de prijs, beschikbaarheid en de kwaliteit van de aandrijfsystemen eronder leiden.

Dit pleit dus voor het maken van keuzes, maar er moet wel rekening gehouden worden met onzekerheden zoals de prijzen en beschikbaarheid van duurzame brandstoffen en technieken. Er is nog een behoorlijke bandbreedte in de prijsscenario's.



Conclusies – aanbevolen technieken

- Biodiesel in combinatie met Stage V of Euro VI verbrandingsmotoren (of SCR-DPF refit) is meest breed toepasbaar en kansrijk voor behalen significante emissie reductie op korte en middellange termijn (tot 2035). Bovendien kunnen de verbrandingsmotoren nog een stuk schoner worden in de nabije toekomst.
- Batterij-elektrisch varen heeft een twee- tot driemaal lagere primaire duurzame energiebehoefte dan bio- en P2X brandstoffen (inclusief groene H₂). Vanuit energie en klimaat perspectief is batterij varen daardoor de beste optie.
- Batterij varen is kansrijk, maar zal zich stapsgewijs ontwikkelen. Het is op de korte termijn al geschikt voor containerschepen met een relatief hoger verbruik en inzet in continue dienst op vaste routes. Een grootschalige en bredere toepassing vereist het hoog frequent wisselen van batterij containers (minimaal iedere 12 uur) om investeringskosten en verlies aan lading te beperken. Dit vereist een actieve en ondersteunende rol vanuit overheden.



Conclusies – batterij varen kansrijk

- De business case voor batterij varen wordt aanmerkelijk beter door de sterke prijsdaling van de accu's in combinatie met hogere energie-inhoud per accucontainer. Hierdoor komt batterij varen op termijn ook vanuit economisch perspectief in beeld voor andere schepen dan containerschepen. Het inpassen van batterij containers op bestaande schepen kan echter lastig zijn voor droge bulk schepen en tankvaart.
- Batterijvaren heeft daarbij de meest gunstige WTW energie efficiency (ca 60%-70%) waardoor minste primaire duurzame energie nodig is. Dit is een sterk voordeel ten opzichte van andere alternatieven. Bovendien kan een wisselbare batterijcontainer een rol spelen in stabilisatie van het elektriciteitsnetwerk.
- De vraag is of schippers bereid zijn om veelvuldig de accucontainers te wisselen. Berekeningen in case studies tonen aan dat dit wel de goedkoopste oplossing is. Het is zeer goed denkbaar dat er gecombineerd gaat worden, wisselbare accubatterijen met een (bio)diesel generator set als back up.



Conclusies – batterij varen kansrijk

- Elektrificatie van schepen is dus kansrijk om flexibel te zijn, met daarbij modulaire energie opwekkers aan boord die eventueel vervangen kunnen worden zodra er schonere en betaalbare alternatieven beschikbaar komen. De accucapaciteit zal in de toekomst nog flink stijgen waardoor minder frequent gewisseld hoeft te worden en alternatieven minder belangrijk worden.
- Diesel-elektrische aandrijving, met (bio)diesel gen-sets aan boord, als voorbereidende stap op volledig elektrisch is echter niet altijd gunstig voor energieverbruik en CO₂ uitstoot vanwege conversieverliezen.
- Bij keuze voor diesel-elektrisch moet dus goed gekeken worden naar het vaarprofiel, of moet er het vooruitzicht zijn dat er modulaire / wisselbare batterijcontainers komen of andere oplossingen, zoals waterstof met brandstofcellen voor het opwekken van elektriciteit.

Conclusies – waterstof voor langere termijn?

- Waterstof met brandstofcellen (fuel cells) is een 100% zero-emissie oplossing, net als batterij varen . Dit komt echter pas op de langere termijn eventueel in beeld, na 2035 . Waterstof is relatief duur en kent nog een laag TRL niveau. Experimenteren en verder ontwikkelen is nodig. De verwachte kostendalingen in de equipment voor waterstof zijn echter minder spectaculair dan bij batterij techniek. Bovendien moet er voldoende groene stroom zijn voor productie van groene waterstof.
- Het succes van waterstof hangt af van streng emissiebeleid en/of grote mate van subsidie om een Europese waterstof industrie en economie te realiseren, zodat er een grote schaal gaat ontstaan en clusters waarop binnenvaart kan aanhaken. Het is nodig de ontwikkeling hiervan te volgen.
- Waterstof is qua netto energie efficiency veel minder gunstig dan batterij varen. Als batterij varen zich snel kan ontwikkelen, met een fijnmazig netwerk van wissel-/laadpunten, dan is er mogelijk weinig toegevoegde waarde voor de inzet van waterstof.



Conclusies – methanol

- Ook methanol is interessant, maar de motortechniek is nog laag in TRL en groene methanol (e-methanol of biomethanol) nog niet beschikbaar. Opslag van methanol aan boord vraagt relatief weinig aanpassingen.
- Ontwikkeling voor binnenvaart is kostbaar (wetgeving, motoren) en afhankelijk van ontwikkelingen voor de zeevaart.
- De methanol verbrandingsmotor lijkt economisch kansrijker te zijn dan de variant met Fuel Cells.
- Het is echter de vraag of methanol voldoende onderscheidend vermogen en toegevoegde waarde heeft ten opzichte van verder ontwikkelde oplossingen zoals biodiesel, bioLNG en batterij-varen. Mogelijk is er onvoldoende marktvolume voor het ontwikkelen van specifieke methanol motoren.



Conclusies – versnellings mogelijkheden

- Een versnelling in investeringen in zero-emissie techniek en elektrificatie van schepen kan plaatvinden door autonoom varen en modulair bouwen. Het KOTUG concept laat ook zien dat er goede kansen zijn voor nieuwe toepassingen voor de stadslogistiek en het gebruik van fijnmazige waterwegen.
- Ook het beoogde emissieprestatie label binnenvaart en het beoogde Europese verduurzamingsfonds kan de investeringen in schone techniek en het gebruik van schonere brandstoffen sterk stimuleren.
- De NOx emissie kan bijvoorbeeld nog factoren omlaag t.o.v. het huidige IWT Stage V niveau en ook de fijnstof uitstoot bij motoren <300kW. Een verdere daling van emissies van verbrandingsmotoren kan worden gerealiseerd door middel van aanscherping van de emissie wetgeving voor nieuwe motoren (Europese wetgeving voor Non Road Mobile Machinery).



Conclusies (vertrouwelijk)

Vertrouwelijk: momenteel loopt nog een onderzoek in afronding voor de CCR waarin onderstaande resultaten nader worden toegelicht. Onderzoek wordt uitgevoerd door DST & EICB.

- Een extrapolatie van de bevindingen naar het Europees vlootniveau op basis van een economische optimalisatie resulteert in een kosteneffectief 'conservatief' scenario waarin een groot deel van de vloot overgaat op schone verbrandingsmotoren en drop-in fuels. Een alternatief 'innovatief' scenario is ook een mogelijkheid. In dit scenario ligt de focus, afhankelijk van prijs- en techniekontwikkelingen en beleid, op innovatieve zero-emissie technieken waarmee (makkelijker) voldaan kan worden aan de 2050 doelstelling
- De 'TCO gap' (tot. 30 jaar) in het conservatieve scenario t.o.v. de BAU scenario is ongeveer:
 - €2,4 bln in het min. prijs scenario
 - €2,6 bln in het gem. prijs scenario
 - €6,4 bln in het max. prijs scenario
- De 'TCO gap' (tot. 30 jaar) in het innovatieve scenario t.o.v. de BAU scenario is ongeveer:
 - €5,3 bln in het min. prijs scenario
 - €7,8 bln in het gem. prijs scenario
 - €10,2 bln in het max. prijs scenario



Conclusies – fonds voor duurzame binnenvaart

- Een Europees fonds kan mogelijk het gat in de TCO dichten tussen 2.4 en 10.2 miljard euro.
- Een mix van publieke en private middelen om het fonds te voeden
- Private middelen: een bijdrage vanuit bedrijfsleven afhankelijk van energiegebruik:
 - Inkomsten circa € 0.04 en € 0.08 per liter brandstof (gedifferentieerd naar milieu klasse schip d.m.v. emissie/energie label)
 - Circa 1.3 – 2.6 miljard euro aan inkomsten, uitgaande van 2025- 2050
- Extra publieke middelen vanuit EU, lidstaten etc. om TCO gat te dichten. Vooral nodig bij keuze voor 'innovative pathway' gezien veel grotere gat in TCO tussen BAU bij dat transitiepad
- Eventuele rol EIB voor fund management, voorfinanciering en leningen voor het deel van investering dat niet gedekt wordt door grant uit het fonds.



Aanbeveling

- Ondersteun kansen voor de korte termijn die toekomst vast zijn:
 - Schone verbrandingsmotoren met biodiesel en biomethaan, dus zet in op stimuleren van retrofit van motoren met SCR en DPF en uitrol van schonere Stage V en Euro VI motoren
 - Batterij varen waar het al kan, eerste stap: binnenlands containervervoer.
 - Modular bouwen als 'no regret'.
- Ondersteun onderzoek, experimenten met waterstof, volg of er een Europese doorbraak komt in waterstof economie en of binnenvaart hierop kan aanhaken. Volg ook de methanol ontwikkeling.
- Herijk dit onderzoek regelmatig, bijvoorbeeld jaarlijks.



Bijlagen



Andere relevante factoren – beschikbaarheid biomassa en alternatieve brandstoffen

- Nederland zou voor het vastgesteld beleid voldoende duurzame biomassa kunnen produceren om in de behoefte te voorzien tot 2030. Vanwege de implementatie van de RED2 wordt feedstock echter voor meer dan 90% ingevoerd van buiten Europa.
- Nederland kan niet meer in de eigen behoefte voorzien bij implementatie van de doelstellingen uit het Klimaatakkoord en de Green Deal voor 2050. Dit komt vooral door de grote behoefte aan biobrandstoffen voor de internationale zee- en luchtvaart. Er kan zeer waarschijnlijk wel voldoende geïmporteerd worden in Europa of op mondiaal niveau, zonder dat de mondiale voedselvoorziening hierdoor in gevaar komt.



Andere relevante factoren – beschikbaarheid biomassa en alternatieve brandstoffen

- De potentiële groei van de inzet van biobrandstoffen ligt bij de internationale scheepvaart en luchtvaart (potentiele vraag binnenvaart is relatief klein).
- Luchtvaart heeft relatief beperkte opties om te vergroenen t.o.v. binnenvaart. Als de luchtvaart inzet op de toepassing van biobrandstoffen, dan zal dit een prijsverhogend effect hebben. Inzet van duurzame elektriciteit, H₂ en methanol zullen hier waarschijnlijk wat minder last van hebben, alhoewel uiteindelijk alle energiedragers gemaakt moeten worden uit biomassa en/of duurzame elektriciteit.



Andere relevante factoren – subsidies en andere incentives

Scenario's waarin op EU niveau subsidies beschikbaar worden gesteld voor vergroening in de binnenvaart en diesel duurder wordt (bijv. vanwege een sector bijdrage):

- ➔ Dit kan het gat in de TCO (gedeeltelijk) dichten.
- ➔ Positievare business case voor investeringen in technieken/brandstoffen als batterijen, H₂, FC's.
- Emissielabel en daaraan gekoppelde sturing kan verdere incentives bieden voor vergroening in de binnenvaart.
- De waarde van HBE, kan het gat in de TCO voor een groot deel dichten. Dat resulteert dan niet in een toename van inzet duurzame brandstof op vlootniveau
- Waterstof economie wordt mogelijk sterk ontwikkeld met Europees geld



Andere relevante factoren – financiële positie binnenvaart

In hoeverre kan de sector de vergroening financieel dragen?

- Gemiddeld genomen nog altijd sprake van overcapaciteit.
- Terugloop van vraag naar transport in bepaalde segmenten (vb in vervoer van kolen).

Studie voor CCR studie (Deliverable A - Panteia) laat zien dat op basis van de huidige financiële positie gemiddeld genomen 40% subsidie nodig is voor investeringen in Stage V motoren.

De subsidiebehoefte is nog groter voor investeringen in elektrificatie van de schepen als voorbereiding op zero-emissietechnieken als batterijen en H₂ FC's.



Andere relevante factoren – onzekerheid over beleid

- **Beleid heeft een sterke invloed (push-factor) op de vergroening. Maar er heerst onzekerheid:**
 - Zullen er strengere emissie-eisen ingevoerd worden voor de binnenvaart (vervolg op NRMM Stage V)? Strengere NOx eis zal geen probleem vormen. Upgrade van de huidige emissiecontrole is relatief eenvoudig mogelijk.
 - Wat zullen andere continenten doen op dit vlak? Strengere emissie-eisen worden verwacht in de VS en China → ontwikkeling van schonere industriële verbrandingsmotoren motoren die ook toegepast kunnen worden in de binnenvaart.



Andere relevante factoren – nieuwbouw en nieuwe concepten

De toepassing van nieuwe modulaire concepten (containerised energy systems, concept Kotug, etc.) en autonome systemen kunnen de vergroening in de binnenvaart versnellen, o.a. door:

- Modulaire systemen → reductie in Capex/Opex
- Autonome systemen → efficiency winst en lagere bemanningskosten
- Komst van nieuwe (kapitaalkrachtige) spelers op de markt



Andere relevante factoren – R&D in de binnenvaart

Binnenvaartsector is relatief klein en R&D activiteiten zijn beperkt. → Richten op toepassingen en ontwikkelingen in andere modaliteiten (vb. methanol in zeevaart, batterijen en waterstof in automotive).

Aandachtspunt: toepassingen die voor andere modaliteiten zijn ontwikkeld moeten altijd aangepast worden voor binnenvaart specifieke toepassingen. Zo hebben binnenvaartschepen een heel ander operationeel profiel dan zeegaande schepen → niet vergelijkbaar.



Andere relevante factoren – gewenste voortrekkersrol

- Voortrekkersrol industrie in batterij toepassingen, H₂, FC in de binnenvaart.
- Vroegtijdig inzetten op de uitrol van H₂, FC's en batterij toepassingen in de binnenvaart draagt bij aan de ontwikkeling en specialisatie van de industrie en (toe)leveranciers op dit vlak in Provincie Zuid-Holland. ➔ biedt exportmogelijkheden voor producten en diensten en meer werkgelegenheid en omzet voor toeleveranciers in Zuid-Holland.



Andere relevante factoren – reduceren afhankelijkheid

- **Afhankelijkheid fossiele olie en gas.**
 - Minder import van fossiele olie en gas verkleint de 'energy leverage' van olie en gas exporterende landen.
 - Leverage die ingezet kan worden voor politiek / strategische doeleinden.

Expertise- en InnovatieCentrum Binnenvaart

*Vasteland 78
3011 BN Rotterdam
Tel. 010 – 7 98 98 30*

Contactpersoon:

*Martin Quispel
m.quispel@eicb.nl*

© 2021 EICB