

Hybridiseren van de kleine binnenvaart

Toepassing van zero-emissie
truck technologie, techniek
en businesscase



Colofon

Hybridiseren van de kleine binnenvaart

Toepassing van zero-emissie truck technologie, techniek en businesscase

Auteurs

Rob de Leeuw van Weenen

Wouter van der Geest (Rebel)

Rolien Holster

© Topsector Logistiek, januari 2025



Samenvatting

De binnenvaartsector staat onder toenemende druk om te verduurzamen. De sector opereert nog vooral met verouderde verbrandingsmotoren en heeft zowel stappen te zetten bij het reduceren van CO₂ als luchtvervuilende emissies. Elektrificatie van de aandrijving van binnenvaartschepen wordt gezien als een veelbelovende optie om deze doelen te bereiken en de concurrentiepositie van de sector te versterken. Het gebruik van accupakketten, gebaseerd op de batterijpakketten die ontwikkeld zijn voor vrachtwagens, biedt daarbij goede perspectieven voor kleine binnenvaartschepen. De Topsector Logistiek heeft opdracht gegeven om de haalbaarheid hiervan nader te onderzoeken, met een focus op de kosten en baten voor scheepseigenaren. De nadruk ligt op de toepassing van deze technologie in Nederland, waar de binnenvaart een essentieel onderdeel vormt van het transportnetwerk.

De huidige kleine binnenvaartvloot in Nederland, bestaat uit CEMT-klassen I tot en met III. Deze vloot is van belang voor vervoer van goederen naar de haarkvaten van het binnenvaartnetwerk. Ondanks dit belang is de vloot sterk verouderd. Hybridisering van de aandrijflijn (zonder de diesel-directe aandrijving van de schroef volledig te vervangen door een diesel-elektrische oplossing) kan voor een deel van deze vloot een aantrekkelijke oplossing zijn om te voldoen aan strengere emissie-eisen. Het vaarprofiel van kleine binnenvaartschepen varieert sterk, van lange afstanden tot kortere trajecten met frequentere stops. Het vaarprofiel van een schip heeft invloed op de haalbaarheid van elektrificatie en hybridisering, waarbij schepen die vaak korte trajecten afleggen het meeste voordeel halen uit hybride technologieën. Op basis van een vergelijkbare vermogensvraag kan geconcludeerd worden dat accu's voor elektrische vrachtwagens ook toepasbaar zijn voor kleine binnenvaartschepen. Vooral bij lage belasting biedt dit flexibiliteit, zodat emissievrij kan worden gevaren in stedelijke gebied en natuurgebieden.

Retrofit van kleine binnenvaartschepen met dergelijke hybride aandrijflijnen blijkt haalbaar en kan op de lange termijn besparingen opleveren op brandstofkosten. Echter, de initiële kosten zijn hoog en de terugverdientijd hangt sterk af van de grootte, het vaarprofiel en de inzet van het schip. Motorbeunschepen en kraanschepen hebben de grootste potentie. Bij de huidige batterijprijzen is voor 36% van de motorbeunschepen (op een totaal van 166 schepen) een hybride aandrijflijn gunstiger dan een nieuwe Stage V motor en dat geldt eveneens voor 41% van de kraanschepen (op een totaal van 41 schepen). Er is juist minder potentie bij de grootste groep motorvrachtschepen; slechts 7% van de in totaal 663 kleine motorvrachtschepen kunnen bij de batterijprijzen kostenefficiënt geretrofit worden. Ook bij de motortankschepen is er enige potentie - zij het dat dit voornamelijk bunkerschepen betreft. Al met al is hybridisering haalbaar voor ongeveer 15% van de binnenvaartvloot. Dit biedt voordelen op het gebied van CO₂-reductie en emissievrij varen in stedelijk gebied en kwetsbare Natura2000-gebieden.

Nieuwbouw van kleine schepen biedt voordelen op het gebied van energie-efficiëntie door het gebruik van lichtere materialen en een beter hydrodynamisch ontwerp. Dit resulteert in een energiebesparing van ongeveer 10%. Het in de vaart brengen van kleine nieuwbouwschepen is in vergelijking tot het moderniseren van de huidige vloot echter veel te kostbaar en daardoor niet haalbaar. Beter kan de bestaande kleine binnenvaart in de vaart worden gehouden en gemoderniseerd voor wat betreft aandrijftechnologieën.

Om bij te dragen aan het behoud en de vergroening van de kleine binnenvaartvloot kunnen verschillende betrokken partijen actie ondernemen:

Verladers

- Passende laadinfra aanbieden met gelijke capaciteiten als voor vrachtauto's.
- Duurzame lange termijn relaties aangaan met vervoerders om meer financiële zekerheid te bieden.

Binnenvaartondernemers

- Grotere ondernemingen vormen waarbij meerdere schepen uitgebaat worden zodat meer financiële slagkracht verkregen wordt, beter toegang verkregen wordt tot externe financiering (tegen gunstigere rentes) en de risico's evenwichtig verspreid kunnen worden over meerdere schepen.
- Transparante prijsvorming hanteren, met inbegrip van vergroeningsmaatregelen in beeld brengen voor de verlader.

Vaarwegbeheerders

- Laadinfra beschikbaar stellen bij overnachtingsplaatsen en wachthavens bij sluizen en beweegbare bruggen.
- Vaarwegbelasting heffen die naar analogie van de vrachtwagenheffing rechtstreeks teruggesluisd kan worden aan de binnenvaartsector.

Overheid (Europa, Rijk en CCR)

- Eenduidige richtlijnen en handreikingen opstellen voor toepassing van batterijtechnologie aan boord van binnenvaartschepen, pilotprojecten lanceren om de sector meer ervaring te geven zodat de kostprijs van binnenvaart-specifieke batterijsystemen substantieel kan gaan dalen.
- Stimuleren van toepassing van batterijtechnologie in de binnenvaart door middel van subsidies, garanties en leningen.
- Stimuleren van kennisopbouw- en uitwisseling door platforms en living labs.
- Het waarborgen van een gelijk speelveld tussen de verschillende aandrijftechnologieën.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding tot de opdracht	7
1.2	Context	7
1.3	Onderzoeksvragen	9
1.4	Leeswijzer	9
2	Logistieke betekenis van de kleine binnenvaart	10
2.1	Beschrijving van de binnenvaartvloot	10
2.2	Technische staat van de vaartuigen	11
2.3	Welke lading wordt er vervoerd?	13
2.4	Welke vaarwegen worden bediend?	14
3	Het vaarprofiel van een klein binnenvaartschip	15
3.1	Wat is het vaarprofiel?	15
3.2	Data-analyse	15
3.3	Scenario's voor hybridisering	16
4	Hybridiseren: technische werking	18
4.1	Schematische uitwerking aandrijflijnen	19
4.2	Componenten van een hybride aandrijflijn	19
4.3	Kunnen technieken uit de vrachtwagensector worden toegepast?	22
4.4	Werkzaamheden op de werf	22
4.5	Conclusie	23
5	Haalbaarheid van retrofit van de bestaande vloot	24
5.1	Kosten van retrofit van de bestaande vloot	24
5.2	Baten van retrofit op operationele kosten	25
5.3	Inschatting van haalbaarheid voor verschillende scheepstypen	26
5.4	Resultaten op macro-niveau	27
5.5	Conclusie	28
6	Haalbaarheid van nieuwbouw	33
6.1	Voordelen van nieuwbouwschepen t.o.v. bestaande schepen	33
6.2	Nieuwbouw van kleine motorschepen en duwstellen en duwbakken	33
6.3	Conclusie	36

Inhoud

7	Praktische randvoorwaarden: hoe is dit haalbaar?	37
7.1	Wat kunnen verladers doen?	37
7.2	Wat kunnen binnenvaartondernemers doen?	38
7.3	Wat kunnen vaarwegbeheerders doen?	39
7.4	Wat kunnen overheden doen?	40
8	Conclusies en aanbevelingen	42
8.1	Conclusies van het onderzoek	42
8.2	Aanbevelingen	43
	Bijlagen	47
	Bijlage 1 Rekenmodel	47
	Bijlage 2 Overzicht aannames	49
	Bijlage 3 Uitwerking casussen retrofit	50
	Bijlage 4 Uitwerking casussen nieuwbouw	72
	Bijlage 5 Vaarwegbelasting met terugsluis	78

1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot de opdracht

De transportsector staat onder toenemende druk om te verduurzamen. Binnen deze context is het van groot belang dat ook de binnenvaartsector, die traditioneel gezien al relatief energie-efficiënt is, zich aanpast aan de nieuwe eisen voor lagere emissies en schonere technologieën. Elektrificatie van de aandrijving van binnenvaartschepen wordt gezien als een optie om deze verduurzamingsdoelen te bereiken en de concurrentiepositie van de sector te versterken.

In dit licht heeft de Topsector Logistiek opdracht gegeven tot een onderzoek naar de mogelijkheden voor de inzet van accupakketten in kleine binnenvaartschepen. Dit verzoek is ingegeven door bevindingen uit een lopend onderzoek in de provincie Zuid-Holland, waaruit blijkt dat de nieuwste generatie accupakketten, die worden ontwikkeld voor zwaardere vrachtwagens, qua energieopslag vergelijkbaar lijkt met de behoeften van kleine binnenvaartschepen. Opladen dient te gebeuren tijdens het overnachten en/of tijdens het laden en lossen met behulp van snelladers met een vermogen van minimaal 150 kW. Dit onderzoek is erop gericht om scheepseigenaren duidelijk inzicht te geven in de haalbaarheid en de business case van deze technologie.

1.2 Context

De binnenvaart is een onmisbare sector voor Nederland. Circa 42% van de vervoersprestatie in het goederenvervoer wordt gerealiseerd door de binnenvaartsector. De sector vervoert jaarlijks circa 360 miljoen ton goederen, waarvan 42 miljoen ton (2,1 miljoen beladen vrachtautobewegingen per jaar) met circa 2.500 kleine schepen (CEMT I - CEMT III, 300 à 1000 ton) die tot in de haarvaten van het vaarwegennet kunnen komen en zo de potentie hebben binnensteden te bevoorraden.

Panteia en Erasmus UPT becijferden in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat de economische waarde van de bestaande kleine binnenvaart, en kwamen uit op een bedrag van € 172 miljoen, bestaande uit besparingen ten aanzien van CO₂-emissie, vermindering van geluids-overlast door vrachtauto's, minder congestie op de wegen en minder verkeersongevallen en bovenal ook besparingen door minder benodigd onderhoud aan wegen. Daarnaast is er nog zeer veel potentie voor nieuwe stromen per kleine binnenvaart - modal shift!

Ongeëvenaarde energieprestatie, maar wijze van opwekking blijkt achter

Met betrekking tot de energie-efficiëntie geldt dat de prestaties van de binnenvaart ongeëvenaard zijn. Er is geen modaliteit die zo weinig energie-input nodig heeft om één ton goederen over een afstand van één kilometer te verplaatsen. Dit geldt zowel voor grote schepen (zesbaksduwstellen die tot 16.000 ton vervoeren) als ook voor de kleinste schepen uit de vloot (CEMT-I spitsen van 300 ton) - qua energieprestatie komt geen andere modaliteit in de buurt.

Er hoort hier echter een hele grote disclaimer bij: de wijze waarop de energie ten behoeve van de voortstuwing opgewekt wordt in de binnenvaart is momenteel allerm minst schoon. En alhoewel we de laatste jaren een versnelling bemerken bij innovatieve projecten met betrekking tot schone en toekomstbestendige schepen, is het niet evident dat de binnenvaart de nog bestaande voorsprong met betrekking tot CO₂-uitstoot kan vasthouden. Het wegvervoer weet immers nog veel zero-emissie voertuigen te introduceren. En bij de stikstof- en fijnstofemissies geldt dat de binnenvaart al is voorbij-gestreefd. Wel zijn er diverse kansrijke concepten met batterijen die op de kleinere schepen toegepast worden. Denk hierbij aan Zero Emission Services dat momenteel met CEMT-klasse IV schepen operationeel is, en de e-Pusher van Kotug.

Kleine schepen lijken qua energie- en vermogensvraag sterk op vrachtauto's

Panteia onderzocht in opdracht van de provincie Zuid-Holland hoe de schepen die veelvuldig op de provinciale wateren varen, het best verduurzaamd kunnen worden. De conclusie dat voor veel bestaande schepen een retrofit naar een hybride aandrijflijn zeer kansrijk is. Om de door een grote (en vaak te zware) dieselmotor aangedreven schroefas wordt een elektromotor bijgeplaatst die via batterijen - mobiel in de vorm van (bijvoorbeeld) ZES-containers of vast - voorzien wordt van elektrische energie. Eventueel kunnen zonnepanelen op de luiken bijdragen aan het leveren van elektrische energie.

Wij voorzien hierbij hybridisering van de aandrijflijn, en niet het vervangen van de diesel-directe aandrijving van de schroef door een diesel-elektrische oplossing voor bestaande schepen. Deze oplossing lijkt op voorhand al veel te kostbaar te zijn. Concreet betekent dit dat we een elektromotor om een holle schroefas plaatsen. De grote dieselmotor blijft in het schip staan. De elektromotor kan hierbij ondersteunen (meer vermogen) en tijdens geringe last het volledige schip aandrijven. Dit is een goedkopere en doelmatigere oplossing dat de gehele aandrijflijn vervangen.

Inzichten uit het onderzoek voor Zuid-Holland

Uit het onderzoek blijkt dat op de provinciale vaarwegen van de provincie Zuid-Holland veel schepen van CEMT-klassen II en III varen. Deze schepen beschikken doorgaans over een motorvermogen van ongeveer 350 kW (of 500 pk). Hiermee voldoen de schepen aan de binnenvaartstelregel van 1 pk per 2 ton laadvermogen.

We zien hierbij twee dominante vaarprofielen:

- Het varen met ophoogzand vanuit de zeehavens van IJmuiden of Rotterdam naar bestemmingen in Zuid-Holland (zoals Leiden, Alphen aan den Rijn, Katwijk of Delft).
- Het varen met industriezand vanaf de rivieren (Born, Wesel) maar betoncentrales langs de provinciale vaarwegen. Het eerste vaarprofiel is maar beperkt belastend voor een schip.

Het gemiddelde gevraagde motorvermogen bedraagt ongeveer 150 kW en de maximale energiebehoefte per reis (van A naar B) bedraagt zo'n 1.500 kWh - er worden hierbij korte afstanden gevaren over vaarwater met beperkte stroming. Het tweede vaarprofiel is iets meer belastend, doordat langere reizen gemaakt worden en er tegenstrooms op de rivieren gemaakt worden. Deze schepen hebben doorgaans zo'n 3.000 kWh aan energiebehoefte per reis. Echter, doordat de reizen langer zijn, worden ze veelal ook onderbroken ten behoeve van nachtrust. De maximale energiebehoefte per dag ligt dus nog lager.

Een gemiddelde trekker-oplegger beschikt over motor van tussen de 400 en 500 pk. Er zijn echter ook motoren in de markt met wel 750 pk: deze worden voornamelijk verbruikt door vrachtauto's die veelvuldig moeten accelereren of vaak over heuvelachtig terrein rijden. Qua gevraagd maximaal vermogen liggen de vrachtauto-motoren dus in lijn met wat een klein binnenvaartschip nodig heeft. Ook de belasting is doorgaans vergelijkbaar: op de snelweg, wanneer een vrachtauto op kruissnelheid rijdt, draaien de motoren doorgaans op 25% belasting.

De eerste elektrische vrachtauto's worden momenteel uitgeleverd door fabrikanten. DAF levert bijvoorbeeld elektrische vrachtauto's met een motorvermogen van 350 kW (ca. 500 pk) en een batterijcapaciteit van 525 kWh (in 5 accupakketten). Zo'n vrachtauto kan op kruissnelheid circa 5 tot 6 uur rijden. Een binnenvaartschip heeft doorgaans ongeveer het dubbele tot drievoudige aan opslagcapaciteit nodig om volledig elektrisch te varen. Dat blijkt ook, als naar de specificaties wordt gekeken van de eerste zero-emissieschepen.

De Zilvermeeuw Z9 bijvoorbeeld, een dagtochtschip, beschikt over 2x 250 pk aan voortstuwingsmotoren die hun energie verkrijgen uit een batterijpakket van in totaal 1.250 kWh. Dat is echter substantieel minder dan een uitwisselbare ZES-container met een capaciteit van 2.900 kWh.

De hoofdvraag is of het mogelijk is om een soortgelijke aandrijving kosteneffectief toe te passen bij de bestaande kleine binnenvaart.

1.3 Onderzoeksvragen

Om ervoor te zorgen dat eigenaars van dit type schepen inzicht krijgen in de haalbaarheid en business case om deze vorm van aandrijving te overwegen, richten we ons op de volgende onderzoeksvragen:

- Voor welke klasse en type schepen is dit interessant?
- Wat zou de eenmalige (aanschaf, plaatsing, etc.) en doorlopende kosten (afschrijving, onderhoud, etc.) zijn van deze aandrijving?
- In het geval van refit.
- In het geval van nieuwbouw.
- Welke andere voordelen zou deze aandrijving met zich mee kunnen brengen bij nieuwbouw?
- Hydrodynamica (en daarmee lager verbruik).
- Lagere diepgang (en daarmee doorvaren in geval van lage waterstand)
- Concurrentiepositie ten aanzien van vrachtwagens.
- Wat zijn de praktische randvoorwaarden om mee te kunnen liften op deze ontwikkeling?
- Plaatsing laadpakket in schip.
- Huidige laad- en lostijd van vracht in combinatie met laadtijd van accupakket.
- Huidige infrastructuur in havens, is er voldoende capaciteit aanwezig?

Deze onderzoeksvragen zijn bedoeld om de technische en economische haalbaarheid van de inzet van accupakketten in kleine binnenvaartschepen te evalueren, waarbij zowel retrofit- als nieuwbouwscenario's worden overwogen.

1.4 Leeswijzer

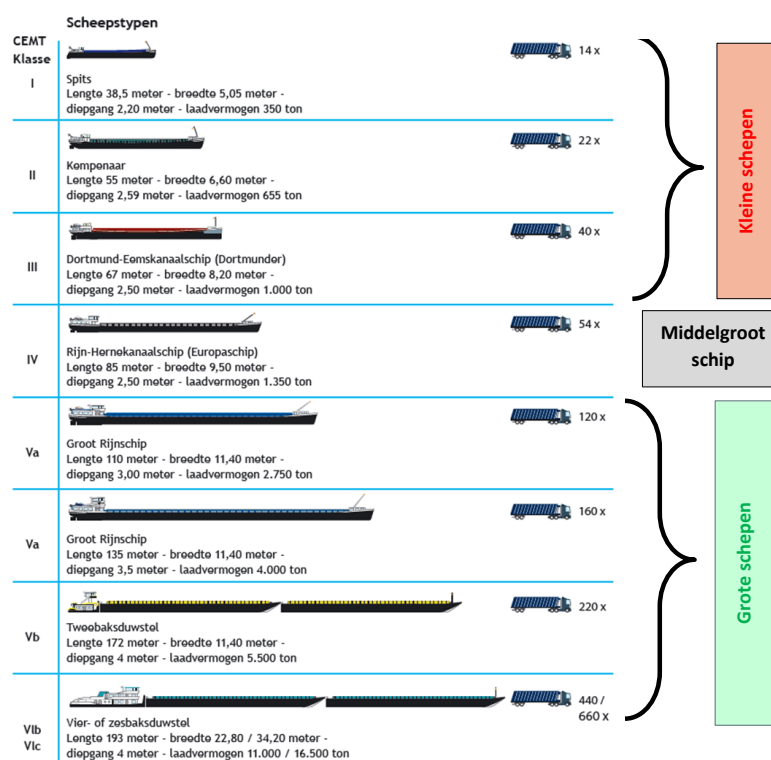
In dit rapport worden de mogelijkheden onderzocht voor hybridisering van kleine binnenvaartschepen met technologieën uit de trucksector. De structuur van het rapport is als volgt.

- In Hoofdstuk 1 wordt de aanleiding voor het onderzoek besproken en de centrale onderzoeksvragen geïntroduceerd.
- Hoofdstuk 2 biedt een overzicht van de huidige binnenvaartvloot, de technische staat van de schepen, en de belangrijkste vaarwegen en ladingen.
- Hoofdstuk 3 presenteert vervolgens een data-analyse van het vaarprofiel en de energiebehoefte van verschillende scheepstypen.
- In Hoofdstuk 4 worden de meest kansrijke scheepstypen voor hybridisering geïdentificeerd.
- Hoofdstuk 5 introduceert scenario's voor hybridisering.
- Hoofdstuk 6 diept de technische werking van hybride aandrijflijnen verder uit.
- Hoofdstuk 7 vergelijkt de haalbaarheid van retrofit en nieuwbouw.
- Hoofdstuk 8 sluit het rapport af met conclusies en aanbevelingen.

2 Logistieke betekenis van de kleine binnenvaart

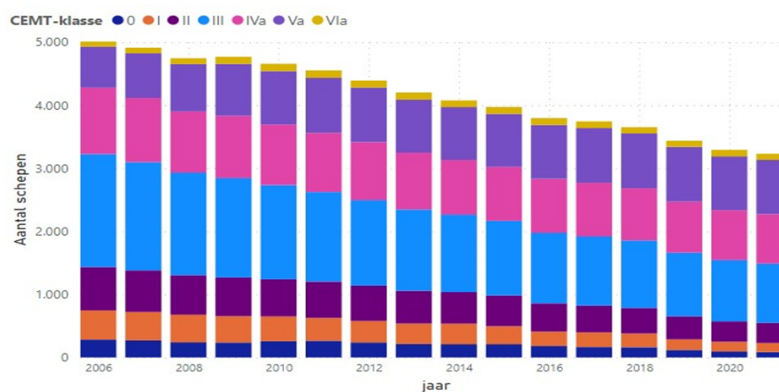
2.1 Beschrijving van de binnenvaartvloot

De binnenvaartvloot in Nederland is divers en bestaat uit verschillende typen schepen, waaronder duwbakken, motorvrachtschepen en motortankschepen. De focus van dit rapport ligt op de kleinere schepen, die binnen de CEMT-klassen I tot en met III. Onderstaande illustratie geeft de typische afmetingen van binnenvaartschepen weer.



Figuur 1 Overzicht CEMT-klassen, afmetingen en laadvermogen - aanduiding kleine schepen, bron Bureau Voorlichting Binnenvaart

Kleine binnenvaartschepen spelen een belangrijke rol in het logistieke netwerk, met name op de kleinere vaarwegen (zie ook paragraaf 2.4). Sinds 2006 is er echter sprake van een duidelijke afname in het aantal actieve schepen, zie hiervoor Figuur 2.



Figuur 2 Omvang van de actieve droge ladingvloot in Nederland, naar CEMT-klasse.¹

¹ Bron: Panteia/Erasmus UPT (2023)

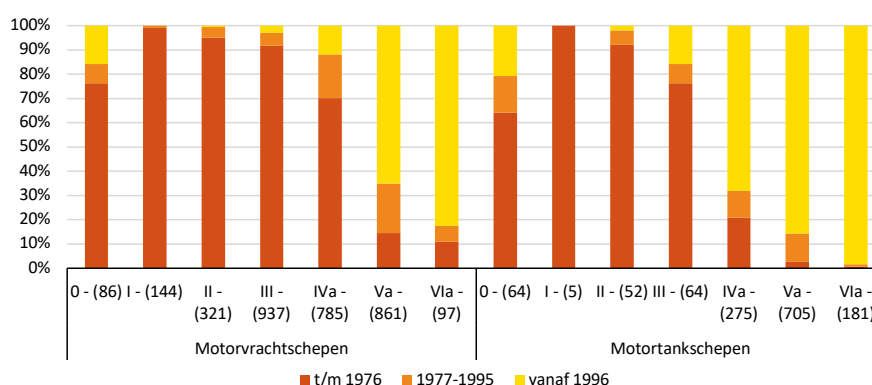
Deze daling is te verklaren door een combinatie van factoren, waaronder de liberalisering van de binnenvaartmarkt (en bijbehorende sloopregeling), demografische veranderingen zoals de vergrijzing binnen de sector, en economische schommelingen, waaronder de financiële crisis van 2008, die leidde tot lagere tarieven en een verminderde mogelijkheid om te investeren in vernieuwing van de vloot. Bij de tankvaart is de vloot door de verplichte dubbelwandigheid ook bijzonder sterk teruggelopen.

Er gelden bovendien stringente technische vereisten voor binnenvaartschepen die betrekking hebben op vrijwel alle elementen van het schip behalve de hoofdmotor. Denk daarbij aan de elektrische aansturing van bijvoorbeeld de stuurinrichting, de breedte van de gangboorden, de afmetingen van de leefruimten aan boord van het schip, etc. Deze eisen zijn voor het eerst in 1976 geformuleerd en later in 1995 grondig herzien. Schepen die voor deze jaren gebouwd zijn hebben overgangsbepalingen gekregen met daaraan gekoppeld termijnen. Veel van deze overgangsbepalingen zijn voor het merendeel van de vloot financieel-economisch onhaalbaar (gebleken).

2.2 Technische staat van de vaartuigen

De vloot bestaat voor een groot aandeel schepen die dateren uit de jaren 1950-1970. Zie daarvoor Figuur 3. Uit de grafiek blijkt dat schepen van CEMT-klassen I-III hoofdzakelijk (>95%) gebouwd zijn voor 1976. Deze schepen moeten de komende jaren (2035/2041) gaan voldoen aan zeer strenge nieuwbouwbeperkingen die vermoedelijk extreem kostbaar zijn.

Dit brengt uitdagingen met zich mee, vooral met het oog op beschikbaarheid van de vloot, de technische vereisten aan binnenvaartschepen en de noodzakelijke vergroening van de vloot. Daarnaast is het aantal nieuwe schepen dat aan de vloot wordt toegevoegd, zeer beperkt, voornamelijk vanwege de hoge kosten en het gebrek aan financiële draagkracht bij de eigenaren van kleinere schepen.

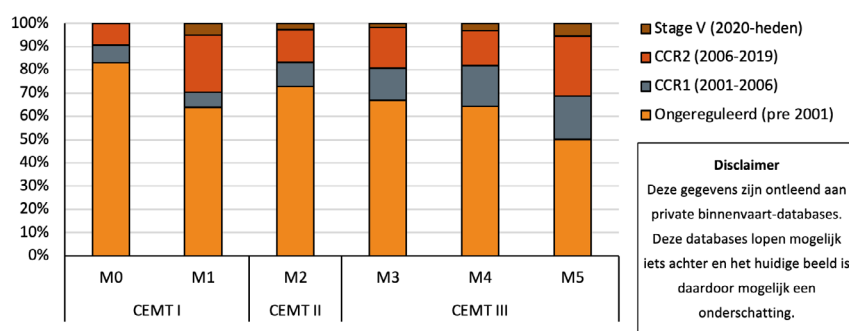


Figuur 3 Bouwjaarverdeling van schepen naar type en CEMT-klasse, Bron: Panteia/Erasmus UPT (2023)²

Veel van deze schepen zijn bovendien uitgerust met oudere verbrandingsmotoren die via fossiele diesel worden voorzien van energie, zie daarvoor Figuur 4. Ter vergelijking worden de emissienormeringen voor zowel schepen als vrachtauto's weergegeven in Figuur 5.

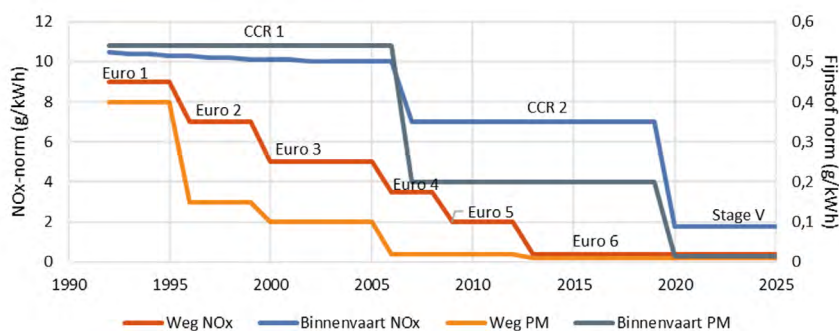
² <https://www.eur.nl/upt/media/111851>

Alternatieve aandrijvingen worden nog uitsluitend toegepast bij werkschepen en nog niet bij de vrachtvervoerende kleine binnenvaart. Hoewel er initiatieven zijn om deze schepen te moderniseren, verloopt dit proces traag, vooral vanwege de hoge kosten die gepaard gaan met het vervangen of upgraden van de motoren en het gebrek aan een businesscase voor het vergroenen. Daarnaast zijn veel verladers tot op heden niet geneigd extra te betalen voor groenere schepen en dwingt de overheid nog onvoldoende het hebben van schonere motoren af. Europa, de Rijnvaartcommissie en het Rijk hebben geen dwingende eisen, Port of Rotterdam heeft de vereiste om per 2025 tenminste een CCR-2 gecertificeerde motor aan boord te hebben teruggetrokken en bij aanbestedingen van overheden (Rijk, provincie, gemeente of waterschap) wordt nog voornamelijk op laagste prijs ingekocht en worden geen incentives gegeven voor inzet van groenere schepen.



Figuur 4 Leefijd van verbrandingsmotoren aan boord van kleine schepen. Bron: Panteia/Rebel, o.b.v. private binnenvaart-databases³

Uit onderstaande figuur blijkt dat de emissielimieten voor verbrandingsmotoren in binnenvaartschepen altijd al hoger hebben gelegen dan voor trucks. Uit figuur 4 blijkt dat binnenvaartschepen die zijn uitgerust met verbrandingsmotoren met emissieklasse CCR 1 of CCR 2 zelfs tot de 'schonere' schepen uit de vloot behoren. Tot en met het jaar 2019 mochten CCR 2 motoren worden toegepast aan boord van binnenvaartschepen. De emissielimiet ligt voor die motoren op 6 à 7 gram NO_x per kWhnetto. Ter vergelijking: een vrachtautomotor uit het jaar 2019 (Euro 6) kende een limiet van 0,4 gram NO_x per kWhnetto. Een relatief schoon binnenvaartschip is dus een factor 15 à 18 vervuiler qua emissie dan een vrachtauto. Wanneer we corrigeren voor laadvermogen (voordeel binnenvaart) en het belastingsprofiel van de motor resteert nog altijd een nadeel van circa 30% voor de binnenvaart qua NO_x en een nadeel van 400% ten aanzien van fijnstofemissie.



Figuur 5 Vergelijking van emissiewaarden vrachtauto's en binnenvaartschepen. Bron: Panteia (2018)⁴

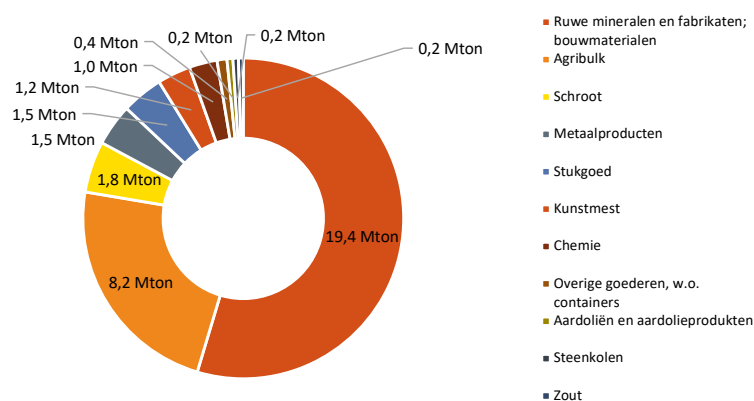
3 Merk op dat een CCR-2 verbrandingsmotor zich qua uitstoot van stikstofoxiden laat vergelijken met een Euro 2 vrachtautomotor en qua uitstoot van fijnstof met een Euro 1 vrachtautomotor.

4 https://www.flevoland.nl/FlevolandAdmin/getmedia/314498e8-2782-4c6f-939b-38fc32e16000/Visie_duurzaam_goederenvervoer_Flevoland.pdf

De toepassing van moderne Stage V verbrandingsmotoren is in de kleinere scheepsklassen zeer beperkt. Dit betekent dat een groot deel van de vloot ook een negatieve impact heeft op het milieu (stikstofdepositie en luchtkwaliteit) vanwege de hoge uitstoot. De beperkte voortgang in de modernisering van de kleine schepen staat in schril contrast met de ontwikkelingen in de wegvervoersector. Ook de grotere scheepsklassen kennen een vlottere toepassing van schonere verbrandingsmotor en alternatieve aandrijftechnologieën. Hierdoor dreigt de kleine binnenvaart op termijn de maatschappelijke license to operate te verliezen. Vergroening is dus een noodzakelijke randvoorwaarde om maatschappelijk draagvlak te behouden.

2.3 Welke lading wordt er vervoerd?

De ladingen die door de kleine binnenvaartvloot worden vervoerd, bestaan hoofdzakelijk uit bouwmaterialen en veevoerders. Bouwmaterialen, zoals zand en grind, vormen de belangrijkste categorie en zijn goed voor ongeveer 70% van het totale vervoerde volume door kleine schepen. Landbouwproducten en veevoerders maken ongeveer 20% uit van de ladingen die door deze schepen worden vervoerd. Zie daarvoor ook Figuur 6.



Figuur 6 Ladingspakket van kleine binnenvaartschepen (2023). Bron: Panteia/Rebel

Er is er een dalende trend waarneembaar in het totale vervoerde volume van kleine binnenvaartschepen, mede door consolidaties in zowel de bouwmaterialenindustrie als de veevoederindustrie, waardoor productie gecentraliseerd wordt op enkele plaatsen, veelal langs groot vaarwater, en ten gevolge van een afname in de vraag naar veevoerders door de stikstofcrisis en de eiwittransitie. Naast bouwmaterialen en veevoerders vervoeren kleine schepen in beperkte mate ook andere goederen, zoals metalen, chemische producten en containers. Het totale vervoerde volume is echter de laatste jaren gestaag afgenomen, wat in lijn is met de afname van het aantal kleine schepen in de vloot.

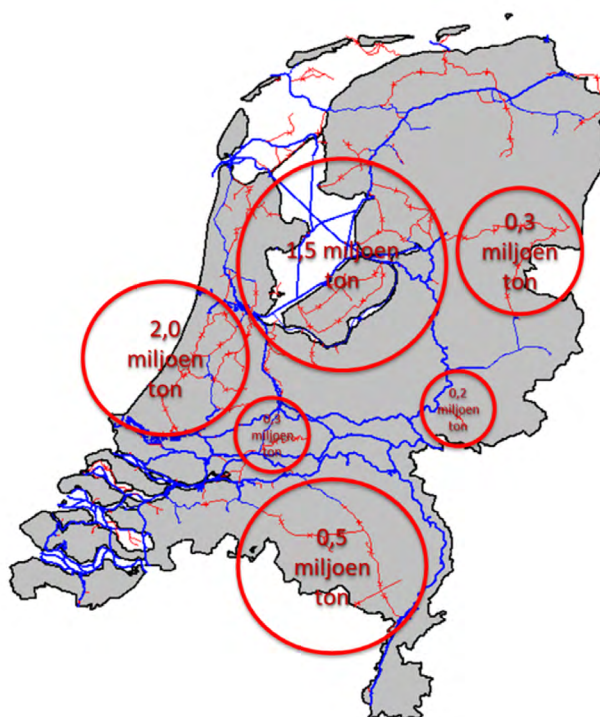
De afname wordt ook beïnvloed door infrastructurele aanpassingen, zoals de opwaardering van bepaalde vaarwegen die nu toegankelijk zijn voor grotere schepen⁵, waardoor de noodzaak voor kleine schepen verder afneemt. Ondanks de afname in het vervoerde volume blijft de kleine binnenvaartvloot van groot belang voor het transport van goederen naar industrieën gelegen aan kleine vaarwegen. Zonder bevoorradings van deze schepen moeten verladende partijen uitwijken naar de vrachtauto waardoor de logistieke kosten zeer sterk zullen toenemen. Zeker in de bouwmaterialenindustrie maakt de transportprijs een groot onderdeel uit van de totale productprijs en betekent dit verlies van de concurrentiepositie van de industrie. Dit is *paradoxaal* want ook vergroening (zie paragraaf 2.2) leidt tot een verhoging van de kostprijs en dus verlies van de concurrentiepositie.

⁵ Voorbeelden hiervan zijn binnen Nederland het Maximakanaal waardoor de Zuid-Willemsvaart t/m de binnenvaart van Veghel bereikbaar werd voor CEMT-klasse IV en in Frankrijk de geplande openstelling van het Seine-Nord kanaal waardoor het huidige Canal du Nord (CEMT-klasse I) en het Canal de Saint-Quentin (CEMT-klasse I) vermeden kunnen worden

2.4 Welke vaarwegen worden bediend?

De kleine binnenvaartschepen bedienen voornamelijk de kleinere vaarwegen in Nederland, die vanwege hun beperkte afmetingen niet toegankelijk zijn voor grotere schepen. Deze vaarwegen zijn verspreid over heel Nederland en spelen een belangrijke rol in de logistiek van industriële grondstoffen voor voornamelijk de bouwindustrie, met name voor bedrijven die afhankelijk zijn van deze routes voor hun aan- en afvoer van goederen. De teruglopende beschikbaarheid van kleine schepen vormt echter een bedreiging voor de toegankelijkheid van deze vaarwegen, wat zou kunnen leiden tot een grotere afhankelijkheid van wegvervoer met bijbehorende negatieve gevolgen zoals congestie, verkeersveiligheidsrisico's en hogere milieubelasting.

Belangrijke vaargebieden voor kleine schepen zijn onder andere te vinden in provincies zoals Noord-Holland, Zuid-Holland, Drenthe en Overijssel (zie Figuur 5). Ook internationaal, in landen zoals België en Frankrijk, spelen deze schepen een cruciale rol. In België bedienen ze bijvoorbeeld regio's rond Aalst, Mechelen, Leuven en Turnhout, terwijl in Frankrijk diverse industriële gebieden afhankelijk zijn van de diensten die deze kleine schepen bieden. Een verdere afname van de vloot heeft dan ook aanzienlijke impact op de logistiek in deze regio's.



Figuur7 Vaarwegenkaart van Nederland met in het rood vaarwegen die als klein vaarwater te classificeren zijn Bron: Panteia/Rebel

De krimp van de vloot en de afnemende investeringen in onderhoud en bediening van kleinere vaarwegen dragen bij aan de onzekerheid over de toekomstige inzet van deze vaartuigen. Als deze trend zich voortzet, zullen bepaalde vaarwegen minder goed bediend worden, wat kan resulteren in een versnelde verschuiving naar wegvervoer. Dit verhoogt de druk op het wegennetwerk verder en heeft negatieve effecten hebben op zowel het milieu als de efficiëntie van het transportnetwerk in Nederland en daarbuiten.

3 Het vaarprofiel van een klein binnenvaartschip

3.1 Wat is het vaarprofiel?

Wij onderscheiden twee typen vaarprofielen:

- **Het technische vaarprofiel**

Het vaarprofiel geeft per schip diverse kerngegevens. Vanuit onze inzichten zijn daarbij van belang: de maximale vermogensvraag (piek), de maximale energie-opslagcapaciteit (gevraagde hoeveelheid energie per reis) en de verdeling van de vermogensvraag over de tijd (opbouw aandrijflijn). Belangrijk om te realiseren is dat deze gegevens enkel op scheepsniveau verkregen kunnen worden. Met behulp deze kerngegevens is het mogelijk om inzichten te verkrijgen in de meest optimale manier om de energietransitie in de sector vorm te geven.

- **Het geografische vaarprofiel**

Dit vaarprofiel beschrijft vooral de vaarwegen en havens die door de schepen worden aangedaan.

Het energieverbruik van een schip is afhankelijk van het type vaarweg (rivier vs. kanaal), het profiel (krap profiel of normaal/ruim profiel), stroomsnelheden en beladingskenmerken. Beladen verbruikt een schip meer dan wanneer het leeg is, bij tegenstroom is er meer energie benodigd dan op stilstaand water of met stroom mee. Met ons model berekenen we de vermogensvraagverdeling van een schip, het gemiddelde gevraagde vermogen, het piekvermogen en de maximale energieopslag van een schip.

3.2 Data-analyse

Er is een modelmatige berekening uitgevoerd om het technische en geografische vaarprofiel van kleine binnenvaartschepen in Nederland in kaart te brengen. Deze analyse richtte zich op het bepalen van de inzet van de schepen, de vermogensvraag en de energiebehoefte per reis. Het vaarprofiel van een schip beschrijft de inzet van het schip, zowel in technische termen (zoals het gevraagde vermogen op verschillende momenten) als geografisch (waar het schip vaart).

Onze database omvat 1.100 kleine binnenvaartschepen. Voor al deze schepen is het vaarprofiel door-gerekend, waarbij zowel uitspraken zijn gedaan over een langere tijdsperiode (één of meerdere jaren) als ook over de vermogens- en energie-opbouw per reis. We hebben de piekbelasting (in energie en vermogen) en de gemiddelde energievraag in kaart gebracht, wat het mogelijk maakt om gedetailleerde uitspraken te doen over de meest optimale vorm van aandrijving voor deze schepen.

Uit de berekeningen blijkt dat veel schepen overgemotoriseerd zijn, dat wil zeggen dat ze over meer vermogen beschikken dan strikt noodzakelijk is. Verbrandingsmotoren worden bij lage belasting zeer inefficiënt belast, wat betekent dat bij een eventuele overstap naar elektrische aandrijving minder vermogen en energie benodigd zijn dan bij een diesel-aangedreven schip. De meeste schepen in dit onderzoek kunnen met een elektromotor van 250 kW bijna al hun reizen maken.

De opslag van energie aan boord van schepen ligt ingewikkelder vanwege de ruimte- en gewichtsbeperkingen van batterijen. Batterijen nemen veel ruimte in beslag en zijn zwaar, waardoor het verstandig lijkt om de maximale hoeveelheid energie die aan boord kan worden opgeslagen, te beperken tot in het uiterste geval 1,5 MWh. Onderstaande tabel, gebaseerd op diesel-aangedreven schepen, geeft een overzicht van de benodigde energie en vermogensvraag van verschillende scheepstypen.

kWh	Voorkomens	Vaaruren (ø)	Max. vaaruren	Vermogen (gem.)	Vermogen (max)	Energie gem. reis	Energie* max. reis
Kraanschip	24	120	343	58	71	358	604
M2 (55 x 6,60)	12	106	343	45	47	260	424
M3 (63 x 7,20)	6	167	324	60	82	367	666
M4 (67 x 8,20)	6	101	245	83	108	545	901
Motorbeunschip	80	1,128	2,561	120	160	953	1,537
M2 (55 x 6,60)	12	784	1,794	72	92	503	803
M3 (63 x 7,20)	34	1,298	2,221	113	151	867	1,447
M4 (67 x 8,20)	26	1,127	2,561	135	180	1,157	1,791
M5 (80 x 8,20)	8	923	1,933	176	235	1,337	2,197
Motortankschip	40	991	4,527	124	162	1,468	1,989
M1 (39 x 5,05)	1	54	54	50	50	641	775
M2 (55 x 6,60)	18	738	1,959	91	106	1,028	1,388
M3 (63 x 7,20)	3	900	1,689	130	177	1,238	1,855
M4 (67 x 8,20)	12	1,052	2,179	148	196	1,631	2,390
M5 (80 x 8,20)	6	1,827	4,527	187	272	2,715	3,260
Motorvrachtschip	322	863	3,215	106	157	1,223	1,778
M1 (39 x 5,05)	41	641	3,215	51	71	634	878
M2 (55 x 6,60)	102	698	2,091	80	112	855	1,237
M3 (63 x 7,20)	68	890	2,249	108	169	1,226	1,847
M4 (67 x 8,20)	54	942	2,083	132	193	1,537	2,245
M5 (80 x 8,20)	57	1,212	2,556	166	250	2,003	2,866

Tabel 1 Overzicht belangrijke voortstuwingskenmerken op basis van modeldoorrekening. Bron: Panteia/Rebel

Belangrijk is dat specifieke scheepstypen ook grote hulpvermogens kennen. Voor bijvoorbeeld motorbeunschepen of -tankschepen geldt dat deze ook bij niet-varen een flinke vermogensvraag kunnen hebben. Deze vraag varieert qua orde-grootte tussen 20 en 40 kW. In principe is dit goed in te passen bij het dimensioneren van het benodigde accupakket.

3.3 Scenario's voor hybridisering

De kosten van elektrificatie in de binnenvaart zijn voornamelijk gerelateerd aan de opslag van energie, met name de batterijen. Het vermogen van de elektromotor zelf is minder bepalend voor de totale kosten. Daarom richten de scenario's voor hybridisering zich vooral op de benodigde opslagcapaciteit aan boord om een bepaalde hoeveelheid reizen volledig elektrisch te kunnen uitvoeren.

In situaties waar nog steeds een verbrandingsmotor nodig is, wordt uitgegaan van het gebruik van een Stage V motor, die op HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) of fossiele diesel loopt.

De volgende scenario's voor retrofit worden bekeken in dit onderzoek:

- **50% van mediane reis elektrisch**
Het schip wordt zodanig geëlektrificeerd dat 50% van de mediane reizen volledig elektrisch kunnen worden uitgevoerd.
- **Mediane reis elektrisch**
Het schip is in staat om de mediane reis volledig elektrisch uit te voeren.
- **Gemiddelde reis elektrisch**
Elektrificatie is voldoende om de gemiddelde reis volledig elektrisch uit te voeren.
- **80% van de reizen elektrisch**
Het schip is zodanig geëlektrificeerd dat 80% van alle reizen in een jaar volledig elektrisch kunnen worden uitgevoerd.

Voor nieuwbouwschepen is gerekend met volledige elektrificatie - dat wil zeggen dat het schip gebaseerd op het vaarprofiel waarvoor het ontworpen is gedurende de gehele levensduur van de batterij elektrisch kan varen.

4 Hybridiseren: technische werking

Binnenvaartschepen kunnen op verschillende manieren worden aangedreven.

- **Traditioneel**
Een aandrijving ziet er als volgt uit: een dieselmotor die gekoppeld staat aan een keerkoppeling, die gekoppeld wordt met een schroefas aan de schroef. De dieselmotor wekt mechanische energie op door diesel (uit de bunkers) te verbranden. *Er zijn varianten zonder keerkoppeling - in dit geval gaat het om langzaamlopende motoren die direct-omkeerbaar zijn.*
- **(partieel) Hybride**
In deze configuratie wordt in aanvulling op bovenstaande, achter de keerkoppeling een elektromotor geplaatst. Deze kan worden gekoppeld aan specifieke keerkoppelingen, of rechtstreeks aan de schroefas (als de elektromotor een zgn. torque-motor is). In deze configuratie kunnen de diesel- en elektromotor afzonderlijk van elkaar de schroefas aandrijven, maar ook gezamenlijk (boost-modus). Tegelijkertijd is het ook mogelijk om met de dieselmotor het elektrisch systeem op te laden (indien er een batterij gekoppeld is). De dieselmotor wekt mechanische energie op door diesel (uit de bunkers) te verbranden. De elektromotor zet elektrische energie om in mechanische industrie; de elektrische energie kan verkregen worden door middel van een dieselgenerator (traditioneel model) of door middel van een batterij of brandstofcel.
- **Serieel hybride**
Ook wel diesel-elektrisch genoemd. Bij deze vorm van aandrijving drijft uitsluitend een elektromotor de schroef(as) aan. De elektrische energie wordt verkregen via èèn of meerdere (diesel)generatoren, en/of een batterij en/of een brandstofcel.

In dit onderzoek richten we ons op de partieel hybride variant. Het idee hierbij is dat de bestaande diesel-directe aandrijflijn (hoofdmotor, schroefas, schroef) gehandhaafd kunnen blijven aan boord en dat door middel van een kleine elektromotor, accu en een power-managementsysteem het schip gereed gemaakt wordt om trajecten die een gering vermogen vragen elektrisch te kunnen varen.

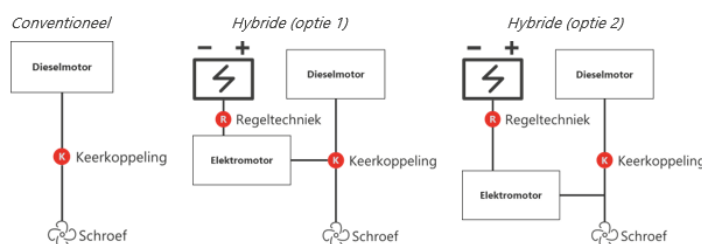
In de West-Europese binnenvaart zijn momenteel circa 50 schepen uitgerust met een (deels) elektrische aandrijving. Voorbeelden van partiele hybride schepen zijn de Essex, de Borelli, de Nadorias, de Goblin en de Duandra.

	Essex	Borelli	Nadorias	Goblin	Duandra
Afmetingen	39x5,05 m 350 ton	110x11,45 m 3000 ton	110x11,45 m 3000 ton	135x11,45 m 4000 ton	110x16 m 6000 ton
CEMT-klasse	I	Va	Va	Va	Vla
Hoofdmotor	Deutz 110 kW	Mitsubishi 1250 kW	Mitsubishi 1250 kW	2x Mitsubishi totaal 1354 kW	2x Volvo totaal vermogen 960 kW
Elektromotor	Baumüller 50 kW	Visedo 360 kW	Baumüller 400 kW	2x Baumüller totaal 560 kW	2x EMS totaal 624 kW
Elektrische energie via	Dieselgenerator 40 kW	2x Dieselgenerator 630 kW	Dieselgenerator	Dieselgenerator	2x Dieselgenerator

Tabel 2 Partieel hybride toepassingen in de bestaande binnenvaartvloot. Bron: Panteia/Rebel

4.1 Schematische uitwerking aandrijflijnen

Uit de interviews die wij gehouden hebben is gebleken dat elektrische vermogens tot 250 kW in vrijwel alle gevallen direct probleemloos op de schroefas geplaatst kunnen worden (hybride, optie 2). Bij grotere vermogens is aanvullende investeringen in de keerkoppeling nodig, wat de kosten verhoogt (hybride, optie 1). Onderstaand staan de verschillende opties schematisch uitgewerkt.



Figuur 8 Schematische uitwerking aandrijflijnen (conventioneel). Bron: Panteia/Rebel

4.2 Componenten van een hybride aandrijflijn

Een partieel hybride schip bestaat uit:

- Eén of meerdere sloopsschroeven.
- Eén of meerdere schroefassen.
- Een keerkoppeling (optioneel).
- Eén of meerdere diesel aangedreven hoofdaandrijfmotoren, incl. bunkertanks t.b.v. diesel.
- Een elektromotor die gekoppeld staat aan de schroefas(sen) (high torque), of een elektromotor die gekoppeld staat met de keerkoppeling.
- Een energiebron die elektrische energie kan leveren voor de elektromotoren (batterij).
- Een powermanagement systeem.

Dit onderzoek richt zich primair op het elektrische deel van het hierbij beschreven systeem.

Onderdeel	In scope	Toelichting
Sloopsschroef	Nee	Geen aanpassingen aan schroef benodigd.
Schroefas	Nee	High-torque elektromotoren moeten op de schroefas geplaatst worden. Uit interviews is gebleken dat hiervoor geen aanpassingen benodigd zijn.
Keerkoppeling	Deels	Afhankelijk van of de elektromotor op de schroefas geplaatst kan worden
Diesel hoofdaandrijving	Nee	Buiten scope. Alleen vergelijking met nieuwbouw Stage V en emissieprestatie wordt gemaakt.
Bunkertanks	Nee	Irrelevant.
Elektromotor	Ja	Cruciaal onderdeel van de aandrijflijn.
Powermanagement-systeem	Ja	Benodigd om koppeling te maken tussen elektrische energie vanuit bron en energie die door elektromotor verwerkt wordt.
Energiebron t.b.v. elektrische energie	Ja	In dit onderzoek is dit een <i>vaste batterij</i> .

Tabel 3 Beschrijving componenten van het partieel-hybride systeem. Bron: Panteia/Rebel

4.2.1 Batterij

Een batterij is een cruciaal onderdeel van de zero-emissie hybride oplossing. De batterij heeft één functie: het leveren van elektriciteit aan de elektromotor, die deze vervolgens inzet in mechanische energie waarmee de schroefas wordt aangedreven. De batterij kan op twee manieren opgeladen worden:

- 1 via walstroom, oftewel
- 2 door de diesel-directe hoofdaandrijving waarbij de elektromotor als een dynamo fungeert en energie teruglevert aan de batterij.

De volgende leveranciers leveren batterijen aan de binnenvaart: EST-Floattech, Super-B, Ebusco Maritime Batteries. Voorbeelden van schepen in de binnenvaart die met batterij-systemen zijn uitgerust zijn - let op dit betreft hoofdzakelijk nieuwbouwschepen en vrijwel geen retrofit.

Schip	Afmetingen	CEMT-klasse	Capaciteit	Leverancier
Invotis IX	42x9,40 m	(CEMT IV)	136,5 kWh	EST-Floattech
Sendo-Liner	110x11,45 m	(CEMT Va)	546 kWh	EST-Floattech
Stormvogel	86x11,45 m	(CEMT Va)	336 kWh	EST-Floattech
Elektra ⁶	20x8,25 m	(CEMT III)	2.120 kWh	EST-Floattech
FPS Maas ⁷	110x11,45 m	CEMT Va)	504 kWh	EST-Floattech
Schwielowsee			126 kWh	EST-Floattech
IJ-Veer 60-serie			272 kWh	EST-Floattech
Jan van Riebeeck			136,5 kWh	EST-Floattech
Berlin			139-162 kWh	Super B
A Rosa Alva			2x80 kWh	Super B
Zilvermeeuw 9 ⁸	39x7,70 m	(CEMT III)	1.438 kWh	Super B
Ruigt	50x9,50 m	(CEMT IV)	Onbekend	Onbekend
Den Bosch Max	90x11,45 m	(CEMT IV)	500 kWh	Ebusco
Antonie ⁹	135x11,45 m	(CEMT Va)	1.100 kWh	Ebusco

Tabel 4 Overzicht bestaande schepen die zijn uitgerust met batterijen. Bron: Panteia/Rebel

Batterijen in de scheepvaart zijn veelal van het type lithium-ijzerfosfaat. De batterijen hebben een gewicht van 10 kg per kWh. Ook nemen ze veel ruimte in, circa 7 liter per kWh aan ruimte. Dit betekent dat een batterijpakket van 1.000 kWh minimaal 7 m³ aan ruimte in beslag zal nemen aan boord, exclusief ruimte om bij de batterijen te komen. Een ZES-pack (20-voets container) heeft een inhoud van 33 m³ en een batterijcapaciteit van 2.900 kWh. Als vuistregel kan een ruimtebeslag van 10 m³ per mWh aangenomen worden. De batterijen moeten bovendien in een aparte ruimte geplaatst worden - bijvoorbeeld een herft (een bergplaats in het ruim) of een voormachinekamer en/of woning.

De batterijen kunnen 3500 cycli mee of ten hoogste 11 jaar indien ze laagbelast worden¹⁰. Om deze levensduur te behalen is het belangrijk dat de batterijen niet te ver geladen en ontladen worden; men houdt laden tot 90% van de capaciteit aan en ontladen tot 10% van de capaciteit.

Gedurende deze levensduur loopt de capaciteit van de batterijen terug met 20%. Dat betekent dat wanneer een schip ontworpen wordt om aan het einde van zijn levensduur nog de maatgevende reis uit het vaarprofiel te maken, er bij investering aanvullende batterijcapaciteit benodigd is om te compenseren voor het verlies.

⁶ De Elektra is een waterstof-aangedreven duwboot met een batterij aan boord ten behoeve van peakshaving.

⁷ De FPS Maas was een retrofit van een bestaand binnenvaartschip naar een waterstof-aangedreven schip met een batterij aan boord ten behoeve van peakshaving. Inmiddels bekend als de H2 Barge. Het schip maakt gebruik van uitwisselbare waterstofcontainers.

⁸ De Zilvermeeuw is een passagiersschip.

⁹ De Antonie is een waterstof-aangedreven nieuwbouwschip. Het schip maakt gebruik van uitwisselbare waterstofcontainers.

¹⁰ De belasting van een batterij wordt gemeten.

Batterijen vormen het meest kostbare onderdeel van een hybride aandrijflijn. De huidige marktprijzen voor batterijen die worden toegepast in de binnenvaartsector bedragen € 650 per kWh. Dat heeft niet te maken met de ruwe prijs van de batterijen, maar veel meer met het inbouwen aan boord van een binnenvaartschip conform ESTRIN-regelgeving¹¹.

Uit de interviews is gebleken dat de batterijen die momenteel worden toegepast ook gekeurd zijn conform maritieme regelgeving. Dit maakt dat de kosten mogelijk hoger zijn dan strikt noodzakelijk.

4.2.2 Regeltechniek

De elektrische energie vanuit de batterijen moet op een goede manier worden verwerkt door de elektro-motor en vervolgens de scheepsschroef. Doordat energie uit verschillende bronnen (diesel-directe aandrijving, elektromotor) wordt gecombineerd is een power-management systeem benodigd.

De volgende leveranciers van power-managementsystemen zijn er in de binnenvaart: Danfoss, Werkina en Holland Ship Electric (w.o. Oechies, ESM). De regeltechniek kost doorgaans zo'n € 75 per kWh. Aan boord wordt een grote 'kast' geplaatst die ervoor zorgt dat de spanning op de juiste manier geregeld wordt tussen elektromotor en energiebron.

4.2.3 Elektromotor

Elektromotoren voor de binnenvaart bestaan in verschillende hoedanigheden. Er zijn motoren die rechtstreeks op de schroefas geplaatst kunnen worden, de zogenaamde High Torque motoren. Dit kan alleen bij relatief kleine vermogens, tot 250 kW. Grotere vermogens moeten via een keerkoppeling gekoppeld worden aan de schroefas. Deze vermogens kunnen geleverd worden via a-synchroon motoren en permanent-magneet motoren. In de binnenvaart zijn er de volgende leveranciers van elektromotoren:

Leverancier	Inbouw-begeleiding
Baumüller (high-torque motoren)	Holland Ship Electric ¹²
WEG	Koedood
Oswald	New Electric Marine

Leveranciers elektromotoren. Bron: Panteia/Rebel

Qua aandrijftechniek zijn er weinig verschillend. Permanent-magneet motoren zijn duurder, maar hebben minder onderhoud benodigd. Wel geldt dat als er onderhoud noodzakelijk is, de motor meteen uit het schip gehaald moet worden. A-synchroon motoren daarentegen zijn goedkoper, behoeven iets meer onderhoud maar dit kan normaliter gewoon aan boord gebeuren. Zowel de technische als de economische levensduur van elektromotoren wordt verondersteld hoger te zijn dan conventionele verbrandingsmotoren. In onze studie gaan we uit van een levensduur van 20 jaar.

Elektromotoren zijn zeer efficiënt. Uit literatuur blijken percentages tussen de 85% en de 95%. De interviews bevestigen dit beeld; wij gaan uit van 90% rendement van de elektromotor. Dat wil zeggen dat voor elke 100 kWh die uit de batterij geleverd wordt, 90 kWh wordt omgezet in voortstuwingsenergie.

¹¹ https://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2020/10/ES_TRIN_2021_nl.pdf

¹² Hieronder valt ook Hybrid Ship Propulsion

4.2.4 Keerkoppeling

Indien gekozen wordt voor een oplossing waarbij een elektromotor een as aandrijft, is een koppeling nodig met de schroefas en de bestaande diesel-directe hoofdaandrijving. Leveranciers van keerkoppelingen in de binnenvaart zijn ADS van Stigt, Esco, Teus Vlot en Reintjes.

Keerkoppelingen zijn vrijwel altijd noodzakelijk in de binnenvaart, wanneer gewerkt wordt met een verbrandingsmotor die direct gekoppeld staat aan de schroefas. Alleen in het geval van (oudere) langzaamlopende en direct omkeerbare hoofdmotoren kan gewerkt worden zonder keerkoppeling. Anders is een keerkoppeling noodzakelijk om (i) de draairichting van de schroef te veranderen, bijvoorbeeld bij het achteruit varen en/of het afremmen en (ii) de draaisnelheid van de motor (medium of high speed) af te stemmen op de draaisnelheid van de schroef (langzaam).

Elektromotoren kunnen rechtstreeks aan de schroefas gekoppeld worden (in het geval van high torque motoren) of via de keerkoppeling. Indien de elektromotor aan de schroefas gekoppeld wordt, kan de keerkoppeling 'in zijn vrij' gezet worden en ontstaan er geen verliezen. Wordt de elektromotor gekoppeld aan de keerkoppeling, dan ontstaan er, afhankelijk van het type keerkoppeling, wel verliezen. Wanneer gekozen wordt de elektromotor via een keerkoppeling bij te plaatsen, is een specifieke keerkoppeling met meerdere ingangen benodigd.

4.3 Kunnen technieken uit de vrachtwagensector worden toegepast?

Technieken uit de vrachtwagensector kunnen niet zonder substantiële aanpassingen worden toegepast in de binnenvaart. Specifiek voor batterijen geldt dat de batterijen uit de automotive-industrie een andere type-keur kunnen (op batterij-niveau) dan batterijen voor industriële toepassingen, waaronder de binnenvaart valt. Hoewel dit overkomelijk is, geldt daarnaast dat het ESTRIN zeer specifieke vereisten stelt aan het batterijsysteem die leiden tot kostenverhogingen. Het is daardoor niet mogelijk om goedkope batterijen vanuit de vrachtauto-sector één-op-één te implementeren in een binnenvaartschip.

Andersom geldt dat de batterijen met maritieme keur die nu worden ingebouwd mogelijk qua veiligheidsvoorschriften te strikt gekeurd worden en dat het veiligheidsniveau dat nagestreefd wordt door de klassenbureaus (zoals DNV, Veritas, etc.) hoger ligt dan het veiligheidsniveau dat ESTRIN vereist. Hierdoor is batterijtechniek in de binnenvaartsector momenteel duurder dan waarschijnlijk noodzakelijk.

4.4 Werkzaamheden op de werf

Naast bovenstaande componenten moeten er ook fysieke werkzaamheden plaatsvinden aan boord van de schepen. Bij een bestaand schip dat geretrofit wordt vereist dit dat het schip drooggezet wordt.

Vooraf het inbouwen van de batterijen vereist veel ruimte die veelal bij de bestaande vloot niet direct beschikbaar is; deze moet worden gecreëerd. Er zijn aparte ruimtes hiervoor benodigd die er niet altijd zijn, hetgeen de toepassing van deze techniek bemoeilijkt. Een alternatief is de batterijen op het dek geplaatst worden in aparte kasten maar ook dit is kostbaar en niet zonder veiligheidsrisico's (aanvaringen met infrastructuur). Andere aandachtspunten zijn de ruimte in de machinekamer - er kan niet zomaar een elektromotor en/of regelapparatuur bijgeplaatst worden.

Er is momenteel onder inspecteurs geen eenduidige interpretatie van de ESTRIN-richtlijn waardoor vrijwel alle retrofits zeer specifieke maatwerkoplossingen worden. Standaardisatie zou de brede sector helpen om het inbouwen van batterijen eenvoudiger te maken.

4.5 Conclusie

Het partieel-hybridiseren van bestaande binnenvaartschepen is mogelijk maar vergt op diverse plekken aandacht. Onderstaand sommen we de belangrijkste aandachtspunten op.

Belangrijkste aandachtspunten bij het hybridiseren

- **Kosten voor certificering**

Batterij(cell)en zijn momenteel overvloedig aanwezig op de markt en kunnen tegen relatief lage prijzen aangeschaft worden. Daarbij is het belangrijk een onderscheid te maken tussen batterijcellen (opslag energie) en batterijsystemen (hoe werken de cellen samen?). Voor toepassing van batterijsystemen aan boord van binnenvaartschepen moet voldaan worden aan zeer specifieke ESTRIN-regelgeving. Dit drijft de kosten op. Interviews met batterijleveranciers en certificeringsinstanties maakten bovendien duidelijk dat veel batterijsystemen die momenteel worden toegepast zijn gecertificeerd conform maritieme standaarden (DNV keur). De partijen die momenteel batterijen hebben ervaring opgedaan in de maritieme wereld en verkopen dezelfde batterijen nu ook voor binnenvaarttoepassingen. Dat impliceert dan ten aanzien van de veiligheidsvereisten men momenteel verder gaat dan strikt noodzakelijk. Tot slot geldt ook dat keuringsinstanties in de binnenvaart en benodigde toeleveranciers nog te weinig ervaring hebben met de techniek en dat daardoor inefficiënties ontstaan die ook kostenopdrijvend werken.

- **De ruimte aan boord voor een specifieke batterijkamer**

Een batterijsysteem kan niet zonder meer in de machinekamer bijgeplaatst worden, maar dient te worden gerealiseerd in een aparte ruimte met ventilatie naar dek. Gelet op het de beperkte volumetrische energiedichtheid van een batterij dient een relatief grote ruimte vrijgehouden te worden. Bij kleine binnenvaartschepen is deze ruimte niet altijd beschikbaar. Schepen die specifiek zijn uitgerust voor bepaalde ladingen (motorbeunschepen) of werkzaamheden (kraanschepen en dekschuiten) hebben grotere kansen om de ruimte beschikbaar te hebben dan conventionele motorvrachtschepen.

- **De elektromotor en/of keerkoppeling**

De batterijen moeten een elektromotor aandrijven die dient te worden bijgeplaatst. Dit vergt aanvullende ruimte in de machinekamer. Deze ruimte (tussen keerkoppeling en as) is bij veel schepen waarschijnlijk wel aanwezig, maar niet bij alle schepen. Voor de grotere schepen geldt bovendien dat het motorvermogen een elektromotor vereist die via een keerkoppeling met de schroefas verbonden wordt. Dit vereist een kostbare vervanging van de keerkoppeling.

5 Haalbaarheid van retrofit van de bestaande vloot

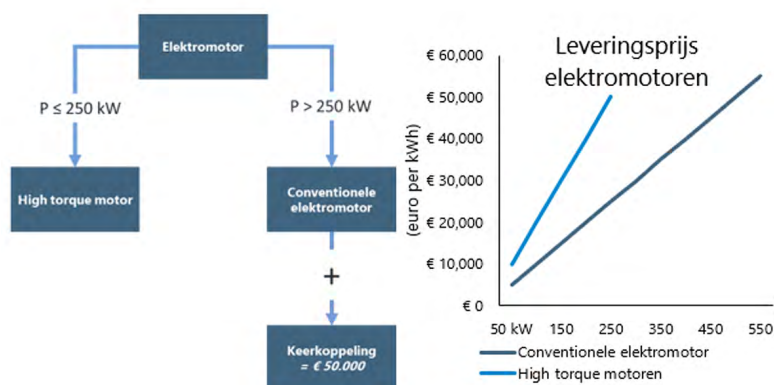
5.1 Kosten van retrofit van de bestaande vloot

Elektromotor

We gaan bij het berekenen van de businesscases uit van twee opties:

- 1 een conventionele a-synchroon motor;
- 2 een high-torque motor.

Een conventionele elektromotor is goedkoper, maar daarvoor is een nieuwer keerkoppeling benodigd (à circa € 50.000) terwijl een high-torque motor direct bijgeplaatst kan worden op de schroefas zonder dat aanvullende investeringen benodigd zijn. Boven de 250 kW kan dat niet zonder aanpassingen aan de schroefas. Daarom kiezen we onder de 250 kW voor toepassing van een duurder high-torque elektromotor en bij grotere elektrische vermogens voor een a-synchroon motor die via de keerkoppeling wordt gekoppeld aan de schroefas.



Figuur 9 Schema om kosten voor elektromotor te bepalen. Bron: Panteia/Rebel

Batterij

Batterijsystemen met keur om toegepast te worden in de binnenvaart zijn momenteel uiterst kostbaar. Voor de vaarprofielen die wij geanalyseerd hebben zijn batterijpakketten benodigd variërend van 500 kWh (op zijn kleinst) tot ruim 2.000 kWh (op zijn grootst). De huidige leveringsprijs voor batterijen in de binnenvaart - inclusief typegoedkeuring, batterij-managementsysteem en inbouw aan boord - bedraagt € 650 per kWh. Dit komt neer op € 325.000 tot € 1.300.000 aan kosten voor vast batterijpakket. Ter vergelijking: de marktwaarde van bestaande kleine binnenvaartschepen bedraagt doorgaans € 150.000 (voor een CEMT-klasse I-II schip) tot circa € 600.000 voor de grootste verlengde Dortmunders. Batterijsystemen zijn dus uiterst kostbaar en financiering is gelet op de 'loan-to-value' waarschijnlijk zeer lastig te verkrijgen.

Keerkoppeling

Indien nodig bij grotere vermogens, dient een keerkoppeling geplaatst te worden die meerdere inputs (dieselmotor en elektromotor) aan kan. Dit zijn zeer specifieke en zeer kostbare keerkoppelingen. Op basis van de interviews schatten wij in dat dergelijke keerkoppelingen, ongeacht de vermogens die ze aan moeten kunnen, € 50.000 bedragen per keerkoppeling.

Regeltechniek

Regeltechniek is nodig om het batterijsysteem en de elektromotor met elkaar te laten 'praten'. Vermogens moeten op elkaar afgestemd worden, spanningen dienen gelijk gesteld te worden. De kosten voor regeltechniek zijn afhankelijk van het elektrische vermogen (in kW) dat gevraagd wordt. Op basis van de interviews schatten wij in dat deze kosten € 75 per kW bedragen.

Werfkosten

Het hybridiseren door middel van retrofit van een bestaand (klein) binnenvaartschip is kostbaar. Er is veel tijd nodig op de werf. Wij gaan uit van € 75.000 aan kosten op de werf.

5.2 Baten van retrofit op operationele kosten

Het vergroenen van de binnenvaart is zeer noodzakelijk en gaat op termijn zelfs een 'license to operate' worden. Niet duurzame conventioneel aangedreven schepen zullen op termijn, en zeker in markten die sterk door de overheid (zand/grind) of consumenten (containers, levensmiddelen) gedreven worden uit de markt verdreven worden. Alleen dit al zou een reden moeten zijn voor binnenvaartoperators om na te denken over technieken waarmee duurzamer gevaren kan worden. Een van de mogelijkheden om duurzamer of zelfs zero-emissie te varen is elektrisch varen, hierbij geldt wel dat de gebruikte elektriciteit duurzaam opgewekt dient te zijn.

Tegelijkertijd geldt dat in de huidige markt het niet evident is dat schepen met duurzame aandrijf-technieken goedkoper geëxploiteerd kunnen worden. Dit hangt samen met relatief hoge investeringskosten (en ook financieringskosten) terwijl de besparingen (nog) te gering zijn om gedurende de levensduur van het aandrijfsysteem (en de batterij in bijzonder) terugverdiend worden.

Besparingen vinden plaats op twee manieren:

- **Energiekosten zijn minder hoog**
Gelet op het rendement van verbranding van diesel (in vergelijking tot een elektrische aandrijflijn) geldt dat aandrijving door middel van elektriciteit substantieel goedkoper is. Wij zijn uitgegaan van een accijns- en belastingvrije leveringsprijs van € 0,12 per kWh aan de binnenvaart. De prijs van diesel bedraagt momenteel al circa € 800 per 1000 liter en dit komt netto overeen met € 0,20 per kWh¹³. Hierbij is de verwachting dat in de nabije toekomst de prijs van diesel sterk zal stijgen, onder andere door RED-III en ETS. Wij hebben aangenomen dat de prijs voor elektriciteit stabiel blijft.
- **Er is minder onderhoud benodigd aan het systeem**
Verbrandingsmotoren hebben veel onderhoud nodig, o.a. aan filters maar ook aan revisies. Elektromotoren zijn relatief onderhoudsarm en ook batterijen hebben weinig onderhoud nodig. Hierdoor besparen binnenvaartoperators bij elektrificatie ook kosten voor onderhoud.

In dit onderzoek is geen rekening gehouden met eventueel verlies van laadvermogen (in tonnen en/of volume) voor het vervoer van lading als gevolg van plaatsing van het batterijsysteem. Overigens wordt dit weer deels gecompenseerd worden door besparing op de benodigde inhoud van de gasolietanks.

¹³ Bij een aanname van een rendement van 40%.

5.3 Inschatting van haalbaarheid voor verschillende scheepstypen

Om de haalbaarheid in te schatten zijn elf casussen (zie Bijlage 3) doorgerekend die een representatief beeld schetsen van de inzet van kleine binnenvaartschepen in Nederland. De casussen zijn verdeeld over motorvrachtschepen, geschikt voor het vervoer van allerlei soorten droge bulk (en stukgoed), gespecialiseerde motorbeunschepen (incl. zandzuigers), geschikt voor het vervoer van nat zand, diverse soorten tankschepen en containerschepen. Daarnaast is gekeken naar een goede verdeling over de belangrijkste deelmarkten en een goede verhouding tussen schepen met vaste pendeldiensten en schepen die op wisselende trajecten varen. Zie onderstaande tabel.

#	Type schip	CEMT-klasse	Deelmarkt	Vaaruren uur/jaar	Reizen #	Beoordeling	Omslagpunt ¹⁴ € /kWh
1	Vrachtschip	II	Zand/grind	1350	51	Niet haalbaar	€ 212
2	Vrachtschip	II	Agribulk	300	27	Niet haalbaar	€ 446
3	Vrachtschip	III	Zand/grind	1750	134	Bij retrofit	€ 893
4	Vrachtschip	III	Agribulk	750	33	Niet haalbaar	€ 500
5	Beunschip	II	Zand/grind	2025	139	Niet haalbaar	€ 617
6	Beunschip	III	Zand/grind	2640	137	Bij retrofit	€ 685
7	Zandzuiger	III	Ophoogzand	2775	299	Haalbaar!	€ 1611
8	Tankschip	III	Eetbare oliën	750	102	Niet haalbaar	€ 371
9	Tankschip	II	Cement	1261	77	Niet haalbaar	€ 285
10	Containerschip	III	Containers	1385	240	Bij retrofit	€ 1030
11	Containerschip	III	Containers	1894	148	Niet haalbaar	€ 465

Tabel 5 Overzicht representatieve casussen voor retrofit. Bron: Panteia/Rebel

Belangrijk om hier te melden in het vergelijken van de businesscases wordt uitgegaan van een vergelijking met een Stage V verbrandingsmotor. Het blijven gebruiken van de motor die op dit moment aan boord staat is uiteraard de goedkoopste oplossing. Er wordt echter vanuit gegaan dat de binnenvaart hoe dan ook stappen zal moeten zetten om te verduurzamen. Dus worden in dit onderzoek het gebruik van een Stage V motor en hybridisering met elkaar vergeleken.

Uit de tabel blijkt dat van de 11 gekozen schepen er bij vier schepen sprake is een positieve businesscase. Bij drie van deze vier schepen gaat het om een businesscase die zich uit wanneer men omwille van het overschrijden van de technische levensduur van de bestaande hoofdaandrijving voor de keuze staat een nieuwe verbrandingsmotor te plaatsen; in één casus geldt dat vervanging van de bestaande hoofdmotor reeds al voordelig is.

De schepen met een businesscase voor retrofit naar een hybride aandrijflijn maken vooral veel korte reizen per jaar. Dit vereist korte laad-/lostijden bij verladende partijen. Deze korte laad-/lostijden zijn vooral haalbaar bij het vervoer van zware bulkgoederen zoals zand- en grind. In de onderstaande tabel gaan we in op de redenen waarom casussen niet haalbaar kunnen zijn.

¹⁴ Huidige batterijprijzen liggen op € 650 per kWh.

#	Type schip	CEMT-klasse	Deelmarkt	Beschrijving
1	Vrachtschip	II	Zand/ grind	Deze casus is niet haalbaar omdat de reizen die dit schip maakt te lang zijn. Daardoor zijn de kosten voor een vaste batterij te hoog gelet op de beperkte inzet. De lange en wisselende trajecten maken een oplossing via een uitwisselbaar accupakket moeilijk.
2	Vrachtschip	II	Agribulk	Deze casus is niet haalbaar doordat de stilligtijden van het schip te groot zijn. Het schip heeft qua reisafstanden een geschikt profiel, maar kan de hoge kosten voor een batterij niet terugverdienen doordat er te weinig operationele besparingen zijn. <i>Gelet op het vaste traject is dit schip wel aantrekkelijk voor een oplossing via een klein uitwisselbaar accupakket.</i>
4	Vrachtschip	III	Agribulk	Deze casus is niet haalbaar doordat de operationele inzet van het schip te beperkt is. Daarnaast zijn de investeringskosten te hoog doordat een zeer groot batterijpakket geïnstalleerd moet worden om del langste reizen te kunnen faciliteren. De wisselende trajecten maken het schip ook onaantrekkelijk voor een ZES-oplossing.
5	Beunschip	II	Zand/ grind	Deze casus is net niet haalbaar. Het betreft een klein beunschip dat sportmarkt reizen doet. De gemiddelde reis is net te lang waardoor de investeringskosten in verhouding tot de operationele baten te groot zijn. De wisselende trajecten maken het schip ook onaantrekkelijk voor een ZES-oplossing.
8	Tankschip	III	Eetbare oliën	Dit schip maakt te weinig vaaruren waardoor de investering in een batterij niet kan worden terugverdiend. Gelet op het feit dat het schip voornamelijk actief is in de Rotterdamse haven is een ZES-pakket te overwegen.
9	Tankschip	II	Cement	Dit schip maakt te lange reizen waardoor er een te groot batterijpakket aan boord geplaatst moet worden. De wisselende trajecten maken het schip ook onaantrekkelijk voor een ZES-oplossing.
11	Containerschip	III	Containers	De afstand tussen Delft en Alkmaar is te groot voor een vast batterijpakket. <i>Dit schip is gelet op het vaste traject wel uitermate geschikt om met een uitwisselbaar ZES-pakket te varen.</i>

Tabel 6 Beschrijving van de casussen met relevante opmerkingen. Bron: Panteia/Rebel

5.4 Resultaten op macro-niveau

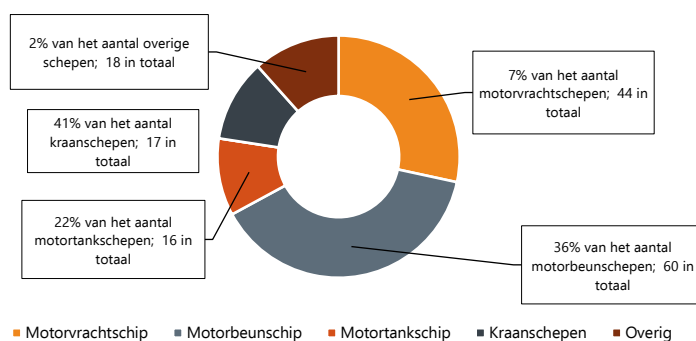
Ons model maakt het mogelijk om voor alle (>1.100) kleine binnenvaartschepen de vaarprofielen vast te stellen en daaruit de businesscases af te leiden voor retrofit naar een hybride aandrijflijn. Dit is gedaan voor een viertal hybridiseringsscenario's die van elkaar verschillen ten aanzien van het vermogen van de elektromotor en de opslagcapaciteit in de te installeren vaste batterij. Daarbij wordt beschouwd of het mogelijk is de stap te maken vanuit de bestaande motor met als brandstofsoorten bestaande diesel¹⁵ of de hernieuwbare en voor nagenoeg alle binnenvaartschepen veilig te gebruiken HVO-100 brandstof. Idem wordt de situatie beschouwd wanneer men voor de keuze komt te staan om te hermotoriseren naar een Stage V verbrandingsmotor - idem met de twee eerdergenoemde brandstofsoorten.

¹⁵ Inclusief de wettelijke verplichting van biobrandstof.

5.5 Conclusie

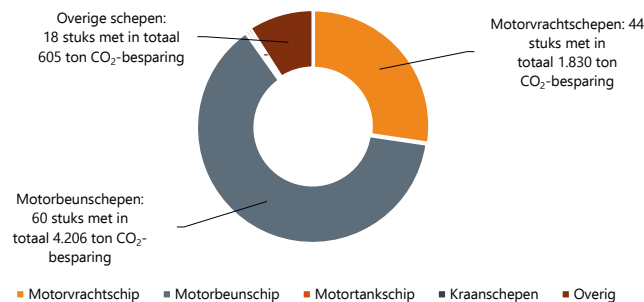
Hybridisering van de (kleine) binnenvaart is zeer kostbaar, vooral door de momenteel nog zeer kostbare batterijen. Desondanks is een hybride aandrijflijn bij de huidige, zeer hoge batterijprijzen van € 650/kWh, bij 15% van de kleine binnenvaartschepen qua TCO efficiënter dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor. Er blijkt uit onze doorrekening zelfs één enkele casus te herleiden waarbij er een businesscase bestaat voor retrofit in vergelijking tot de bestaande hoofdmotor (zie Bijlage 3, casus 7).

Wanneer we nader differentiëren naar scheepscategorieën, valt op dat motorbeunschepen en kraanschepen de grootste potentie hebben voor een retrofit (zie Figuur 10). Bij de huidige batterijprijzen is voor 36% van de motorbeunschepen (op een totaal van 166) een hybride aandrijflijn gunstiger dan een nieuwe Stage V motor en dat geldt eveneens voor 41% van de kraanschepen (op een totaal van 41). Er is juist minder potentie bij de grootste groep motorvrachtschepen; slechts 7% van de in totaal 663 kleine motorvrachtschepen kunnen bij de batterijprijzen kostenefficiënt geretrofit worden. Ook bij de motortankschepen is er enige potentie - zij het dat dit voornamelijk bunkerschepen betreft.



Figuur 10 Potentie om te retrofitten naar hybride aandrijving (50% van de gemiddelde energiebehoefte)/naar aantallen schepen.
Bron: Panteia/Rebel

Schepen die bij de huidige batterijprijzen geretrofit hebben twee gemeenschappelijke kenmerken. Allereerst maken ze veel vaarbewegingen per jaar en ten tweede vinden deze vaarbewegingen plaats over relatief zeer korte afstanden. Hierdoor volstaat men met een relatief klein batterijpakket terwijl wel veel operationele besparingen gehaald kunnen worden. Figuur 11 maakt inzichtelijk welke CO₂-besparing er te realiseren is bij een retrofit naar een hybride aandrijflijn met een batterijpakket geschikt om de helft van het energieverbruik van een gemiddelde reis op te vangen. Ter referentie: de totale CO₂-emissie van de kleine binnenvaartvloot bedraagt volgens onze berekeningen 106 kton per jaar. Bij de huidige batterijprijzen van € 650/kWh bedraagt de emissiebesparing van de schepen met een businesscase in totaal 6.600 ton.



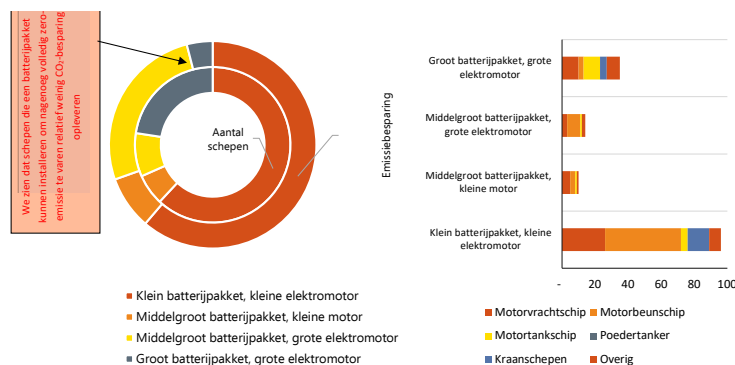
Figuur 11 Emissiebesparing bij scenario 1 en batterijprijzen van € 650/kWh. Bron: Panteia/Rebel

Uit de data blijkt dat haalbaarheid van hybridisering onafhankelijk is van de grootte van het schip.

Het merendeel van de schepen (96 stuks) zal bij de huidige batterijprijzen een 'klein' accupakket bijplaatsen waarmee slechts een beperkt deel van de reis zero-emissie afgelegd kan worden (grootte batterijpakket gebaseerd op 50% van de mediane reisbeweging). Doorgaans leidt dit tot een CO₂-emissiebesparing van circa 50%¹⁶. Een beperkt aantal schepen (24 stuks) kan meteen een groter pakket installeren, bijvoorbeeld geschikt om de mediane of gemiddelde reis zero-emissie af te leggen. Ook dit zijn vooral motorbeunschepen. Daarnaast zijn er 35 schepen die een batterijpakket kunnen plaatsen waarmee vrijwel alle reisbewegingen zero-emissie afgelegd kunnen worden. Dit zijn schepen die relatief veel vaarbewegingen over zeer korte afstanden maken - vaak gaat het hierbij om zeer kleine motorvrachtschepen actief in het vletwerk (bijvoorbeeld cacaotransporten tussen Amsterdam en Zaandam), bunkerschepen en drijvende werktuigen (w.o. ook kraanschepen).

In figuur 12 wordt geïllustreerd hoe de verschillende aandrijflijnconfiguraties verdeeld zijn over de scheepstypen en wat de bijbehorende emissiebesparing is.

Hieruit wordt duidelijk zichtbaar dat de emissiebesparing van schepen die vrijwel volledig zero-emissie geretrofit kunnen worden zeer gering is, terwijl de bijdrage van de schepen die een middelgroot batterijpakket plaatsen relatief gezien juist erg groot is.

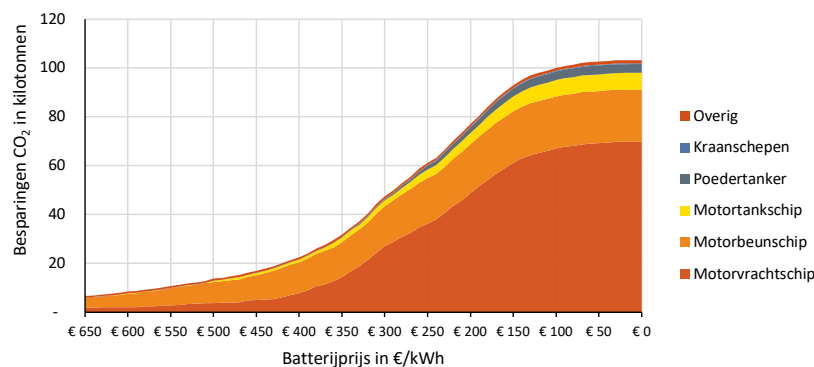


Figuur 12 Percentage van de vloot dat refit als functie van de batterijprijzen. Bron: Panteia/Rebel

¹⁶ De besparingen voor fijnstof zijn vergelijkbaar; de besparingen voor stikstofoxiden liggen doorgaans een fractie hoger doordat de elektromotoren en batterijen vooral tijdens situaties gebruikt waarbij voorheen de diesel-hoofdaandrijving onder (te) beperkte last gebruikt werd, waardoor de verbrandingstemperatuur niet optimaal is en/of katalysatoren niet (goed) werken.

Gevoeligheid

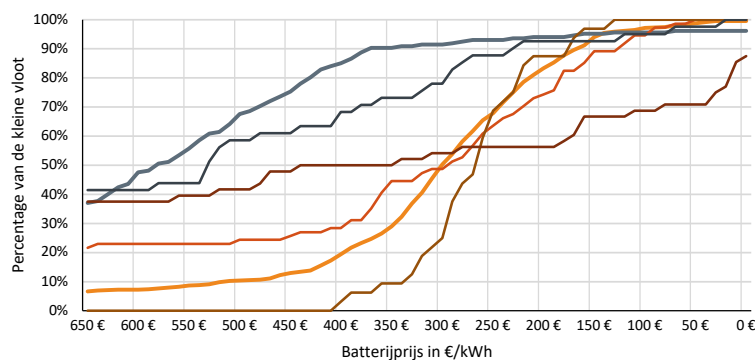
Bij een batterijprijs van €400 tot €200 per kWh wordt hybridisering voor een aanzienlijk groter deel van de vloot mogelijk (zie Figuur 13, het roze deel). Het is dus belangrijk om te streven naar reductie van de batterijprijzen voor de binnenvaart. Aparte certificering van batterijcellen voor industrieel gebruik en toepassing in de binnenvaart conform ESTRIN-vereisten, het verhogen van het kennisniveau van toeleveranciers en een eenduidige lijn bij binnenvaart-keuringsinstanties ten aanzien van de toepassing van batterijtechnieken.



Figuur 13 Relatie batterijprijzen en CO₂-reductie van schepen die retrofitten. Bron: Panteia/Rebel

Uit bovenstaande grafiek wordt ook andermaal duidelijk dat de beunschepenmarkt sneller rijp is voor het gebruik van batterijen als hoofdaandrijftechniek dan de overige scheepscategorieën. De markt voor beunschepen is min of meer al rijp bij een batterijprijs van € 400/kWh terwijl de markt zich voor de motorvrachtschepen en de tankers zich dan pas begint te ontwikkelen. Dit heeft te maken met de grote hoeveelheid vaarbewegingen van beunschepen over relatief korte afstanden.

Onderstaande grafiek illustreert dit goed. Hierbij is het aantal schepen met een businesscase afgezet tegen het totaal aantal schepen per type.

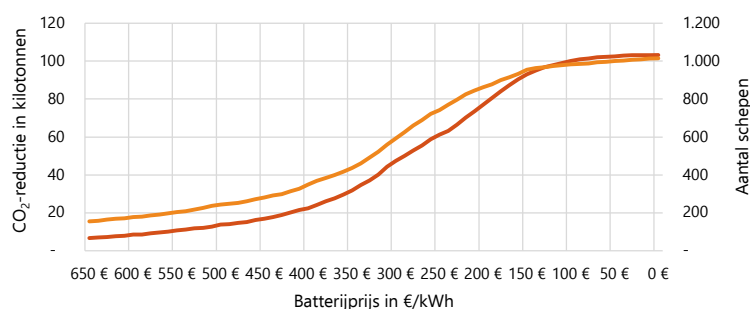


Figuur 14 Percentage schepen met businesscase naar type, afgezet tegen het totaal. Bron: Panteia/Rebel

Uit de grafiek kunnen we het volgende afleiden:

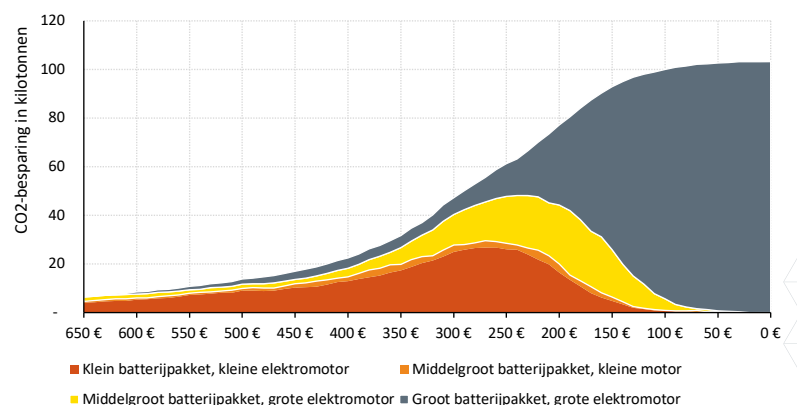
- 36% van de motorbeunschepen kan bij de huidige batterijprijzen van € 650/kWh kosteneffectief geretrofit worden naar een hybride oplossing. Dit aantal loopt nagenoeg lineair op naar 90% in het bereik tot circa € 375 per kWh.
- Daarentegen kan in de uitgangssituatie slechts 7% van de motorvrachtschepen kosteneffectief geretrofit worden. Dit aandeel blijft relatief laag tot circa € 400 à 450 per kWh. Vanaf dat moment neemt het aantal motorvrachtschepen (en ook het aantal poedertankers) met een businesscase zeer snel toe.

Het aantal schepen dat kan retrofitten ontwikkelt zich logischerwijs sneller dan de CO₂-besparing. Dat komt doordat de businesscase voor beperkt zero-emissie varen zich gezien de kleinere benodigde accu-pakketten steller manifesteert. Dit is zichtbaar in onderstaande figuur. Hierbij is te zien het moment waarop de businesscases beginnen te ontstaan nog altijd begint bij een batterijprijs van circa € 400/ kWh. Echter, de grafiek vlakt al eerder af, bij € 250/kWh. Dat wil zeggen dat voor de meeste schepen een overstap naar een kleine batterij al haalbaar is en dat bij lagere batterijprijzen men vooral grotere accupakketten gaat installeren.



Figuur 15 Relatie tussen aantal schepen, corresponderende CO₂-besparing en batterijprijzen. Bron: Panteia/Rebel

Dat laatste wordt zichtbaar uit de volgende figuur. Hierbij is de relatie tussen de batterijprijs en het type configuratie weergegeven. Zichtbaar is dat bij hogere batterijprijzen ondernemers geneigd zullen zijn om een klein batterijpakket te installeren terwijl men bij prijzen € 250/kWh pas grotere accupakketten installeert.



Figuur 16 Relatie batterijprijzen en de hybride configuratie. Bron: Panteia/Rebel

Aanvullende voordelen

Uit de casussen blijkt dat de verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt circa 50 tot 100% van de emissies van CO₂ en fijnstof. Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt bij veelal een grotere reductie. Dit komt omwille van twee redenen: (i) het feit dat veel (kleinere) binnenvaartschepen overgemotoriseerd rondvaren met veel meer motorvermogen dan strikt noodzakelijk voor de activiteiten en (ii) het feit dat verbrandingsmotoren bij lage belastingen onvoldoende warmte genereren waardoor veel meer NO_x uitgestoten wordt dan waarvoor zij gekeurd zijn¹⁷. Aanvullend geldt voor moderne Stage V motoren met nabehandeling dat de nabehandeling niet of slechts zeer beperkt werkt bij lagere belasting.

Door hybridisering wordt het mogelijk om vooral tijdens vaart met lage belasting elektrisch én zero-emissie te varen. Ook kan de hoofdmotor uitgeschakeld worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt een Stage V verbrandingsmotor niet.

¹⁷ Hoewel niet per se representatief voor de binnenvaartsector, rapporteert MARIN voor de zeevaart 34% hogere NO_x emissies bij lage belasting.

6 Haalbaarheid van nieuwbouw

6.1 Voordelen van nieuwbouwschepen t.o.v. bestaande schepen

De bestaande vloot kleine schepen is hoofdzakelijk gebouwd in de periode tussen 1950-1970 (CEMT-klassen I en II) en 1960-1980 (CEMT-klasse III). Er is maar een beperkte hoeveelheid schepen nadien gebouwd (zie ook Hoofdstuk 2). Dit betekent dat nieuwbouwschepen kunnen profiteren van de ontwikkelingen in de scheepsbouw die nadien hebben plaatsgevonden.

Voordeel 1: een energie-efficiënter ontwerp van het schip

Schepen worden bijvoorbeeld hydrodynamischer ontworpen waardoor ze efficiënter door het water verplaatsen bij dezelfde hoeveelheid energie. Dit kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden door het gebruik van luchtsmering van de romp, waardoor het schip soepeler door het water beweegt, een aangepast ontwerp van het achterschip gespecificeerd op het ontwerp-vaartraject waardoor een optimale hoeveelheid water naar de schroef geleid kan worden. Ook bij het ontwerp van het voorschip zijn voordelen te behalen, bijvoorbeeld door een bulbsteven toe te passen.

In totaal schatten we de energetische voordelen op hydrodynamisch gebied op tien procent ten opzichte van de bestaande vloot.

Voordeel 2: gebruik van lichter materiaal

Schepen worden tegenwoordig met lichtere materialen gebouwd waardoor een bij eenzelfde blokcoëfficiënt en dezelfde afmetingen meer draagvermogen beschikbaar is. Daarnaast wordt ook de locatie van spanten bijvoorbeeld geoptimaliseerd. Hierdoor hebben nieuwbouwschepen ten opzichte van bestaande vloot een groter draagvermogen.

Op basis van de interviews schatten wij dit voordeel in op in totaal vijf procent.

6.2 Nieuwbouw van kleine motorschepen en duwstellen en duwbakken

Met behulp van tien casussen zijn de mogelijkheden voor nieuwgebouwde kleine binnenvaartschepen onderzocht. De casussen zijn opgetekend vanuit het verladersperspectief. Dat wil zeggen dat gekeken is naar de totale vervoersbehoefte van een aan klein vaarwater gelegen bedrijf. Hiermee verschilt deze analyse van de analyse zoals in hoofdstuk 5, toen gekeken is vanuit het scheepsperspectief.

Veel kleine schepen bedienen momenteel meerdere klanten; voor veel verladers geldt dat zelfs de transportprestatie van de kleine binnenvaart dusdanig groot is dat zij de vervoersbehoefte van de verlader overtreffen. Dit zien we bijvoorbeeld bij betonmortelcentrales, die op jaarbasis doorgaans zo'n 50.000 ton aan grondstoffen nodig hebben. Een klein binnenvaartschip met een laadcapaciteit van 1.000 ton doet in deze markt doorgaans twee reizen per week en kan alleen al 100.000 ton transporteren.

Het verladersperspectief is anders. De casussen zijn hierbij zodanig gekozen dat ze relatief grote verladers omvatten die veel grondstoffen over water laten aanvoeren en daar minimaal één schip in vaste dienst voor nodig hebben. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om veevoederfabrieken en grote industriële complexen in de bouwmaterialen- en glasindustrie. De casussen bieden hierbij een goede weergave geven van de huidige inzet van kleine binnenvaartschepen, en zijn zodanig gekozen dat ze een goede representativiteit bieden over de grootte van de in te zetten schepen (CEMT-klasse II of CEMT-klasse III), meerdere afstandsklassen omvatten (korte transportafstand, middellange afstand of lange afstand) en geografisch goed over het land verdeeld zijn.

Voor elk van de casussen zijn de volgende vervoersopties uitgewerkt:

- **Bestaand schip, verouderde aandrijflijn**
- **Retrofit van de huidige vloot**
 - Naar Stage V verbrandingsmotoren.
 - Naar beperkte hybridisering (50% van het beladen vaartraject elektrisch).
 - Naar volledige hybridisering (90% van het beladen vaartraject elektrisch).
- **Nieuwbouw van motorschepen**
 - Met Stage V verbrandingsmotor.
 - Full-electric.
- **Nieuwbouw van duwcombinaties**
 - Met Stage V motor.
 - Full electric.

De precieze uitwerking van deze casussen is terug te vinden in Bijlage 4. Onderstaande tabel maakt inzichtelijk hoe de casussen uitwerken.

#	Markt	Vervoersrelaties (afstand)	Tonnage	Vervoersprijs huidig schip	Vervoersprijs retrofit (50%)	Vervoersprijs nieuwbouw	Vervoersprijs duwstel
1	Vee-voeder	Amsterdam-Deventer (l) Rotterdam-Deventer (l)	175.000	€ 8.48	€ 12.02 (+42%)	€ 16.62 (+96%)	€ 13.68 (+61%)
2	Vee-voeder	Amsterdam-Nijkerk (k) Rotterdam - Nijkerk (k)	165.000	€ 6.78	€ 7.97 (+18%)	€ 11.72 (+73%)	€ 11.42 (+68%)
3	Mout	Ruisbroek (B)-Den Bosch (l) Ruisbroek (B)-Zoeterwoude (l) Eemshaven-Zoeterwoude (l)	100.000	€ 12.57	€ 17.70 (+41%)	€ 25.18 (+100%)	€ 25.74 (+105%)
4	Huisvuil	Delft-Alkmaar (l) <small>Let op: containervervoer</small>	5 kTEU	€ 186	€ 209 (+12%)	€ 249 (+34%)	€ 265 (+42%)
5	Melasse	Dinteloord-Delft (k) Dinteloord-Wemeldinge (k) Wemeldinge-Delft (k)	77.000	€ 6.27	€ 6.93 (+12%)	€ 10.87 (+73%)	€ 15.84 (+153%)
6	Zand/grind	Harlingen-Drachten (k)	95.000	€ 4.45 (+11%)	€ 5.06 (+73%)	€ 7.70 (+48%)	€ 6.61
7	Zand/grind	Amsterdam-Eemnes (k)	150.000	€ 3.73 (+14%)	€ 4.23 (+62%)	€ 6.03 (+40%)	€ 5.21
8	Glas	Dinteloord-Leerdam (k)	95.000	€ 4.81 (+0%)	€ 4.81 (+59%)	€ 7.63 (+39%)	€ 6.69
9	Zand/grind	Valkenburg Hillegom (k) <small>Wordt al met duwboot uitgevoerd</small>	135.000	€ 3.51	€ 3.39 (-4%)	n.v.t.	€ 5.13 (+46%)
10	Huisvuil	Den Haag-R'dam (l) <small>Wordt al met duwboot uitgevoerd</small>	153.000	€ 4.06	€ 4.17 (+3%)	n.v.t.	€ 5.86 (+44%)

Tabel 6 Beschrijving van de casussen met relevante opmerkingen. Bron: Panteia/Rebel.

In onderstaande tabel zijn specifieke opmerkingen per casus opgenomen:

#	Markt	Vervoersrelaties (afstand)	Opmerking
1	Veevoeder	Amsterdam-Deventer (l) Rotterdam-Deventer (l)	Dit traject is te lang voor elektrificatie. Er dient ingezet te worden op andere alternatieve brandstoffen, zoals waterstof. Inzet van duwbotten en duwbakken is aantrekkelijker dan de inzet van nieuwe motorvrachtschepen.
2	Veevoeder	Amsterdam-Nijkerk (k) Rotterdam-Nijkerk (k)	Dit traject leent zich prima voor elektrificatie. Wanneer gekozen wordt voor nieuwbouw zijn motorvrachtschepen en duwstellen qua vervoersprijs competitief. Bij duwstellen er is een inwin-effect mogelijk door meerdere bakken te combineren bij dezelfde boot.
3	Mout	Ruisbroek (B)-Den Bosch (l) Ruisbroek (B)-Zoeterwoude (l) Eemshaven-Zoeterwoude (l)	Vooral het traject Eemshaven-Zoeterwoude is veel te lang voor elektrificatie. De trajecten vanuit Ruisbroek lenen zich qua afstand eigenlijk ook niet. Wel kan gebruik gemaakt worden van ZES-containers die op de route beschikbaar zijn.
4	Huisvuil	Delft-Alkmaar (l)	Dit traject is te lang voor elektrificatie door middel van een vaste batterij. Doordat het om containervervoer gaat is een uitwisselbare batterij wel een optie.
5	Melasse	Dinteloord-Delft (k) Dinteloord-Wemeldinge (k) Wemeldinge-Delft (k)	De trajecten lenen zich prima voor elektrificatie maar nieuwbouw van kleine binnenvaarttankers is erg duur en niet competitief in vergelijking tot de bestaande vloot. De laad- en lostijden zijn niet lang genoeg voor duwstellen om voordelen te bieden.
6	Zand/grind	Harlingen-Drachten (k)	Het traject leent zich goed voor elektrificatie. Nieuwbouw is echter veel te duur. Duwstellen zijn efficiënter dan motorvrachtschepen wanneer gekozen wordt voor nieuwbouw door de grotere hoeveelheid vaaruren.
7	Zand/grind	Amsterdam-Eemnes (k)	Elektrificatie van dit traject is zeer interessant. Inzet van duwstellen is bij de keuze voor nieuwbouw interessanter dan inzet van nieuwbouw motorvrachtschepen vanwege de hogere omloopsnelheid van de duwboot.
8	Glas	Dinteloord-Leerdam (k)	Elektrificatie van dit traject is in de huidige situatie al voordeliger dan een verbrandingsmotor. Door inzet van een zeer klein schip van CEMT-klasse II is een kleine batterij benodigd. Nieuwbouw is duurder en daarbij zijn duwcombinaties interessanter.
9	Zand/grind	Valkenburg-Hillegom (k)	Dit traject wordt al met een duwstel uitgevoerd. Er worden zeer kleine bakjes ingezet over korte afstanden. Doordat hierdoor een kleine batterij benodigd is kan elektrificatie uit. Nieuwbouw van de duwboot is niet haalbaar.
10	Huisvuil	Den Haag-Rotterdam (l)	Dit traject wordt al met een duwstel uitgevoerd. Elektrificatie is door de korte afstanden haalbaar. Er kan met een uitwisselbare batterij gewerkt worden. Nieuwbouw van de duwboot is niet haalbaar.

Tabel 8 Beschrijving van de casussen voor nieuwbouw

6.3 Conclusie

De conclusie uit de analyse naar nieuwbouw van kleine binnenvaart luidt dat dit *niet haalbaar* is. Het in de vaart brengen van kleine nieuwbouwschepen is in vergelijking tot het moderniseren van de huidige vloot, veel te kostbaar. De benodigde investering om een klein schip nieuw in de vaart te brengen overtreft, zelfs wanneer gekozen wordt voor conventionele aandrijftechnieken, de marktwaarde van de bestaande vloot met ruim een factor 10. Dit is niet terug te verdienen door een meer efficiënte voortstuwing en een groter laadvermogen.

Het is dus noodzakelijk om de bestaande kleine binnenvaart in de vaart te houden en te moderniseren voor wat betreft aandrijftechnologieën.

Dit geldt zowel voor de casus met nieuwgebouwde motorvrachtschepen als in de situatie waarbij gewerkt wordt met duwbakken en duwboten. Wanneer toch gekozen wordt voor nieuwbouw, doordat de bestaande vloot aan kleine binnenvaartschepen onvoldoende vervoerszekerheid kan bieden, is duwvaart veelal interessanter dan het nieuwbouwen van motorvrachtschepen.

Wel geldt dat in alle gevallen het gebruik van de binnenvaart, door gebruik te maken van de bestaande vloot of door gebruik te maken van nieuwbouwschepen, goedkoper is dan het inzet van vrachtwagens.

7 Praktische randvoorwaarden: hoe is dit haalbaar?

Om bij te dragen aan het behoud en de vergroening van de kleine binnenvaartvloot kunnen verschillende betrokken partijen actie ondernemen. Hierna formuleren we per partij kort de mogelijke acties, waarna we deze verder toelichten.

7.1 Wat kunnen verladers doen?

Verladers kunnen de volgende acties ondernemen om vergroening van de kleine binnenvaart haalbaar te maken:

- Passende laadinfra aanbieden met gelijke capaciteiten als voor vrachtauto's.
- Duurzame langetermijnrelaties aangaan met vervoerders om meer financiële zekerheid te bieden.

Passende laadinfra bij verladers met gelijke capaciteiten als voor vrachtauto's

Verladers dienen te zorgen voor een passende laadinfrastructuur voor de binnenvaart op eigen terrein aan de wal, waarbij een laadcapaciteit van meer dan 150 kW gewenst is gelet op de grootte van de batterijen die aan boord van schepen geplaatst worden. Ook zware vrachtauto's gebruiken dergelijke zware laadinfrastructuur en ook mobiele werktuigen kunnen hierop aansluiten. Het is raadzaam om daarbij aan te haken bij initiatieven zoals de Clean Energy Hubs om gezamenlijk van nieuwe ontwikkelingen te profiteren en koppelkansen tussen binnenvaart en wegvervoer te benutten.

Ook zijn er vanuit Europa subsidiemogelijkheden voor dergelijke ontwikkelingen in het kader van CEF/ AFIF¹⁸. Hierbij is tot 50% cofinanciering mogelijk en kunnen retrofits van binnenvaartschepen worden meegefinancierd. Het vormen van coalities tussen verladers en vervoerders, eventueel met de vaarwegbeheerder helpt hierbij, zeker wanneer dit in een corridor-aanpak wordt gepresenteerd aan de Europese Commissie.

Ten slotte is het belangrijk om rekening te houden met de locatie van laadpleinen op watergebonden bedrijventerreinen - ook de binnenvaart moet gebruik kunnen gaan maken van snellaadinfrastructuur. Momenteel zien we dat verladers de ontwikkelingen voor wegvervoer (veelal deels in eigen beheer) en binnenvaart (veelal uitbesteed) anders benaderen en dit kan leiden tot gemiste kansen. Door vroegtijdig rekening te houden met de wensen van de binnenvaart kan tegen beperkte meerkosten ook voor de binnenvaart vergroening bereikbaar gemaakt worden.

Duurzame langetermijnrelaties aangaan met vervoerders

Voor bedrijven is het verstandig om langdurige samenwerkingen aan te gaan met binnenvaartoperators, zodat zij de nodige investeringen in verduurzaming kunnen doen. De *Corporate Sustainability Reporting Directive* kan aanleiding zijn om met binnenvaartondernemingen het gesprek aan te gaan over de mogelijkheden om CO₂ te besparen. Overigens volgt momenteel nog niet voor alle bedrijven een verplichting vanuit de CSRD om te rapporteren over duurzaamheidsprestaties. Voor kleinere ondernemingen laat dit nog enige jaren op zich wachten.

Een andere mogelijkheid is om zelf schepen over te nemen en uit te baten, wat kan bijdragen aan vervoerszekerheid en meer controle over duurzaamheidsdoelstellingen. Er zijn al diverse voorbeelden van bedrijven in de beton- en asfalt industrie die schepen overnemen teneinde leveringszekerheid via de binnenvaart voor het bedrijf te kunnen garanderen²⁰ of in de contractuele voorwaarden met (meerdere) binnenvaartondernemers gelden opzijzetten en reserveren voor vergroening.

¹⁸ *Alternative Fuel Infrastructure Facility.*

¹⁹ *De CSRD is een Europese richtlijn voor duurzaamheidsrapportage. Deze richtlijn verplicht ondernemingen te rapporteren over hun duurzaamheid door middel van verschillende duurzaamheidscriteria.*

²⁰ *Een voorbeeld hierbij is de overname van het beunship 'Neptunus' door betoncentrale Hagen Beton in Weesp, een ander voorbeeld de ontwikkelingen bij de Granietimport in Amsterdam die ook eigen schepen exploiteren teneinde hun klanten te voorzien van de noodzakelijke grondstoffen.*

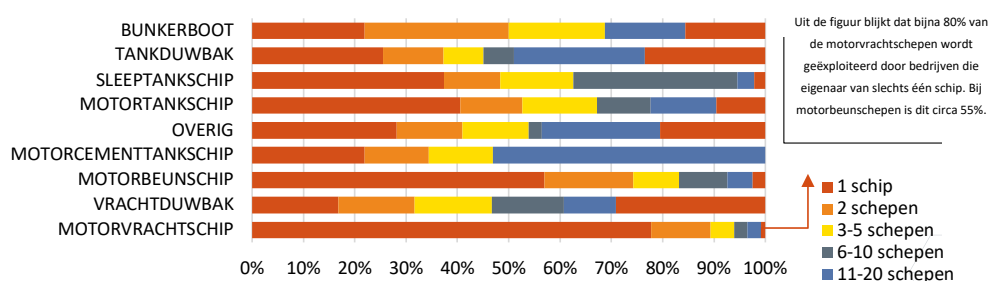
7.2 Wat kunnen binnenvaartondernemers doen?

Binnenvaartondernemers kunnen de volgende acties ondernemen om vergroening van de kleine binnenvaart haalbaar te maken:

- Grotere ondernemingen vormen waarbij meerdere schepen uitgebaat worden voor meer financiële slagkracht en betere toegang tot externe financiering (gunstigere rentes) en evenwichtigere risicospreiding over meerdere schepen.
- Transparante prijsvorming hanteren, met inbegrip van vergroenings-maatregelen in beeld brengen voor de verlader.

Schaalvergroting om meer financiële slagkracht te verkrijgen en risico's te spreiden

Binnenvaartondernemers dienen te professionaliseren door middel van schaalvergroting: er is een groter aandeel van ondernemingen die meer dan één enkel schip uitbaten noodzakelijk. Onderstaande figuur beschrijft per scheepstype en de gemiddelde ondernemingsgrootte.



Figuur 17 Gemiddelde ondernemingsgrootte (in aantal schepen) per scheepstype. Bron: Panteia/Rebel

Dit zorgt voor meer inkomsten en betere mogelijkheden tot risicospreiding bij het toepassen van alternatieve aandrijfmethode. Immers, het risico op een mislukte vergroeningsoptie (revenue komen immers pas na investeringen en zijn onzeker) is veel prominenter wanneer dit zich voordoet op het enige schip dat uitgebaat wordt - bij tien schepen kan het risico van een investering in één of enkele schepen over meerdere schepen verdeeld worden.

Uit bovenstaande grafiek blijkt dat vooral bij de motorvrachtschepen het aantal bedrijven dat slechts één enkel schip uitbaat erg groot is. Daarbij is er nauwelijks een verschil tussen de scheepsgrootteklassen. Bij de motorbeuntschepen is er meer concentratie en wordt 45% van de schepen geëxploiteerd door bedrijven met twee of meer schepen. Hierdoor is risicospreiding beter mogelijk - dit vergroot de kansen op vergroening.

Transparante vervoersprijzen, langetermijncontracten en inzichtelijk maken van de kosten voor vergroening

Ook moeten vervoerders op transparante wijze voor verladers inzichtelijk maken hoe de transportprijs tot stand komt, hoe deze beïnvloed wordt bij vergroening en welke investeringen daarmee op termijn gedaan kunnen worden. De Corporate Sustainability Reporting Directive²¹ kan daarbij als concrete aanleiding dienen om met de opdrachtgever hierover in gesprek te gaan.

²¹ De CSRD is een Europese richtlijn voor duurzaamheidsrapportage. Deze richtlijn verplicht ondernemingen te rapporteren over hun duurzaamheid door middel van verschillende duurzaamheidscriteria.

Binnenvaartondernemers moeten focussen op het aangaan van langeretermijncontracten met verladers (*10 jaar of meer, met vervoersgarantie*) om zich te positioneren als betrouwbare partner. Dit helpt om een sterkere samenwerking op te bouwen en gunstigere financieringsvoorwaarden te verkrijgen bij investeringen in vergroening. Bij meer schaalgrootte van de onderneming maakt dit tevens een efficiënte logistieke dienst mogelijk met minder leegvaart.

Ook dient er meer onderling samengewerkt te worden tussen binnenvaartondernemers onderling in plaats van te concurreren op basis van de laagste vervoersprijs. Dit kan in de vorm van coöperaties die ook kunnen doen aan transportovername en daardoor een deel van de bevrachtingsinkomsten (circa 25%) kunnen aanwenden voor andere doeleinden²². Tot slot is ook het samenwerken met andere modaliteiten belangrijk om naar verladers toe vervoerszekerheid te kunnen blijven bieden.

7.3 Wat kunnen vaarwegbeheerders doen?

Vaarwegbeheerders kunnen de volgende acties ondernemen om vergroening van de kleine binnenvaart haalbaar te maken:

- Laadinfra beschikbaar stellen bij overnachtingsplaatsen en wachthavens bij sluisen en beweegbare bruggen;
- Vaarwegbelasting heffen die naar analogie van de vrachtwagenheffing rechtstreeks teruggesluisd kan worden aan de binnenvaartsector.

Geschikte walstrooinstallaties

Vaarwegbeheerders (Rijkswaterstaat, provincies) hebben evenals verladers de taak om een passende laadinfrastructuur aan de wal te realiseren, waarbij een vermogen van meer dan 150 kW wenselijk is. Hierbij is de rol van de vaarwegbeheerder het mogelijk maken van het bijladen tijdens het overnachten en de rol van de verlader het aanbieden van laadinfra tijdens het laden-/lossen. Tezamen kan zo een duurzaam netwerk ontstaan van snellaadpunten langs de vaarwegen.

Vaarwegbeheerders dienen de mogelijkheden tot het opladen van schepen met vaste batterijen in beeld te krijgen. Overnachtingshavens en belangrijke wachtplaatsen bij sluisen en beweegbare bruggen dienen te worden voorzien van geschikte laadinfrastructuur. Bestaande walstrooinstallaties blijken echter qua vermogen niet geschikt (22 kW aansluiting) - snellaadinfra zoals gehanteerd in de automotive industrie (150-350 kW) is dat echter wel. Veel kunstwerken blijken qua stroomaansluiting nog te beschikken over enige restcapaciteit waardoor deze vermogens beschikbaar gesteld kunnen worden. Het is raadzaam om hierbij regionaal te starten met pilots in samenspraak met enkele vervoerders en verladers.

Verzamelen van middelen om ter beschikking te stellen aan de sector

Vaarwegbeheerders (Rijkswaterstaat, provincies) moeten ook een rol pakken bij het stimuleren van verduurzaming van de binnenvaartsector. Ze kunnen optreden als intermediair tussen verlader en vervoerder. Door als neutrale fondsbeheerder op te treden kan de gewenste zekerheid geboden worden aan verladers en de gewenste flexibiliteit bij vervoerders behouden blijven.

²² Er wordt op basis van onderzoek van de Topsector Logistiek geschat dat bevrachtingskantoren een opslag van 20 à 25% hanteren op de vervoersprijs die betaald wordt aan de ondernemer. Het e-Pusher concept van Kotug voor het vervoer van cacao bonen tussen Amsterdam en Zaanstad kon kostenneutraal gelanceerd worden door de bevrachting over te nemen - een duwboot met meerdere duwbakken is gemakkelijker logistiek te exploiteren dan meerdere motorvrachtschepen.

Het middel hiertoe kan zijn *een vaarwegbelasting die wordt teruggesluisd naar de sector*. Dit gaat ook gebeuren bij de vrachtwagenheffing. De provinciewet biedt mogelijkheden om vaarweggebruikers te laten bijdragen aan de kosten voor bediening en beheer & onderhoud. Hiermee kunnen algemene middelen worden vrijgespeeld die benut kunnen worden om vergroening van de binnenvaart te financieren. Schone schepen kunnen kortingen of vrijstellingen krijgen voor deze belasting. Zie voor een nadere uitwerking Bijlage 5.

Voor provincies en gemeenten bieden zowel de Provinciewet als de Gemeentewet hiervoor aanknopingspunten; voor het Rijk is aanvullende wet- en regelgeving benodigd om dit mogelijk te maken op BPR-wateren.

7.4 Wat kunnen overheden doen?

Overheden (Europa, Rijk en CCR) kunnen de volgende acties ondernemen om vergroening van de kleine binnenvaart haalbaar te maken:

- Eenduidige richtlijnen en handreikingen opstellen voor toepassing van batterijtechnologie aan boord van binnenvaartschepen, pilotprojecten lanceren om de sector meer ervaring te geven zodat de kostprijs van binnenvaartspecifieke batterijsystemen substantieel kan gaan dalen.
- Stimuleren van toepassing van batterijtechnologie in de binnenvaart door middel van subsidies, garanties en leningen.
- Stimuleren van kennisopbouw- en uitwisseling door platforms en living labs.
- Het waarborgen van een gelijk speelveld tussen de verschillende aandrijftechnologieën.

Eenduidige richtlijnen en handreikingen opstellen voor het keuren van batterijtechnologie aan boord, zodanig dat de kosten voor batterijsystemen gaan dalen

Vanuit de Centrale Rijnvaartcommissie en de Europese Commissie worden de technische richtlijnen voor binnenvaartschepen vastgesteld. Deze richtlijnen gaan onder andere in op de wijze waarop batterijen worden geïmplementeerd in de binnenvaartsector. Batterijsystemen die momenteel in de binnenvaart worden toegepast, voldoen vaak aan maritieme keuringsnormen die mogelijk te streng zijn. Het opnieuw certificeren vanuit het perspectief van ESTRIN zal waarschijnlijk op termijn goedkopere batterijsystemen voor de binnenvaart opleveren. Dit moet echter in aanloop ondersteund worden door één of meerdere pilotprojecten. Het is zinvol om pilotprojecten om deze projecten op te starten met binnenvaartspecifieke keuringsinstanties zoals NBKB en BSC. Bovendien kunnen deze pilots leiden tot branchebrede interpretatie van de ESTRIN-richtlijn en daardoor meer standaardisatie.

Stimuleren van toepassing van batterijtechnologie in de binnenvaart door middel van subsidies, garanties en leningen

Daarnaast is het belangrijk dat de overheid de toepassing van batterijtechnologie in de binnenvaart stimuleert door subsidies te verstrekken aan binnenvaartondernemingen voor hybridisatie en dan in het bijzonder het toepassen van vaste batterijpakketten aan boord. De toeleverende industrie heeft meer ervaring nodig met het toepassen van deze technieken. Op deze manier zal de kostprijs kunnen dalen tot een streefniveau van € 300 tot € 400 per kWh waarbij voor veel binnenvaartondernemingen het kantelpunt qua TCO bereikt wordt.

Hoewel de Total Cost of Ownership (TCO) vaak niet de grootste uitdaging is, blijft financiering een knelpunt. De overheid kan binnenvaartondernemers ondersteunen door hen te helpen investeringsdrempels te overwinnen met een pakket van subsidies, garanties en leningen.

Stimuleren van kennisopbouw- en uitwisseling door platforms en living labs

We zien dat hybride varen voor bestaande kleine schepen veel kansen biedt. Nu maar zeker ook in de toekomst. Een belangrijke uitdaging ligt daarbij in het effectief delen van opgebouwde kennis en ervaring met betrekking tot de retrofit. Binnenvaartondernemers gaan bij het nemen van beslissingen ten aanzien van verduurzaming veelal af op ervaringen van collega-ondernemers²³. Dit blijkt ook uit onderzoek dat de provincie Zuid-Holland heeft laten uitvoeren. Overheden kunnen hier een belangrijke rol spelen. Op dit moment verloopt deze kennisdeling nog niet optimaal, wat de verdere ontwikkeling van hybride vaartuigen vertraagt. Door het opzetten van kennisplatforms waar experts uit verschillende sectoren hun inzichten kunnen delen, kan een grote stap worden gezet. Daarnaast kunnen living labs, waarin praktijktoepassingen getest worden en direct gedeelde leerervaringen plaatsvinden, bijdragen aan het versnellen van innovatie in hybride varen. Het creëren van een sterke kennisuitwisseling tussen partijen is noodzakelijk om hybride varen voor kleinere schepen verder te brengen en breder te introduceren.

Waarborgen van een gelijk speelveld tussen de verschillende aandrijftechnologieën

De binnenvaartsector kan momenteel gebruik maken van accijnsvrije gasolie conform bepalingen uit de Akte van Mannheim. Alternatieve brandstoffen worden nog niet altijd voorzien van vrijstelling van belastingen, zoals bijvoorbeeld de energiebelasting voor batterijcontainers. Dit zorgt voor een ongelijk speelveld waardoor gewenste technologieën wel belast worden ongewenste technologieën niet.

Het is echter niet wenselijk om de accijnsvrijstelling voor de binnenvaart op te heffen, dit zal zeker op de energie-intensieve trajecten in eerste instantie leiden tot een *enorme reverse modal shift*. De binnenvaart concurreert vooral in het containersegment immers ook in sterke mate met het goederenvervoer over de weg. Vrijstellingen en kortingen op de energiebelasting voor schonere aandrijftechnologieën kunnen echter wel zorgen voor een transitie naar duurzame binnenvaart.

²³ Zie hiervoor: <https://www.schuttevaer.nl/nieuws/actueel/2024/08/09/schippers-hechten-veel-waarde-aan-verduurzamings-advies-uit-eigen-gelederen/>

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies van het onderzoek

Hybridisering is voor 15% van de binnenvaart effectiever dan een nieuwe Stage V motor

Hybridisering van kleine binnenvaartschepen is vergeleken met inbouw van een nieuwe Stage V motor een optie voor ongeveer 15% van de kleine binnenvaartvloot, zelfs met de huidige batterijprijzen. Bij dalende batterijprijzen wordt deze technologie aantrekkelijker voor een groter aantal schepen. Aanvullend voordeel van hybridisering is een grotere besparing ten aanzien van CO₂-emissie. Ook kan in kwetsbare natuurgebieden en in steden met zero-emissie zones gevaren worden zonder emissie. Dit kan niet met een Stage V verbrandingsmotor.

Motorbeunschepen het meest geschikt, andere scheepstypen minder

Wanneer we kijken naar de type schepen, zien we dat motorbeunschepen als eerste in aanmerking lijken te komen voor hybridisering. Deze schepen maken relatief veel korte reizen met snelle laad- en lostijden, wat hen geschikt maakt voor een kleine batterij en de mogelijkheid om investeringen snel terug te verdienen. Ook vanuit marktperspectief zijn motorbeunschepen logischer: ze opereren in de zand- en grindmarkt, die veel opdrachten vervult in opdracht van overheden die duurzaamheidseisen kunnen stellen.

Motorvrachtschepen en motortankschepen zijn minder geschikt voor hybridisering

Motorvrachtschepen leggen vaak lange afstanden af en hebben, vooral bij inzet in de agribulksector, lange laad- en lostijden. Hierdoor maken ze te weinig vaaruren om de investering in hybridisering terug te verdienen. Voor motortankschepen geldt dat de vaarafstanden doorgaans te groot zijn. In het kleine segment betreft het vaak poedertankers en eetbare oliëntankers die op de spotmarkt actief zijn, wat resulteert in een onvoorspelbaar vaarprofiel met afwisselend korte en lange reizen en daardoor een relatief grote batterij, relatief grote elektrische vermogens om beladen stroomopwaarts te kunnen varen en daardoor hoge kosten. De baten zijn onduidelijk gelet op het onvoorspelbare vaarprofiel en bovendien te gering om een acceptabele terugverdientijd te krijgen bij de huidige batterijprijzen.

Hoge batterijprijzen door toepassing van te stringente maritieme veiligheidseisen verhinderen grootschalige toepassing van batterijtechnologie door de binnenvaart

Het toepassen van batterijen aan boord van binnenvaartschepen is momenteel erg kostbaar. Batterijprijzen liggen momenteel op € 650 per kWh. Bij batterijprijzen van €300 tot €400 per kWh wordt hybridisering haalbaarder voor een groter aantal schepen. Bestaande leveranciers leveren batterijen met maritieme typegoedkeuring maar dit lijkt te streng voor de binnenvaart. Ook geldt dat de veiligheidseisen die worden gedefinieerd in ESTRIN de kosten opdrijven. Het toepassen van goedkope vrachtautobatterijpakketten is daardoor niet zonder meer mogelijk in de binnenvaartsector. De lithium-ion technologie die veelal uit dichtheidsoverwegingen wordt toegepast in de automotive sector lijkt minder geschikt voor de binnenvaart; lithium-ijzerfosfaat is een betere optie en bovendien veiliger. Ook geldt dat er bij toeleverende partijen en keuringsinstanties weinig ervaring met batterijtechniek bestaat, waardoor vaak het wiel opnieuw moet worden uitgevonden. Eenduidige richtlijnen zijn er niet.

Inzet op retrofit noodzakelijk; nieuwbouw is niet kosteneffectief

Nieuwbouw van kleine schepen is financieel niet haalbaar in vergelijking met de bestaande vloot met bestaande motoren. Duwkonvoeien kunnen in zeer specifieke gevallen effectief zijn, maar alleen als aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan, zoals geschikte laad- en lostijden en vaarafstanden. De initiële kosten zijn hoog vanwege de investeringen in duwbakken, die aanzienlijk duurder zijn dan de bestaande vloot, en de terugverdientijd is alleen acceptabel als er veel gevaren wordt. Voor het merendeel van de volumes in de binnenvaartsector is dit echter niet haalbaar. *De binnensector dient dus in te zetten op retrofit van de bestaande vloot.*

8.2 Aanbevelingen

Onze aanbevelingen voor toepassing van batterijtechnologie in de binnenvaart luiden als volgt:

Behoud de bestaande vloot kleine schepen en zorg dat zij zich kunnen richten op vergroening

Het aantal kleine binnenvaartschepen in de West-Europese binnenvaartvloot is in de afgelopen decennia zeer hard teruggelopen door een veelvoud aan factoren. Recent onderzoek van Panteia/Erasmus UPT²⁴ en Decisio²⁵ maakte inzichtelijk dat de aankomende aflopende overgangsbepalingen van de technische voorschriften voor kleine binnenvaartschepen zeer hoge investeringen vergt. Daardoor zijn deze bepalingen financieel-economisch onhaalbaar en zullen ze leiden tot zeer sterke krimp (lees: sloop) van de resterende vloot aan kleine binnenvaartschepen.

Tegelijkertijd maakt dit onderzoek inzichtelijk dat de kleine binnenvaart een belangrijke logistieke functie vervult voor veel industriële sectoren en dat de kleine binnenvaart een enorme opgave heeft en aanzien van het vergroenen. Bovendien geldt dat nieuwbouw van kleine binnenvaartschepen onmogelijk is, zelfs als gekeken wordt naar meer efficiënte duwcombinaties. Het is dus noodzaak om de kleine binnenvaartvloot te behouden en te ondersteunen bij de verduurzaming door middel van elektrificatie.

Ontwerp een systeem met uitwisselbare batterijen met een maximaal gewicht van 2.500 kg

Dit onderzoek maakt inzichtelijk dat er mogelijk een investeringshobbel optreedt bij het aanschaffen van een vaste batterij aan boord. Dat terwijl er voor veel schepen wel een businesscase te realiseren is. Uitwisselbare batterijen kunnen hierbij een oplossing bieden, maar bestaande systemen op de markt gaan hierbij uit van systemen in containers waardoor het varen langs containerterminals noodzakelijk is. Dit is voor veel schepen niet mogelijk.

Wij bevelen aan onderzoek te doen naar de technische en financiële haalbaarheid van kleinere mobiele accupakketten worden toegepast. Daar waar bestaande systemen zoals ZES-batterijcapaciteiten van 2 MWh of meer aanbieden, volstaat voor de kleine binnenvaart doorgaans een batterij van 800 tot 1.000 kWh. Om het systeem praktisch haalbaar te laten zijn is het noodzakelijk dat er nauwelijks externe handelingen nodig zijn bij het wisselen van batterijpakketten. Het gebruik van de eigen autokraan aan boord is hierbij een mogelijkheid om batterijcontainers van en aan boord te tillen. Autokranen kunnen doorgaans tot 2.500 kg tillen en dit zou overeen moeten kunnen komen met een batterijcapaciteit van 250 kWh per container, waarmee een klein binnenvaartschip gemiddeld twee uur kan varen.

Wij stellen voor dat nagedacht wordt over een ontwerp van een uitwisselbaar batterijsysteem met een maximaal gewicht van 2.500 kg, waarbij rekening gehouden wordt met het noodzakelijke netwerk (bijvoorbeeld in corridor-verband) van uitwissel- en laadpunten voor dergelijke containers.

²⁴ <https://www.eur.nl/upt/nieuws/de-effecten-van-het-aflopen-van-de-langlopende-overgangsbepalingen-es-trin-20352041>

²⁵ <https://decisio.nl/technische-eisen-onbetaalbaar-voor-veel-binnenvaartschepen/>

Initieer pilotprojecten voor retrofit van de bestaande kleine vloot

Dit onderzoek is opgezet vanuit een financieel-economisch perspectief en beschouwt, op micro-niveau, de theoretische mogelijkheden voor een binnenvaartonderneming gebaseerd op een gemodelleerd vaarprofiel gebaseerd op waargenomen, doch veelal deels onvolledige reisdata²⁶ verzameld door Rijkswaterstaat. Vervolgens is een model opgezet waarmee de investeringskosten en operationele besparingen voor binnenvaartondernemingen geschat kunnen worden. Dit model houdt geen rekening met additioneel energieverbruik uit bijvoorbeeld laad-/lospompen. Het model levert bij de huidige aannames veelbelovende resultaten op en identificeert kansrijke scheepstypen en wordt daarmee door de klankbordgroep qua uitgangspunten en uitkomsten waarheidsgetrouw geacht, maar verder onderzoek is noodzakelijk. Wij stellen voor dat de *Topsector Logistiek* samen met partners (Min IenW, provincies, etc.) pilotprojecten voor retrofit initieert.

Daarbij is het zaak om allereerst op basis van *daadwerkelijke vaarprofielen* van schepen en de *bouwtekening* te identificeren welke batterijgrootte(s) en welke elektromotor(en) er mogelijk zouden kunnen zijn om relevante trajectdelen zero-emissie af te leggen en vervolgens te beschouwen in samenspraak met de toeleverende industrie (*batterij-leveranciers, elektromotoren, regeltechnieken, werven, keuringsinstanties*) te bezien of de zero-emissie technologie met een vaste batterij aan boord qua ruimte, techniek en financiën mogelijk is in de vorm van een *design-challenge*. Medewerking van de schipper-eigenaar is hierbij noodzakelijk. Wij stellen hierbij voor om drie casussen uit te werken - een motorvrachtschip met containers, een motorbeunship en een werkschip.

Werk met keuringsinstanties en batterijsysteem-leveranciers aan goedkopere batterijen voor de binnenvaart

Batterijsystemen voor de binnenvaart zijn momenteel zeer kostbaar. Dit komt deels doordat de bestaande leveranciers batterijsystemen toepassen die ook goedgekeurd zijn voor maritiem gebruik met veel stringenter veiligheidseisen dan noodzakelijk voor binnenvaarttoepassingen conform ESTRIN. Wij stellen voor dat de Rijksoverheid pilootprojecten initieert, bijvoorbeeld via het Maritiem Masterplan, waarbij goedkope industriële batterijcellen worden toegepast en conform ESTRIN-vereisten worden ingebouwd aan boord van een binnenvaartschip. Ons idee is dat dit op termijn - na toepassing van de leercurve - zal leiden tot substantieel lagere prijzen bij een adequaat veiligheidsniveau voor de binnenvaartsector. Dit kan bijvoorbeeld via toepast wetenschappelijk onderzoek waarna de inzichten, indien marktrijp, overgenomen kunnen worden door een nieuwe toetreders op de markt.

Een deel van het probleem zit momenteel ook in het keuren van batterijsystemen. Met binnenvaart-specifieke keuringsinstanties zal gekomen moeten worden tot een uniforme leidraad voor het keuren van batterijsystemen en elektrische aandrijfsystemen in de binnenvaart. Dit werkt aanvullend kosten-reducerend. Een werkgroep op het niveau van CESNI in combinatie met praktijk-toetsing door meerdere bureaus en keurmeesters van enkele dezelfde projecten kan helpen om te komen tot een eenduidige lijn.

²⁶ De data is onvolledig in de gevallen dat kleine binnenvaartschepen veel reizen hebben gemaakt in het buitenland, bijvoorbeeld interne transporten in België en/of Duitsland. Het vaarprofiel is uitsluitend gebaseerd op waargenomen reizen in Nederland. Het is bekend dat er specifieke regio's zijn met lage IVS-Next dekking doordat schepen onderweg geen telpunt tegenkomen. Denk daarbij aan de vaarroutes Rotterdam - Gouda, Rotterdam-Den Haag en Amsterdam - Alphen aan den Rijn. Betere data kan verzameld worden door de Parksluizen en de Nieuwe Meer sluis toe te voegen als IVS-Next telpunt.

Subsidieer de eerste retrofits en leer van de ervaringen

Dit onderzoek maakt inzichtelijk dat een grote hoeveelheid binnenvaartschepen geretrofit zal worden met batterijsystemen wanneer de prijzen voor batterijsystemen zullen zakken onder de € 400/kWh. Het huidige prijsniveau ligt met € 650/kWh substantieel hoger. Om de sector veel meer kennis en ervaring op te laten doen met dergelijke systemen stellen wij voor dat de overheid de aankomende jaren voldoende middelen²⁷ reserveert om tenminste *twintig binnenvaartschepen* uit te rusten met batterijtechnieken. Het doel hierbij is om de sector breed kennis te laten maken met de mogelijkheden en te laten experimenteren en leren, zodanig dat het kostenniveau zakt.

Werk aan een dekkend netwerk van oplaadpunten

Wanneer binnenvaartschepen worden uitgerust met grote vaste batterijpakketten aan boord is het noodzakelijk voor deze technologie om aan de wal een dekkend netwerk van oplaadpunten te hebben. Het onderzoek maakt duidelijk dat snellaad-techniek uit de automotive industrie met palen met een laadcapaciteit van 150 tot 350 kW moeten volstaan voor gebruik door de binnenvaart. Een dergelijk netwerk zal uitgerold moeten worden langs de vaarwegen in Nederland. Het is daarbij belangrijk dat dergelijke laadmogelijkheden beschikbaar zijn bij belangrijke overnachtingshavens op het Rijks- en provinciaal vaarwegennet en bij laad-/losplaatsen. Wij willen specifieke aandacht vragen voor de zandwinningsactiviteiten op het IJsselmeer; mogelijk kan daar geladen worden aan boeien of in de IJsselmeerkusthavens. Aanbevolen wordt om voor een adequate hoeveelheid oplaadpunten voor vaste batterijen langs het vaarwegennet via AFIF²⁸ subsidie aan te vragen voor aanleg van dergelijke infrastructuur. Vaarwegbeheerders moeten bezien of het mogelijk is restcapaciteit bij de netaansluiting van kustwerken te benutten om dergelijke capaciteiten overnacht ter beschikking te stellen aan de binnenvaartsector.

Zorg voor de toekomst voor adequate financiering van batterijtechnologie

Dit onderzoek maakt duidelijk dat de verschillen in operationele kosten tussen een conventioneel aangedreven schip (met Stage V motor) en een hybride voortstuwingssysteem beperkt zijn. Voor veel schepen is er een businesscase te maken. Echter, het toepassen van batterijtechnieken aan boord van schepen is zeer kostbaar en vergt investeringen die de marktwaarde van de bestaande (kleine) schepen veelal overtreft. Dit is dus een duidelijke financieringshobbel die zal moeten worden weggenomen. Subsidiëring of het verstrekken van goedkope leningen (garanties) kan hierbij soelaas bieden. Gestreefd moet worden naar aantrekkelijke rentes (<3%) op batterijsystemen.

Een oplossing hierbij kan zijn dat de overheid coalities tussen vervoerders, verladers en vaarwegbeheerders initieert op corridor-niveau en via CEF-AFIF de aanleg van de noodzakelijke oplaadinfra aan de wal als de retrofit van een groot aantal schepen mogelijk maakt. Dit is een specifieke uitzondering die de Europese Commissie heeft gemaakt om verduurzaming van de binnenvaartsector mogelijk te maken. Men is bereid tot 50% van de meerkosten voor elektrificatie te vergoeden en dat kan per scheepseigenaar leiden tot substantiële bedragen.

²⁷ Per binnenvaartschip gaat het om een batterijpakket van gemiddeld 800 kWh (bruto) tegen een kostprijs van € 650 / kWh en een gewenste prijs van €400 / kWh. Dit komt overeen met een totale subsidie van € 200.000 per schip en in totaal € 4.000.000 voor twintig schepen.

²⁸ https://cinea.ec.europa.eu/funding-opportunities/calls-proposals/cef-transport-alternative-fuels-infrastructure-facility-afif-call-proposal_en

Lanceer een vaarwegbelasting met terugsluis

De binnenvaartsector heeft de grootse moeite om bij verladers middelen te verkrijgen waarmee vergroening bekostigd kan worden. Dit komt door de sterke concurrentie onderling tussen binnenvaart-ondernemers en de prijsdruk die algemeen aanwezig is in de transportsector. Tegelijkertijd maakt recent onderzoek van de Topsector Logistiek inzichtelijk dat voor het merendeel van de bulksectoren de vervoersprijs nauwelijks zal stijgen wanneer zero-emissies binnenvaarttransport aangeboden wordt - de meerprijs van duurder transport is uiterst beperkt op de totale prijs van het eindproduct voor de consument.

Tegelijkertijd geldt dat een hogere transportprijs zich ook echt zal moeten uiten in vergroeningsmaatregelen. Verladers hebben momenteel onvoldoende zekerheid dat de ondernemer daadwerkelijk zal gaan vergroenen. Ook dit vraagt om een neutrale intermediaire partij. De overheid kan zo'n partij zijn. Door in de binnenvaartsector analoog aan de vrachtautosector een vaarwegbelasting te gaan heffen, met terugsluis van middelen zodat deze kunnen worden aangewend door vergroening, kunnen middelen worden vrijgemaakt om veel bestaande schepen te retrofitten. Onderzoek de mogelijkheden voor een belasting op het volledige gemeentelijke en provinciale vaarwegennet en studeer op wetgeving waarmee een dergelijke belasting op BPR-vaarwegen mogelijk wordt. Zorg voor een *volledige terugsluis van de middelen en zorg voor kortingen op de belasting* voor schone schepen. In Bijlage 5 zijn meer details over een dergelijke belasting gegeven.

Zorg voor uitfasering van bestaande verbrandingsmotoren door middel van regelgeving

Vrijwel alle binnenvaartschepen zijn momenteel nog uitgerust met verbrandingsmotoren. De overheid stimuleert het plaatsen van schone Stage V verbrandingsmotoren. Dit zorgt ervoor dat de komende jaren nog veel emissie uitgestoten gaat worden, zelfs als al deze verbrandingsmotoren gevoed worden door biobrandstoffen (FAME of HVO100). Er is momenteel nog geen regelgeving die uitfasering van verbrandingsmotoren in de binnenvaart voorschrijft. Dit terwijl alle andere technische facetten in de binnenvaart voorgeschreven zijn. Wij bevelen aan dat de Nederlandse overheid in EU/CESNI verband lobbyt voor technische regelgeving (overgangsbepaling) die het gebruik van verbrandingsmotoren per 2030 (CCR 1 en ouder), 2035 (CCR 2) en 2040 (Stage V) verbiedt.

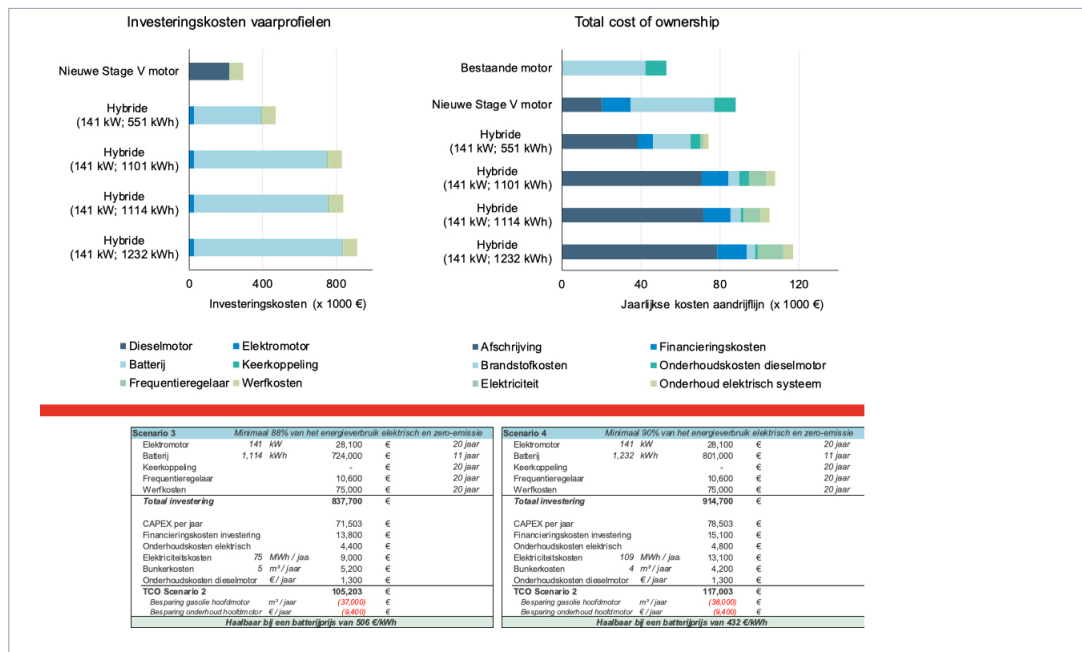
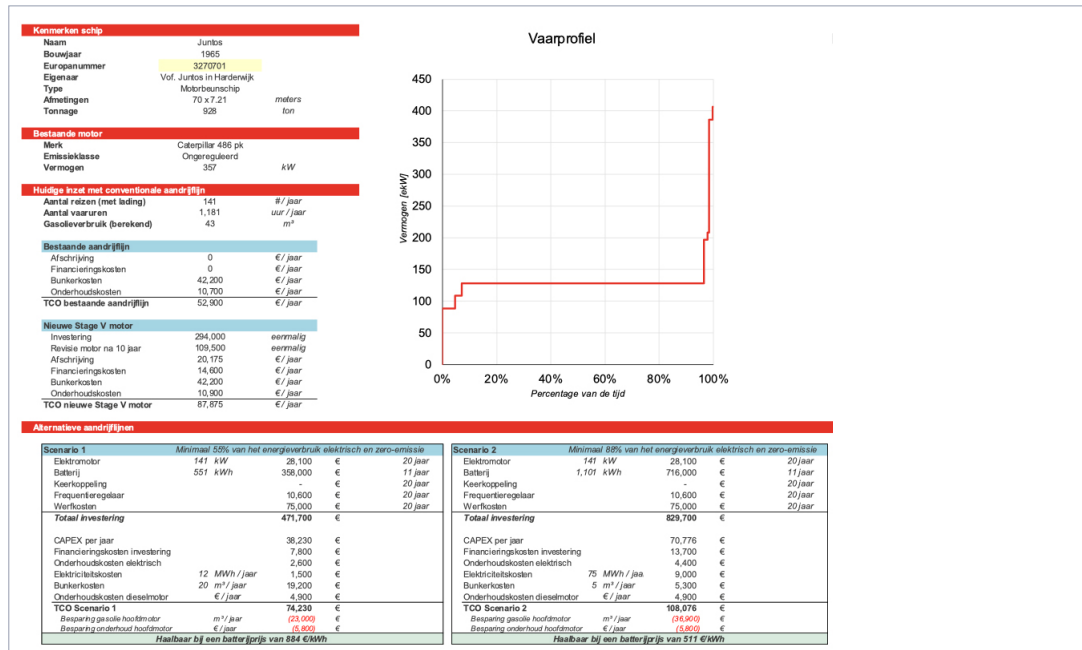
Zorg voor marktprikkels (wortel en stok) om te vergroenen

Daarnaast ontbreken prikkels in de markt om te vergroenen. Regelgeving is zowel op technisch vlak als op lokaal vlak nog afwezig. Er zijn geen milieu- of zero-emissiezones die het varen met binnenvaartschepen met verbrandingsmotoren verbieden. Het introduceren van dergelijke zones (met overgangstermijnen) kan leiden tot een versnelde retrofit van de vloot. Het programma SEB (schoon en emissieloos bouwen) is echter uiterst succesvol geweest en heeft reeds geleid tot een relatief grote hoeveelheid zero-emissie werkschepen die in of nabij Natura2000 gebieden werkzaamheden kunnen verrichten. Dit inspireert; het kan dus ook mogelijk zijn om door middel van zero-emissiezones voor de binnenvaart vergroening af te dwingen.

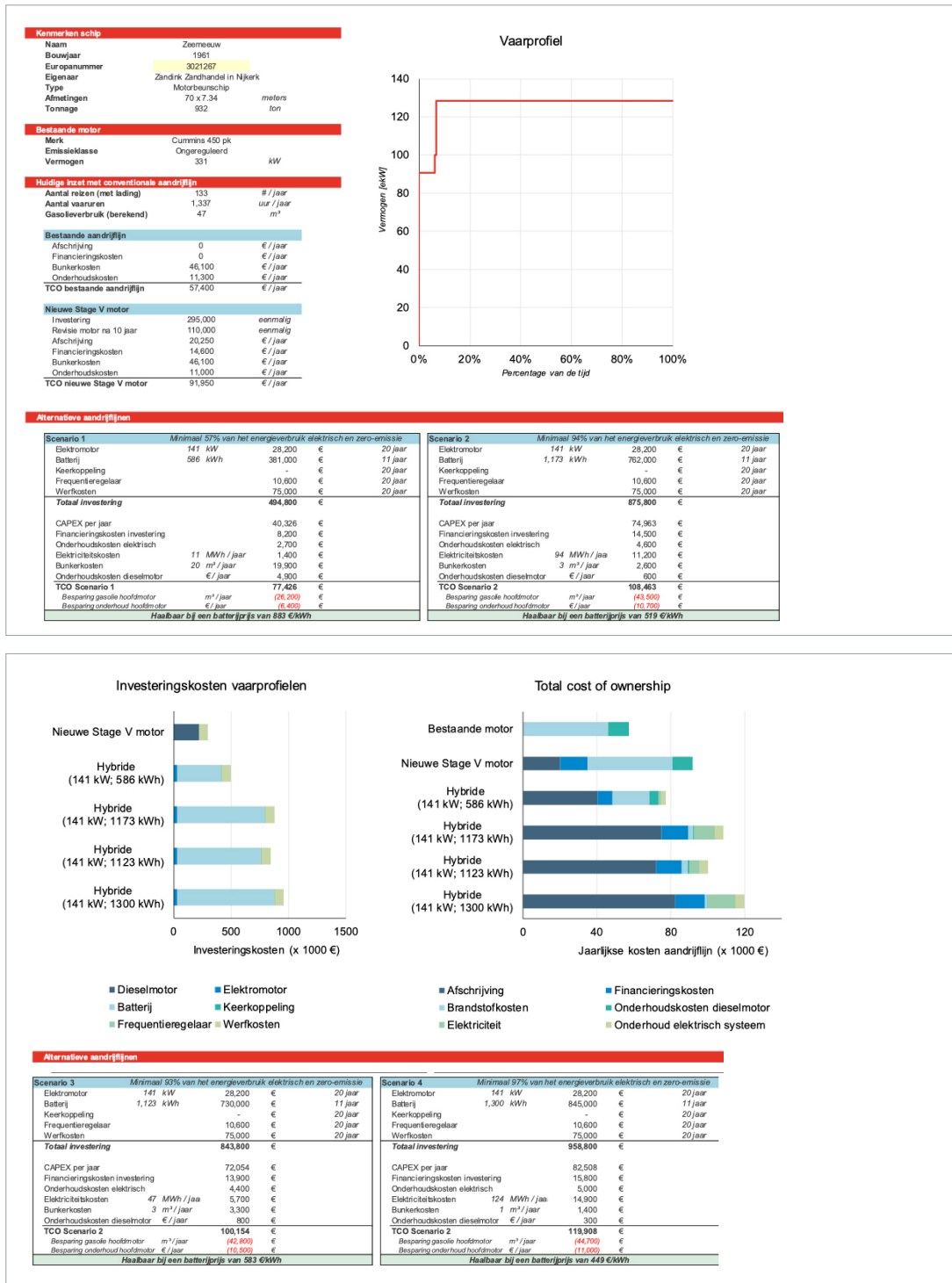
Daarnaast stellen wij voor dat de overheid in haar inkoopbeleid harde eisen stelt aan het (varend) materieel dat gebruikt wordt. Dwing daarin zero-emissie toelevering van bouwmaterialen per schip naar de bouwplaats af. Dit zal er toe leiden dat de sector vanzelf zal investeren in zero-emissie materieel. Doe dit ook bij toekomstige vergunningen voor zand- en grindwinning in de Nederlandse wateren en vereis hierbij niet alleen zero-emissie winning maar ook zero-emissie aan- en afvoer van de materialen.

Bijlage 1 Rekenmodel

Het rekenmodel is in een aparte Excel bijlage ter beschikking gesteld aan de opdrachtgever. Onderstaand twee voorbeelden van casussen uit het rekenmodel.



Figuur 18 Uitwerking voorbeeldcasus rekenmodel (geanonimiseerd) Bron: Panteia/Rebel



Investeringskosten vaarprofielen

Total cost of ownership

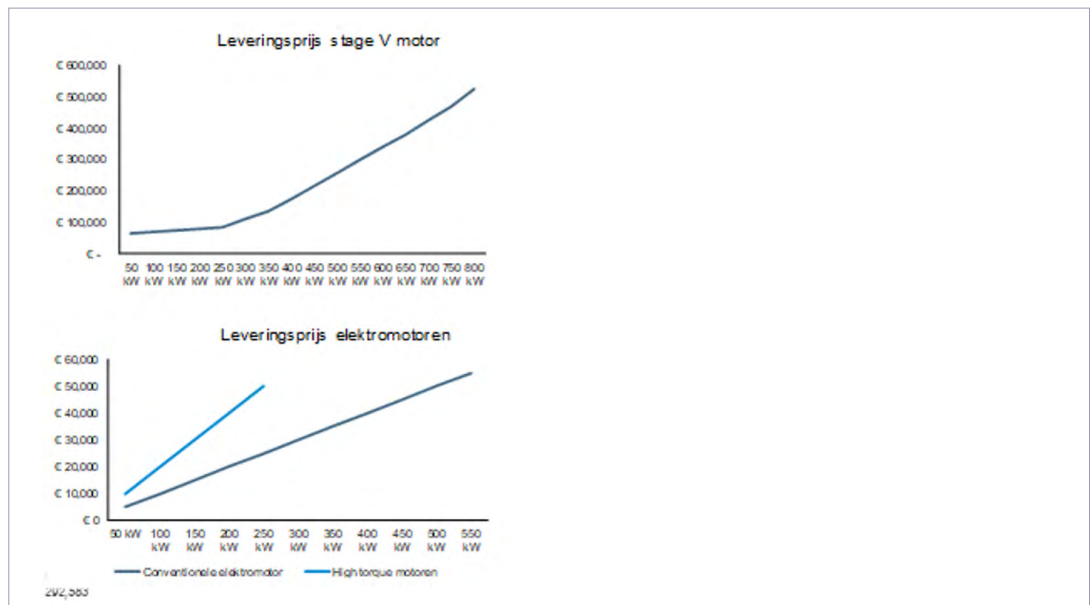
Alternatieve aandrijvingen

Scenario 3	Minimaal 59% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie				Scenario 4	Minimaal 97% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie			
Elektromotor	141 kW	28,200 €	20 jaar		Elektromotor	141 kW	28,200 €	20 jaar	
Batterij	1,123 kWh	730,000 €	11 jaar		Batterij	1,300 kWh	845,000 €	11 jaar	
Keerkoppeling		-	20 jaar		Keerkoppeling		-	20 jaar	
Frequentieregelaar		10,600 €	20 jaar		Frequentieregelaar		10,600 €	20 jaar	
Werkkosten		75,000 €	20 jaar		Werkkosten		75,000 €	20 jaar	
Totaal investering		843,800 €			Totaal investering		958,800 €		
CAPEX per jaar		72,054 €			CAPEX per jaar		82,508 €		
Financieringskosten investering		13,900 €			Financieringskosten investering		15,800 €		
Onderhoudskosten elektrisch		4,400 €			Onderhoudskosten elektrisch		5,000 €		
Elektriciteitskosten	47 MWh / jaar	5,700 €			Elektriciteitskosten	124 MWh / jaar	14,900 €		
Bunkerkosten	3 m ³ / jaar	3,300 €			Bunkerkosten	1 m ³ / jaar	1,400 €		
Onderhoudskosten dieselmotor		800 €			Onderhoudskosten dieselmotor		300 €		
TCO Scenario 3		100,154 €			TCO Scenario 4		119,988 €		
Besparing gasolie hoofdmotor	m ³ / jaar	(42,800) €			Besparing gasolie hoofdmotor	m ³ / jaar	(44,700) €		
Besparing onderhoud hoofdmotor	€ / jaar	(10,500) €			Besparing onderhoud hoofdmotor	€ / jaar	(11,000) €		
Haalbaar bij een batterijprijs van 583 €/kWh					Haalbaar bij een batterijprijs van 449 €/kWh				

Figuur 19 Uitwerking voorbeeldcasus rekenmodel (geanonimiseerd). Bron: Panteia/Rebel

Bijlage 2 Overzicht aannames

	50 kW	100 kW	150 kW	200 kW	250 kW	300 kW	350 kW	400 kW	450 kW	500 kW	550 kW			
Elektromotor														
Min	€ 5,000	€ 10,000	€ 15,000	€ 20,000	€ 25,000	€ 30,000	€ 35,000	€ 40,000	€ 45,000	€ 50,000	€ 55,000	standaard		
Max	€ 10,000	€ 20,000	€ 30,000	€ 40,000	€ 50,000	€ 100,000	€ 150,000	€ 200,000	€ 250,000	€ 300,000	€ 350,000	high torque, om de schroef te heen		
Batterij														
Uitstele low		200 €/ kWh												
Min		300 €/ kWh												
Current market prices		650 €/ kWh												
Frequentieregelaar		75 €/ kW												
Keerkoppeling	€ 50,000	alleen nodig i.c.m. met gekochte elektromotor												
Verkosten, bezicht, elektricien, etc.	€ 75,000													
ETS	ja													
Dieselprijs	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
	€ 150	€ 175	€ 200	€ 225	€ 250	€ 275	€ 300	€ 325	€ 350	€ 375	€ 400	€ 425		
Prijsverschil HVO	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300	€ 300		
ETS-prijs (opslag)	€ -	€ -	€ -	€ -	€ 130	€ 153	€ 177	€ 200	€ 210	€ 220	€ 230	€ 240		
Electriciteitsprijs														
Min	0.12 €/ kWh													
Max	0.27 €/ kWh													
Rendement elektromotor	90%													
Rendementverlies keerkoppeling	1% relatief													
Veilige disopslag capaciteit batterij	20%													
Extra installatie vanwege levensduur	20%													
Stage V motor	50 kW	100 kW	150 kW	200 kW	250 kW	300 kW	350 kW	400 kW	450 kW	500 kW	550 kW	600 kW	650 kW	700 kW
nieuwe motor: liggen op 1 pk per 1,5 ton laadvormogen	€ 65,000	€ 70,000	€ 75,000	€ 80,000	€ 85,000	€ 110,000	€ 135,000	€ 175,000	€ 215,000	€ 255,000	€ 300,000	€ 340,000	€ 380,000	€ 420,000
incl. keerkoppeling, etc.					€ 149,321	€ 168,038	€ 188,742	€ 202,633	€ 218,840	€ 234,482	€ 249,518	€ 264,315	€ 278,824	€ 293,093
Levensduur motor	20 jaar													
Kosten revisie	50%													
Onderhoud	5%													
	Onderhoudskosten 5% initiele prijs per jaar													
Levensduur batterij	11 jaar													
Rentepercentage batterijen	2%													
Rentepercentage Stage V	9%													



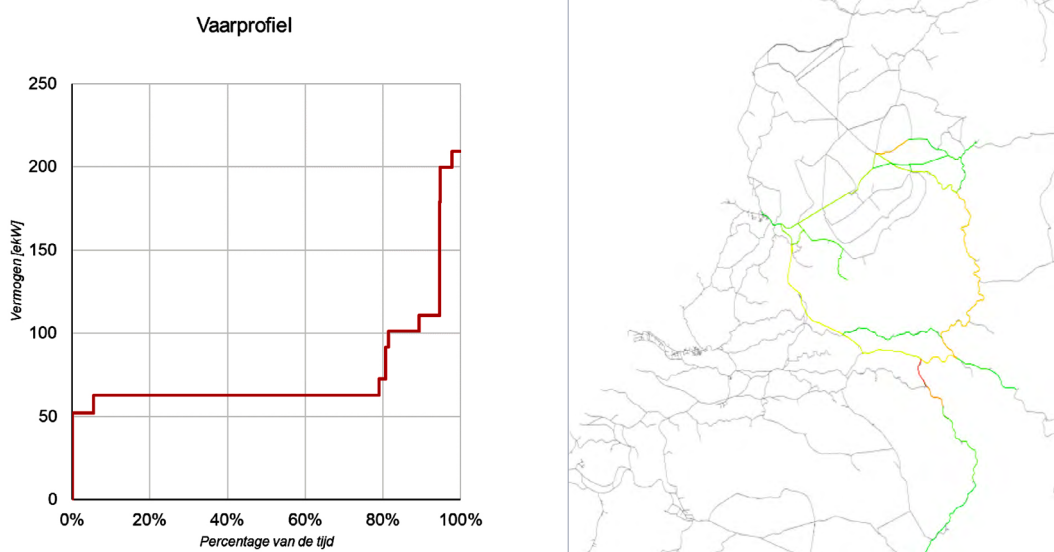
Bijlage 3 Uitwerking casussen retrofit

Motorvrachtschepen

Voor de motorvrachtschepen hebben wij meerdere casussen geselecteerd:

Casus 1: CEMT-klasse II schip dat zand/grind vaart

De eerste casus betreft een motorvrachtschip van 49 meter lang en 5,95 meter breed. Dit schip vaart hoofdzakelijk naar de binnenhaven van Emmeloord (CEMT-klasse II) met zand/grind dat wordt gewonnen bij verschillende zandwinplassen langs de rivieren. Het schip maakt op jaarbasis 51 beladen reizen en maakt 1.350 vaaruren waarbij in totaal 29.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 235 kW. De reizen van dit schip zijn wel relatief lang en vergen veel energie.



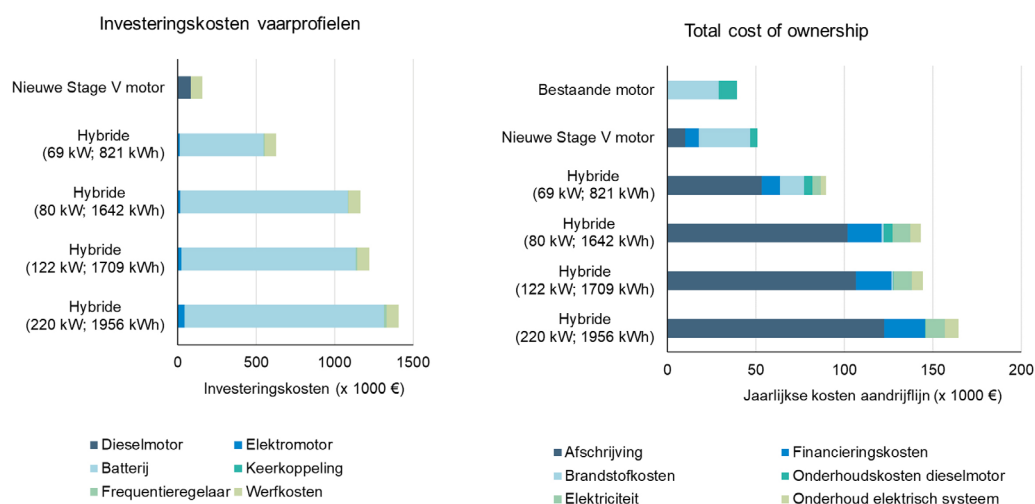
Figuur 20 Vaarprofiel behorende bij casus 1. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd slechts 60 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip veelal op de rivieren komt, maar het betreft daarbij vooral afvarende beladen reizen waarvoor slechts een gering motorvermogen benodigd is.

Op basis van het vaarprofiel worden vier scenario's als volgt ingericht:

- een scenario met een elektromotor van 70 kW en een batterij van 820 kWh (bruto), waarmee 53% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 80 kW en een batterij van 1642 kWh (bruto), waarmee 96% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 122 kW en een batterij van 1709 kWh (bruto), waarmee 97% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 220 kW en een batterij van 1956 kWh (bruto) waarmee volledig zero-emissie gevaren kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO niet haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 1,1 tot 1,4 miljoen zijn te hoog - vooral doordat het schip relatief lange reizen maakt waardoor een grote batterij benodigd is - terwijl er relatief weinig reizen gemaakt worden en de operationele besparingen daardoor te gering zijn (€ 33.000 tot € 39.000 per jaar). Hierdoor is er nauwelijks een terugverdienmodel. Elektrificatie van dit schip wordt pas interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 212 per kWh.



Figuur 21 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 1. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

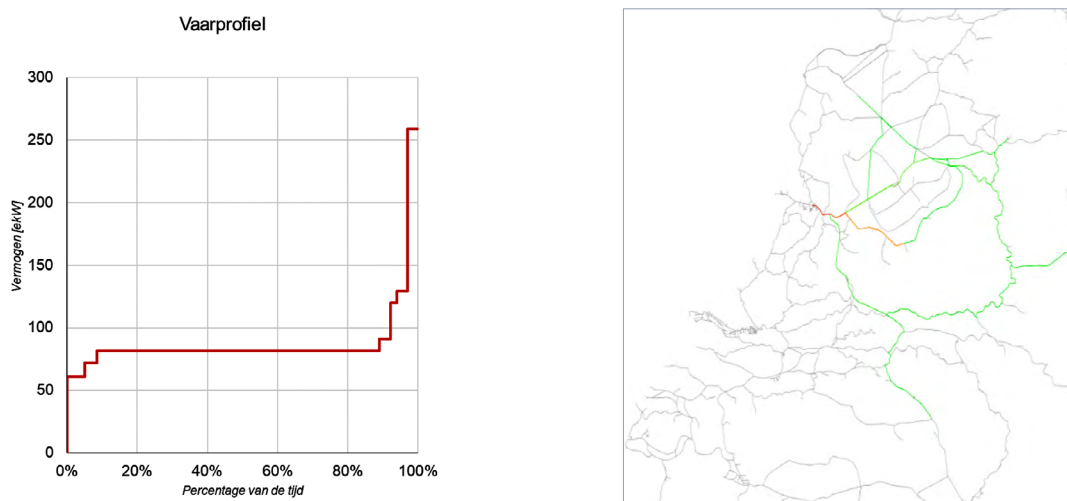
Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	93 ton	n.v.t.	1294 kg	n.v.t.	67 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	93 ton	-0	212 kg	-84	1 kg	-98
Hybride (69 kW; 821 kWh)	43 ton	-53	185 kg	-56	31 kg	-53
Hybride (80 kW; 1642 kWh)	4 ton	-96	50 kg	-96	3 kg	-100
Hybride (122 kW; 1709 kWh)	3 ton	-97	34 kg	-97	2 kg	-100
Hybride (220 kW; 1956 kWh)	0 ton	-100	5 kg	-100	0 kg	-100

Tabel 9 Overzicht emissiebesparingen voor schip 1 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 93 ton CO₂ produceert per jaar, 1.294 kg NO_x en 67 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 53% tot 100% van de emissies van CO₂ en fijnstof. Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt een grotere reductie van 56% doordat bij zeer lage belasting van de motor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn. In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuilende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Casus 2: CEMT-klasse II schip dat agribulk vaart

De tweede casus betreft een motorvrachtschip van 50 meter lang en 6,60 meter breed. Dit schip vaart hoofdzakelijk agribulk van de zeehaven Amsterdam naar de binnenhaven van Nijkerk (CEMT-klasse III). Het schip maakt op jaarbasis een beperkt aantal van 27 beladen reizen en maakt daarbij circa 300 vaaruren waarbij in totaal 8.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 270 kW. De reizen van dit schip zijn relatief gezien zeer kort en vergen een beperkte hoeveelheid energie.

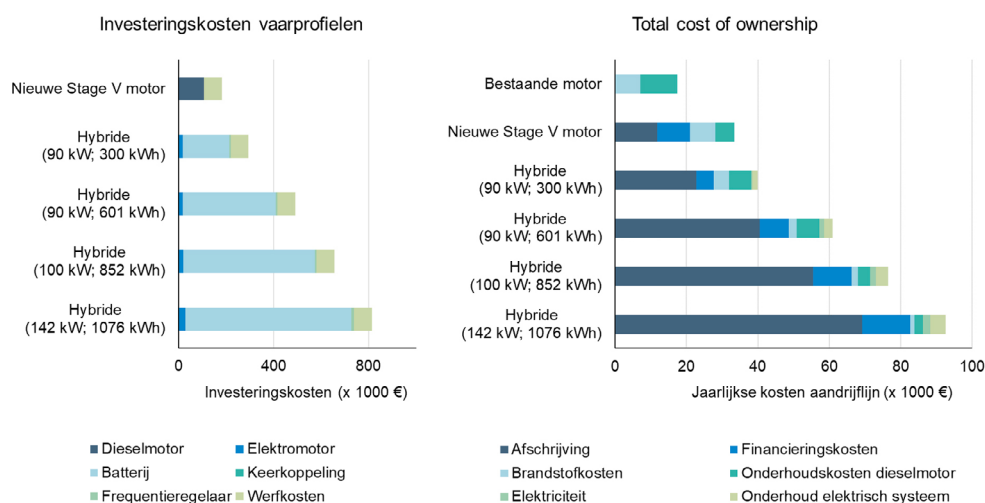


Figuur 22 Vaarprofiel behorende bij casus 2. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd ongeveer 90 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip veelal het traject bevaart tussen Amsterdam en Nijkerk en slechts zelden op overige vaarwegen komt. Op basis van het vaarprofiel worden vier scenario's als volgt ingericht:

- een scenario met een elektromotor van 90 kW en een batterij van 300 kWh (bruto), waarmee 39% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 90 kW en een batterij van 601 kWh (bruto), waarmee 67% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 100 kW en een batterij van 852 kWh (bruto), waarmee 76% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 142 kW en een batterij van 1.076 kWh (bruto), waarmee 83% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO (nog) niet haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 300.000 tot € 800.000 zijn te hoog - vooral door de hoge kosten van de batterij - terwijl er te weinig reizen gemaakt worden en de operationele besparingen daardoor te gering zijn (€ 7.000 tot € 14.000 per jaar). Hierdoor is er nauwelijks een terugverdienmodel. Elektrificatie van dit schip wordt pas interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 446 per kWh. Wanneer de operationele inzet van dit schip zou toenemen - bijvoorbeeld doordat de verlader het schip zelf gaat exploiteren en niet meer inhuurt op spotbasis, wordt de TCO snel gunstiger.



Figuur 23 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 2. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

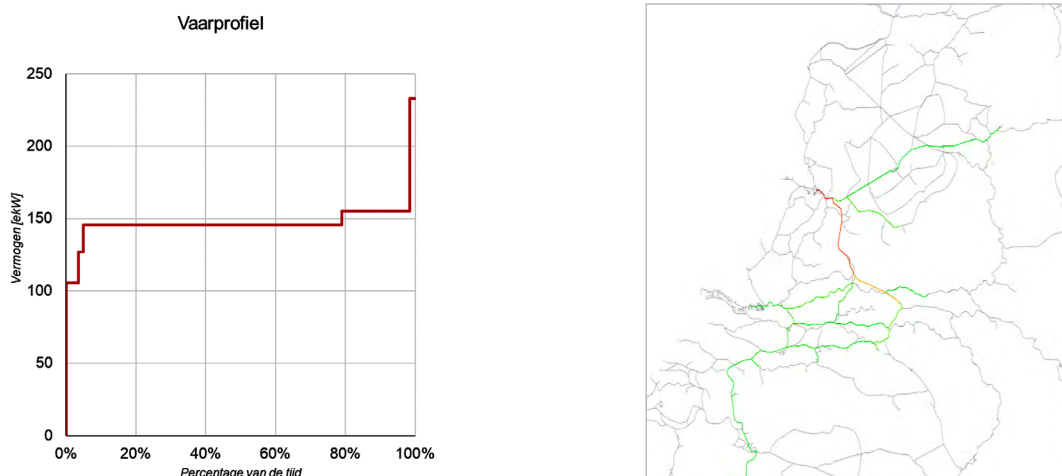
Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	26 ton	n.v.t.	321 kg	n.v.t.	17 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	26 ton	-0	52 kg	-84	0 kg	-98
Hybride (90 kW; 300 kWh)	16 ton	-39	185 kg	-42	10 kg	-39
Hybride (90 kW; 601 kWh)	8 ton	-67	99 kg	-69	5 kg	-67
Hybride (100 kW; 852 kWh)	6 ton	-76	72 kg	-78	4 kg	-76
Hybride (142 kW; 1076 kWh)	4 ton	-83	53 kg	-83	3 kg	-83

Tabel 10 Overzicht emissiebesparingen voor schip 2 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 26 ton CO₂ produceert per jaar, 321 kg NO_x en 17 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 39% tot 83% van de emissies van CO₂ en fijnstof. Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt een grotere reductie van 42% tot 83% doordat bij zeer lage belasting van de motor de katalysatoren niet werken en de verbrandings-temperaturen in de motor niet optimaal zijn. In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuulende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Casus 3: CEMT-klasse III schip dat zand/grind vaart

De derde casus betreft een motorvrachtschip van 70 meter lang en 8,20 meter breed. Dit schip vaart hoofdzakelijk split van de zeehaven Amsterdam naar de binnenhaven van Tiel (CEMT-klasse VI). Het schip maakt op jaarbasis een groot aantal van 134 beladen reizen en maakt daarbij circa 1.750 vaaruren waarbij in totaal 72.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een CCR 2 dieselmotor van 450 kW. De reizen van dit schip zijn relatief gezien zeer kort en vergen een beperkte hoeveelheid energie.



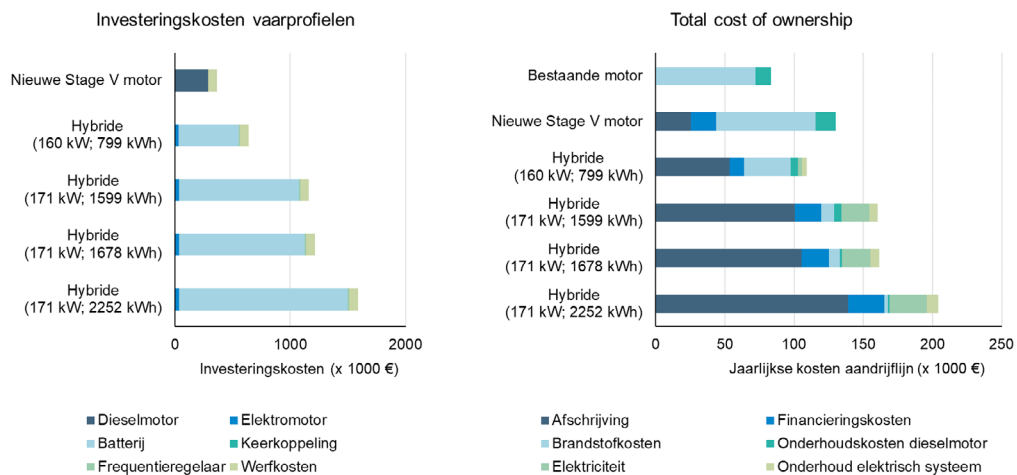
Figuur 24 Vaarprofiel behorende bij casus 3. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd ongeveer 150 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip veelal het traject bevaart tussen Amsterdam en Tiel en slechts zelden op overige vaarwegen komt. Op basis van het vaarprofiel worden twee scenario's als volgt ingericht:

- een scenario met een elektromotor van 160 kW en een batterij van 799 kWh (bruto), waarmee 53% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 171 kW en een batterij van 1.599 kWh (bruto), waarmee 53% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 171 kW en een batterij van 1.678 kWh (bruto), waarmee 53% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 170 kW en een batterij van 2.252 kWh (bruto), waarmee 97% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO deels haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 640.000 tot € 1.600.000 zijn te dragen - ondanks door de hoge kosten van de batterij - omdat er voldoende reizen gemaakt worden en de operationele besparingen (€ 45.000 tot € 80.000 per jaar) groot genoeg zijn in het eerste scenario. Het tweede scenario, met veel meer emissiebesparing, is bij de huidige batterijprijzen nog niet haalbaar - daarvoor zijn de reizen te lang en is een te grote batterij benodigd.

Elektrificatie van dit schip wordt is al interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 893 per kWh. Verdergaande elektrificatie wordt interessant wanneer de batterijprijs onder de € 500 per kWh zakt.



Figuur 25 Overzicht emissiebesparingen voor schip 3 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	231 ton	n.v.t.	1.764 kg	n.v.t.	57 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	231 ton	-0%	529 kg	-70%	3 kg	-95%
Hybride (160 kW; 799 kWh)	108 ton	-53%	800 kg	-55%	27 kg	-53%
Hybride (171 kW; 1599 kWh)	29 ton	-87%	215 kg	-88%	7 kg	-87%
Hybride (171 kW; 1678 kWh)	25 ton	-89%	186 kg	-89%	6 kg	-89%
Hybride (171 kW; 2252 kWh)	8 ton	-97%	6 kg	-97%	2 kg	-97%

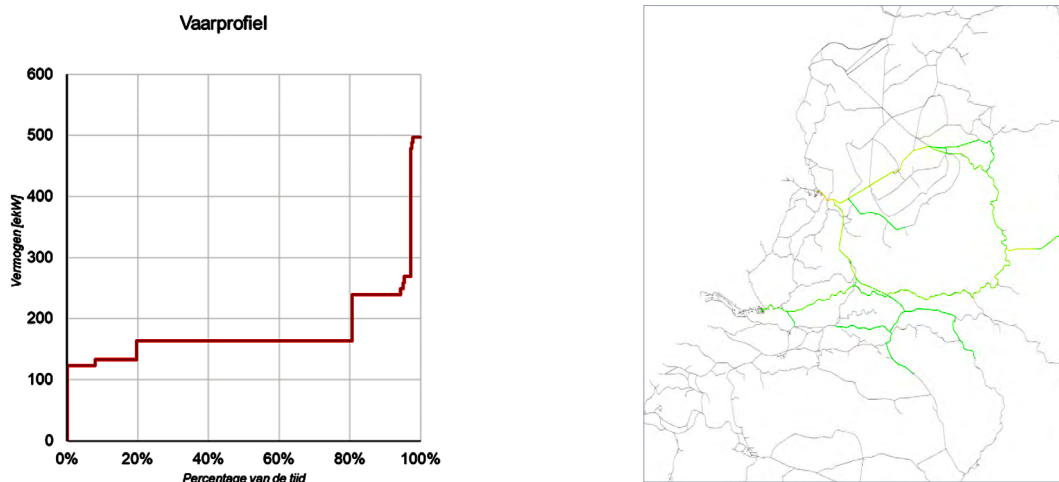
Tabel 11 Overzicht emissiebesparingen voor schip 2 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 231 ton CO₂ produceert per jaar, 1.764 kg NO_x en 57 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 53 tot 97% van de emissies van CO₂ en fijnstof.

Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt een grotere reductie van 55 tot 97% doordat bij zeer lage belasting van de motor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn. In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuilende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Casus 4: CEMT-klasse III schip dat agribulk vaart

De vierde casus betreft een motorvrachtschip van 85 meter lang en 8,20 meter breed. Dit schip vaart hoofdzakelijk agribulk op spotmarktbasis naar diverse veevoederfabrieken overal in Nederland. Het schip maakt op jaarbasis in totaal 33 beladen reizen en maakt daarbij circa 750 vaaruren waarbij in totaal 38.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 540 kW. Doordat het schip verschillende bestemmingen aandoet zijn er zowel korte als lange reizen en is het benodigde motorvermogen sterk verschillend.

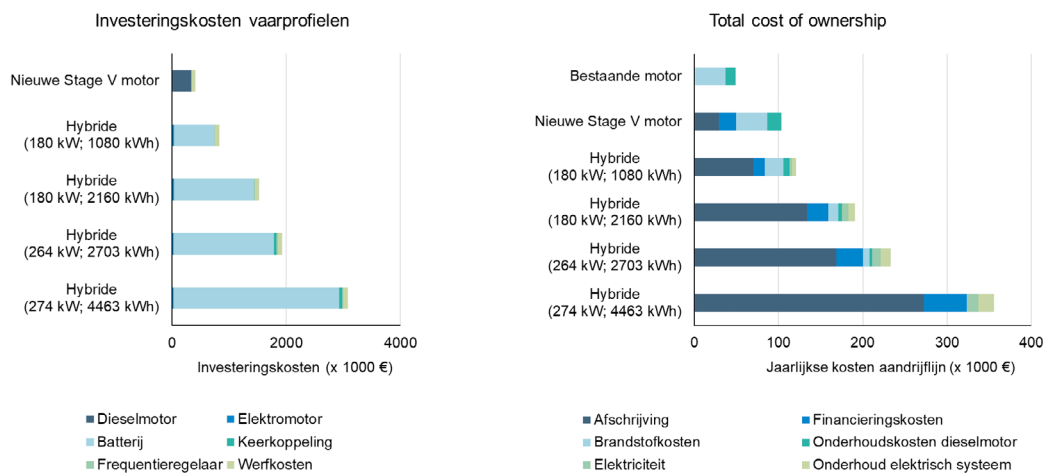


Figuur 26 Vaarprofiel behorende bij casus 4. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd (80%) ongeveer 160 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip verschillende binnenlandse vaartrajecten aandoet en daarbij ook vaarwegen met zwaar belastingsprofiel, zoals de Waal en de Gelderse IJssel aandoet. Op basis van het vaarprofiel worden twee scenario's als volgt ingericht:

- een scenario met een elektromotor van 180 kW en een batterij van 1.080 kWh (bruto), waarmee 40% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 180 kW en een batterij van 2.160 kWh (bruto), waarmee 68% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 264 kW en een batterij van 2.703 kWh (bruto), waarmee 78% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 274 kW en een batterij van 4.463 kWh (bruto), waarmee 98% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO (nog) niet haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 380.000 tot € 3.000.000 zijn te hoog - vooral door de hoge kosten van de batterij - terwijl er te weinig reizen gemaakt worden en de operationele besparingen daardoor te gering zijn (€ 20.000 tot € 45.000 per jaar). Hierdoor is er nauwelijks een terugverdienmodel. Elektrificatie van dit schip wordt pas interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 500 per kWh. Wanneer de operationele inzet van dit schip zou toenemen - bijvoorbeeld doordat de verlader het schip zelf gaat exploiteren en niet meer inhuurt op spotbasis, wordt de TCO snel gunstiger.



Figuur 27 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 4. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	122 ton	n.v.t.	1.950 kg	n.v.t.	89 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	122 ton	-0%	319 kg	-84%	1 kg	-98%
Hybride (160 kW; 799 kWh)	73 ton	-40%	968 kg	-50%	53 kg	-40%
Hybride (171 kW; 1599 kWh)	39 ton	-68%	524 kg	-73%	25 kg	-68%
Hybride (171 kW; 1678 kWh)	27 ton	-78%	355 kg	-82%	19 kg	-78%
Hybride (171 kW; 2252 kWh)	2 ton	-98%	25 kg	-99%	1 kg	-98%

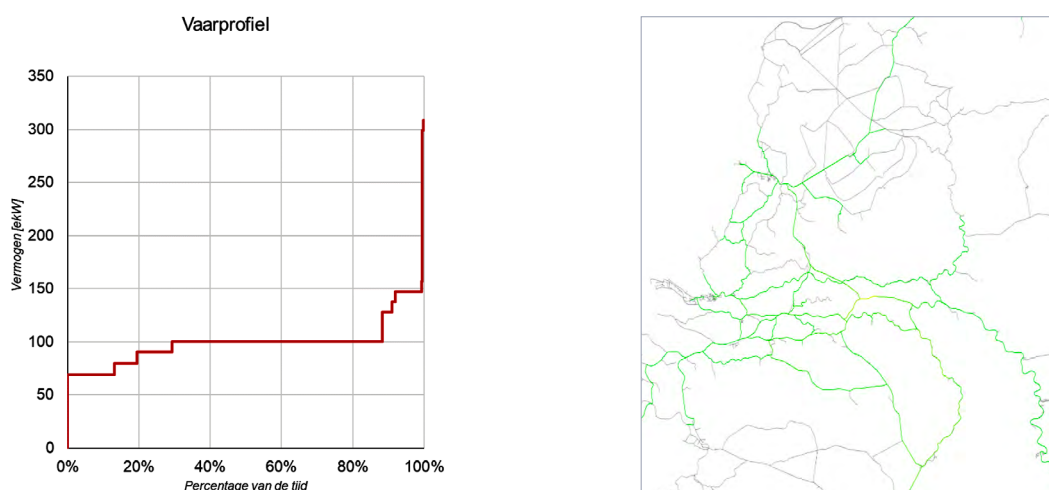
Tabel 12 Overzicht emissiebesparingen voor schip 4 bij verschillende vergroeningsoptieses. Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 122 ton CO₂ produceert per jaar, 1.950 kg NO_x en 89 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 40 tot 97% van de emissies van CO₂ en fijnstof. Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt een grotere reductie van 50 tot 98% doordat bij zeer lage belasting van de motor de katalysatoren niet werken en de verbrandings-temperaturen in de motor niet optimaal zijn. In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuulende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Motorbeunschepen

Casus 5: Motorbeunschip van CEMT-klasse II

De vijfde casus betreft een motorbeunschip van 60 meter lang en 6,60 meter breed. Dit schip vaart hoofdzakelijk zand en grind vanuit diverse winlocaties naar diverse laad-/losplaatsen in West-Nederland. Het schip maakt op jaarbasis een groot aantal van 139 beladen reizen en maakt daarbij circa 2.025 vaaruren waarbij in totaal 55.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 331 kW. De reizen van dit schip zijn relatief gezien kort en vergen een beperkte hoeveelheid energie.



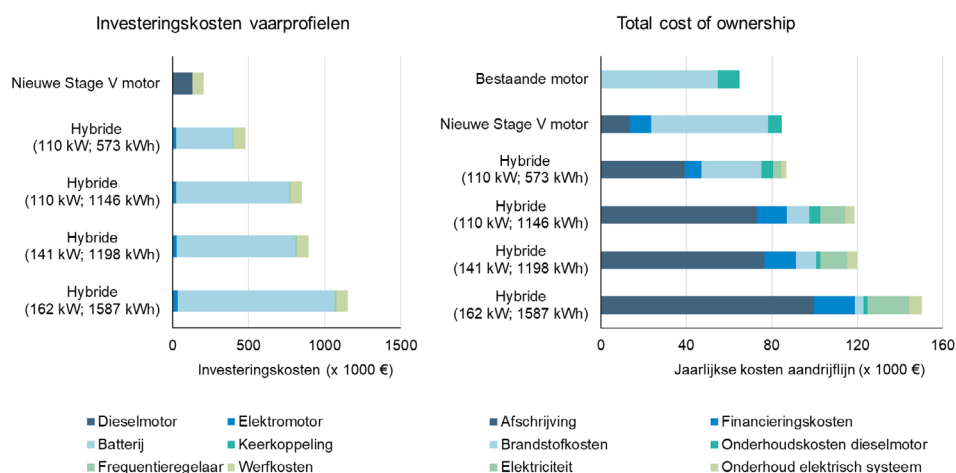
Figuur 28 Vaarprofiel behorende bij casus 5. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd ongeveer 100 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip op diverse vaarwegen komt, zowel op de Rijn als op de kleinere vaarwegen. Op basis van het vaarprofiel worden vier scenario's als volgt ingericht:

- een scenario met een elektromotor van 110 kW en een batterij van 573 kWh (bruto), waarmee 49% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 110 kW en een batterij van 1.146 kWh (bruto) waarmee 81% van de emissies bespaard kunnen worden.
- een scenario met een elektromotor van 141 kW en een batterij van 1.198 kWh (bruto) waarmee 83% van de emissies bespaard kunnen worden.
- een scenario met een elektromotor van 162 kW en een batterij van 1.587 kWh (bruto), waarmee 92% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO (nog) niet haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 480.000 tot € 1.150.000 zijn (net) niet te dragen - dankzij door de hoge kosten van de batterij - omdat de operationele besparingen (€ 32.000 tot € 59.000 per jaar) niet groot genoeg zijn.

Elektrificatie van dit schip wordt is al interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 617 per kWh. Verdergaande elektrificatie wordt interessant wanneer de batterijprijs onder de € 400 per kWh zakt. Nagenoeg zero-emissie wordt pas haalbaar bij een batterijprijs van € 270 per kWh.



Figuur 29 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 6. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	176 ton	n.v.t.	2.941 kg	n.v.t.	133 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	173 ton	-0%	481 kg	-84%	2 kg	-98%
Hybride (110 kW; 576 kWh)	91 ton	-49%	1.258 kg	-57%	69 kg	-49%
Hybride (110 kW; 1146 kWh)	34 ton	-81%	472 kg	-84%	26 kg	-81%
Hybride (141 kW; 1198 kWh)	31 ton	-83%	424 kg	-86%	13 kg	-83%
Hybride (141 kW; 1587 kWh)	13 ton	-92%	184 kg	-94%	10 kg	-92%

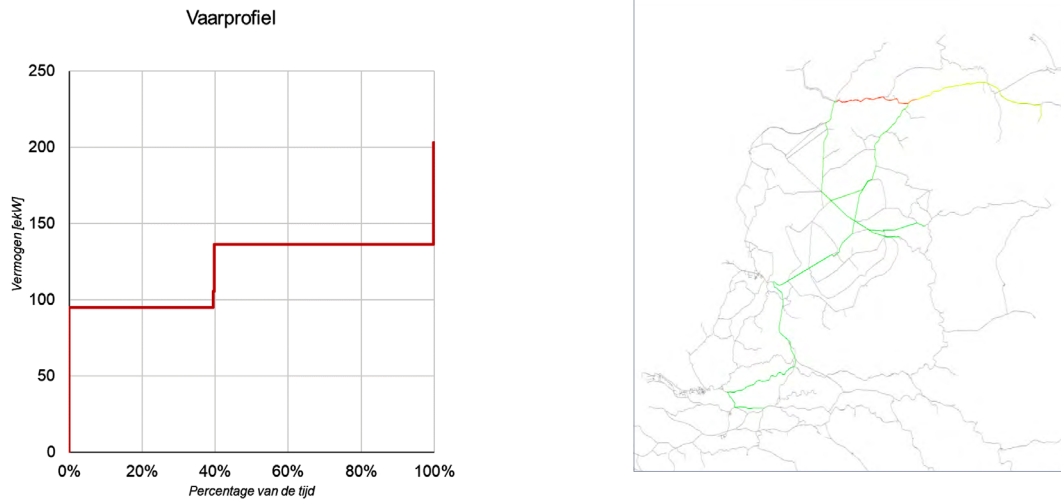
Tabel 12 Overzicht emissiebesparingen voor schip 4 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 176 ton CO₂ produceert per jaar, 2.941 kg NO_x en 133 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 49 tot 92% van de emissies van CO₂ en fijnstof.

Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt een grotere reductie van 57 tot 94% doordat bij zeer lage belasting van de motor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn. In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuilende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Casus 6: Motorbeunschip van CEMT-klasse III

De zesde casus betreft een motorbeunschip van 70 meter lang en 8,20 meter breed. Dit schip vaart hoofdzakelijk zand en grind vanuit Harlingen naar binnenhavens in Noord-Nederland zoals Leeuwarden, Burgum, Drachten, Hoogkerk en Veendam. Het schip maakt op jaarbasis een groot aantal van 137 beladen reizen en maakt daarbij circa 2.640 vaaruren waarbij in totaal 89.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 450 kW. De reizen van dit schip zijn relatief gezien kort en vergen een beperkte hoeveelheid energie.



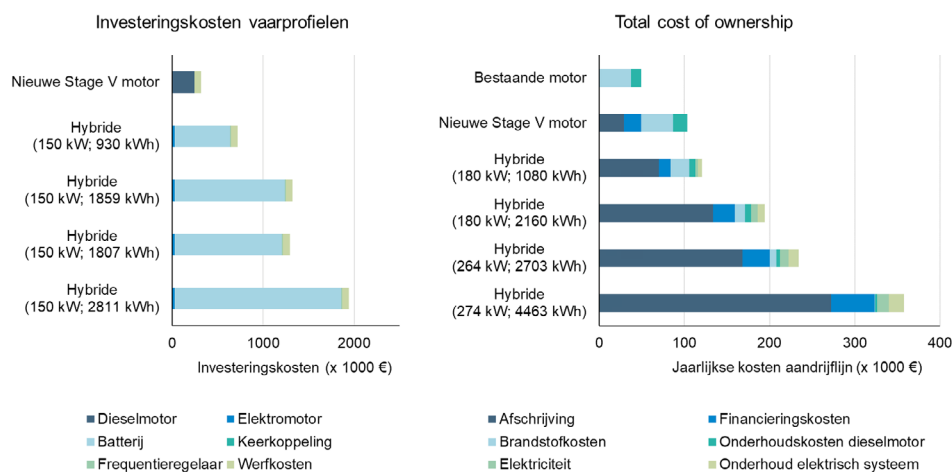
Figuur 30 Vaarprofiel behorende bij casus 6. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd ongeveer 140 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip veelal het Van Harinxmakanaal (CEMT-klasse IV) en het Prinses Margrietkanaal bevaart en slechts zelden op overige vaarwegen komt. Op basis van het vaarprofiel worden vier scenario's als volgt ingericht:

- een scenario met een elektromotor van 150 kW en een batterij van 930 kWh (bruto), waarmee 52% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 150 kW en een batterij van 1.859 kWh (bruto) waarmee 84% van de emissies bespaard kunnen worden.
- een scenario met een elektromotor van 150 kW en een batterij van 1.807 kWh (bruto) waarmee 83% van de emissies bespaard kunnen worden.
- een scenario met een elektromotor van 170 kW en een batterij van 2.811 kWh (bruto), waarmee 98% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO deels haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 720.000 tot € 1.950.000 zijn te dragen - ondanks door de hoge kosten van de batterij - omdat er voldoende reizen gemaakt worden en de operationele besparingen (€ 52.000 tot € 98.000 per jaar) groot genoeg zijn in het eerste scenario. Het tweede scenario, met veel meer emissiebesparing, is bij de huidige batterijprijzen nog niet haalbaar - daarvoor zijn de reizen te lang en is een te grote batterij benodigd.

Elektrificatie van dit schip wordt is al interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 685 per kWh. Verdergaande elektrificatie wordt interessant wanneer de batterijprijs onder de € 450 per kWh zakt. Nagenoeg zero-emissie wordt pas haalbaar bij een batterijprijs van € 280 per kWh. Voor dit schip zou het gebruik van ZES-containers gelet op de energiebehoefte ook interessant kunnen zijn, maar er zijn op de gangbare route nog geen oplaadpunten beschikbaar bij de inland container terminals van Harlingen en Leeuwarden.



Figuur 31 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 6. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	285 ton	n.v.t.	5.649 kg	n.v.t.	213 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	285 ton	-0%	924 kg	-84%	4 kg	-98%
Hybride (150 kW; 830 kWh)	138 ton	-52%	1.888 kg	-67%	103 kg	-52%
Hybride (150 kW; 1859 kWh)	46 ton	-84%	628 kg	-89%	34 kg	-84%
Hybride (150 kW; 1807 kWh)	49 ton	-83%	665 kg	-88%	36 kg	-83%
Hybride (150 kW; 2811 kWh)	6 ton	-98%	80 kg	-99%	4 kg	-98%

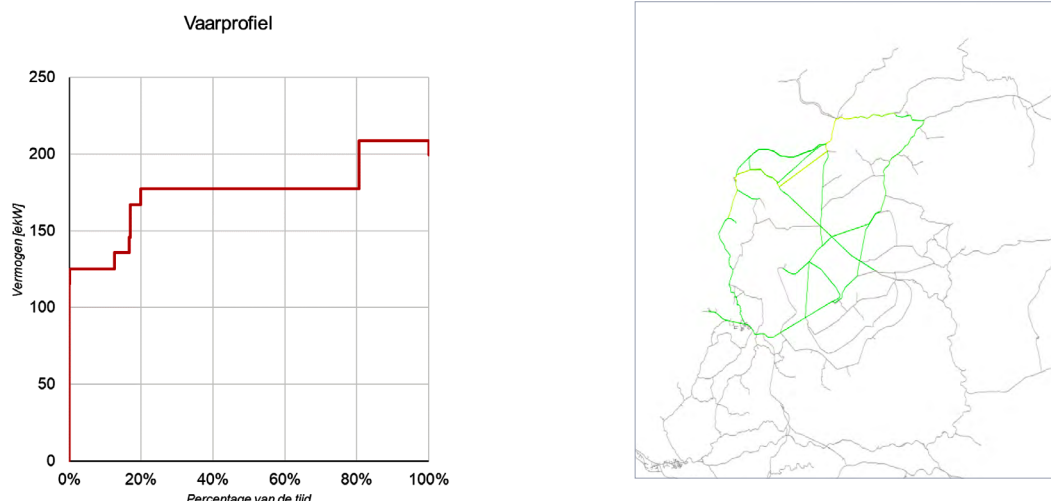
Tabel 14 Overzicht emissiebesparingen voor schip 6 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 285 ton CO₂ produceert per jaar, 5.649 kg NO_x en 213 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 52 tot 98% van de emissies van CO₂ en fijnstof.

Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt een grotere reductie van 67 tot 99% doordat bij zeer lage belasting van de motor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn. In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO_2 -emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuilende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Casus 7: Motorbeunschip van CEMT-klasse III

De zevende casus betreft een zelfzuigend motorbeunschip van 85 meter lang en 8,24 meter breed. Dit schip vaart hoofdzakelijk ophoogzand vanuit Harlingen en het IJsselmeer naar binnenhavens in de kop van Noord-Holland en Friesland, zoals Den Helder, Schagen en Leeuwarden. Het schip maakt op jaarbasis een groot aantal van 299 beladen reizen en maakt daarbij circa 2.775 vaaruren waarbij in totaal 134.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 725 kW. De reizen van dit schip zijn relatief gezien kort en vergen een beperkte hoeveelheid energie.



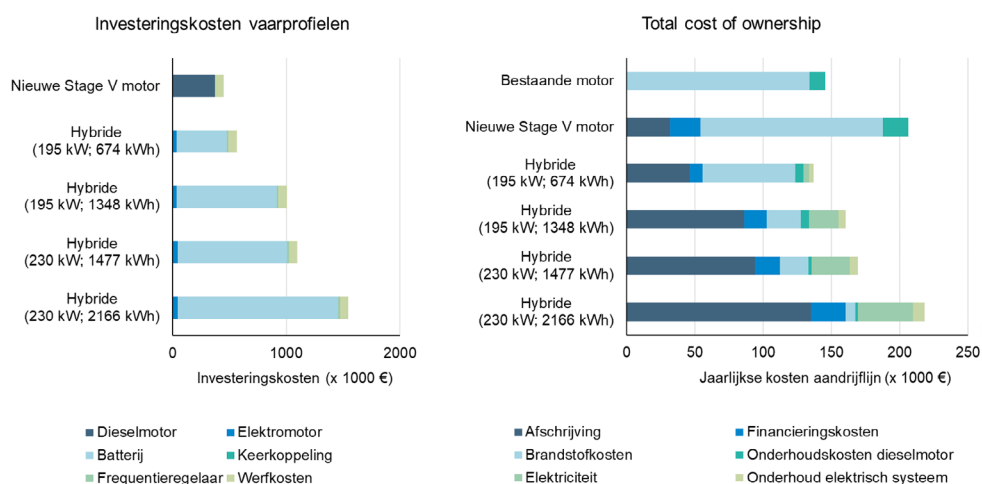
Figuur 32 Vaarprofiel behorende bij casus 7. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd ongeveer 200 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip veelal het Van Harinxmakanaal (CEMT-klasse IV) en het Prinses Margrietkanaal bevaart en slechts zelden op overige vaarwegen komt.

Op basis van het vaarprofiel worden drie scenario's als volgt ingericht:

- een scenario met een elektromotor van 195 kW en een batterij van 674 kWh (bruto), waarmee 49% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 195 kW en een batterij van 1.348 kWh (bruto) waarmee 81% van de emissies bespaard kunnen worden.
- een scenario met een elektromotor van 230 kW en een batterij van 1.477 kWh (bruto) waarmee 84% van de emissies bespaard kunnen worden.
- een scenario met een elektromotor van 230 kW en een batterij van 2.166 kWh (bruto), waarmee 95% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO haalbarer dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving en levert zelfs lagere jaarlijkse kosten op dan het handhaven van de bestaande hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 570.000 tot € 1.550.000 zijn te dragen - ondanks door de hoge kosten van de batterij - omdat er voldoende reizen gemaakt worden en de operationele besparingen (€ 72.000 tot € 137.000 per jaar) groot genoeg zijn in de eerste drie scenario's. Het vierde, nagenoeg zero-emissie scenario, is bij de huidige batterijprijzen nog net niet haalbaar - daarvoor is een te grote batterij benodigd. Elektrificatie van dit schip naar volledig zero-emissie wordt interessant (in vergelijking tot een Stage V motor) bij een batterijprijs van € 604 per kWh.



Figuur 33 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 7. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	429 ton	n.v.t.	12.460 kg	n.v.t.	329 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	429 ton	-0%	2.039 kg	-84%	5 kg	-98%
Hybride (150 kW; 830 kWh)	217 ton	-49%	5.381 kg	-57%	156 kg	-49%
Hybride (150 kW; 1859 kWh)	80 ton	-81%	1.119 kg	-91%	61 kg	-81%
Hybride (150 kW; 1807 kWh)	67 ton	-84%	940 kg	-92%	51 kg	-84%
Hybride (150 kW; 2811 kWh)	23 ton	-95%	330 kg	-97%	18 kg	-95%

Tabel 15 Overzicht emissiebesparingen voor schip 7 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 429 ton CO₂ produceert per jaar, 12.460 kg NO_x en 329 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 49 tot 95% van de emissies van CO₂ en fijnstof. Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt een grotere reductie van 57 tot 97% doordat bij zeer lage belasting van de motor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn. In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuilende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

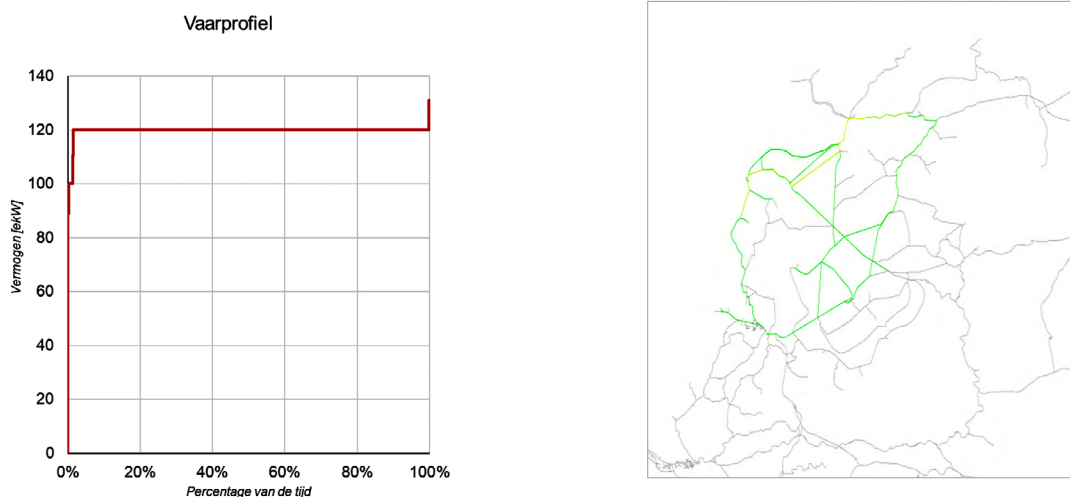
Belangrijke noot

Deze casus heeft betrekking op een zelfzuigend motorbeunschip die het zand land ('wint') op het IJsselmeer. Op het IJsselmeer is geen mogelijkheid tot laadinfra. Hierdoor moet het schip waarschijnlijk zowel de beladen heenreis als de lege retourreis op één batterij-lading afleggen. Ons model houdt hiermee **geen rekening**.

Motortankschepen

Casus 8: Eetbare oliëntanker van CEMT-klasse III

De achtste casus betreft een motortankschip van 67 meter lang en 8,20 meter breed. Dit schip vaart veelal binnen het Rotterdamse havengebied met eetbare oliën op spotmarktbasis naar diverse locaties in West-Nederland. Het schip maakt op jaarbasis 102 beladen reizen en maakt daarbij circa 750 vaaruren waarbij in totaal 26.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 590 kW. Omdat het schip vooral in het Rotterdamse havengebied actief is het vaarprofiel redelijk constant.

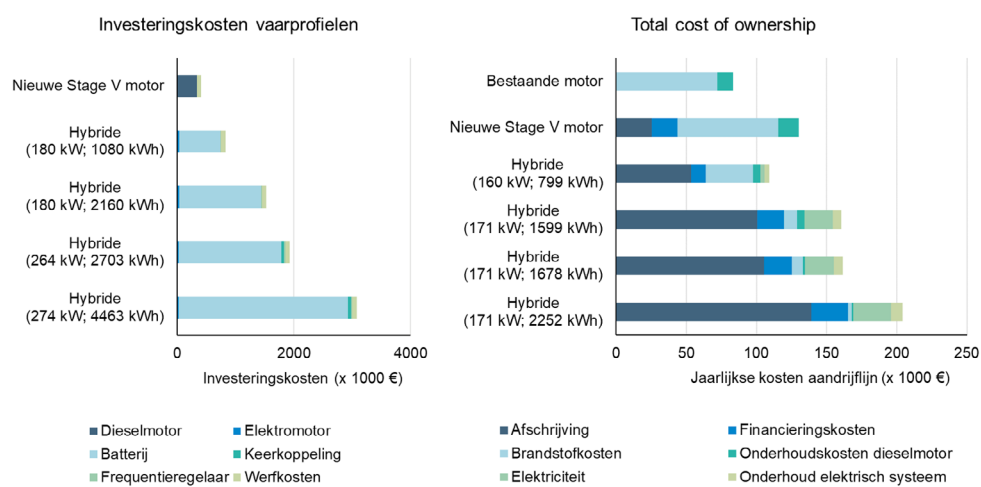


Figuur 33 Vaarprofiel behorende bij casus 8. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd (80%) ongeveer 120 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip vooral in het Rotterdamse havengebied vaart over getijdewateren en af en toe op de Zuid-Hollandse en Zeeuwse stromen komt als ook richting Amsterdam vaart. Voor dit schip zijn een viertal scenario's opgesteld:

- een scenario met een elektromotor van 132 kW en een batterij van 801 kWh (bruto), waarmee 56% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 132 kW een batterij van 1.386 kWh waarmee 86% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 132 kW een batterij van 1.601 kWh waarmee 93% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 132 kW en een batterij van 1.974 kWh (bruto), waarmee 98% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO (nog) niet haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 630.000 tot € 1.400.000 zijn te hoog - vooral door de hoge kosten van de batterij- terwijl er te weinig reizen gemaakt worden en de operationele besparingen daardoor te gering zijn (€ 21.000 tot € 35.000 per jaar) . Hierdoor is er nauwelijks een terugverdienmodel. Elektrificatie van dit schip wordt pas interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 371 per kWh. Wanneer de operationele inzet van dit schip zou toenemen - bijvoorbeeld doordat de verlader het schip zelf gaat exploiteren en niet meer inhuurt op spot-basis, wordt de TCO snel gunstiger. Gelet op het feit dat dit schip veelal actief is in het Rotterdamse havengebied zou het varen met een ZES-container ook interessant kunnen zijn. Hierdoor worden de ombouw-kosten beperkt.



Figuur 35 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 8. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	83 ton	n.v.t.	2.656 kg	n.v.t.	61 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	83 ton	-0%	435 kg	-84%	1 kg	-0%
Hybride (150 kW; 830 kWh)	37 ton	-56%	1.170 kg	-56%	27 kg	-56%
Hybride (150 kW; 1859 kWh)	6 ton	-93%	183 kg	-93%	4 kg	-93%
Hybride (150 kW; 1807 kWh)	12 ton	-86%	372 kg	-86%	9 kg	-86%
Hybride (150 kW; 2811 kWh)	1 ton	-98%	41 kg	-98%	1 kg	-98%

Tabel 16 Overzicht emissiebesparingen voor schip 8 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

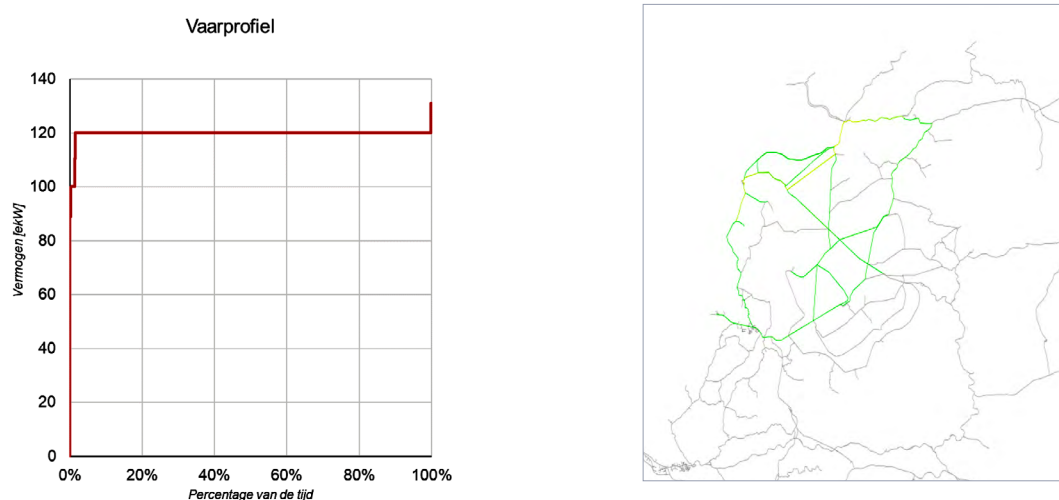
Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 83 ton CO₂ produceert per jaar, 2.656 kg NO_x en 61 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 56 tot 98% van de emissies van CO₂ en fijnstof.

Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt bij dit schip eenzelfde reductie. Dit komt doordat het schip bij dit vaarprofiel te allen tijde draait met een zeer lage belasting van de motor, waardoor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn.

In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuilende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstof-gevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Casus 9: Cementtanker van CEMT-klasse II

De negende casus betreft een cementtanker van 60 meter lang en 6,60 meter breed. Dit schip vaart veelal vanuit Amsterdam naar diverse betoncentrales overal in Nederland met cement. Het schip maakt op jaarbasis 77 beladen reizen en maakt daarbij circa 1261 vaaruren waarbij in totaal 35.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 235 kW. Omdat het schip nauwelijks op de rivieren komt is het vaarprofiel redelijk constant.

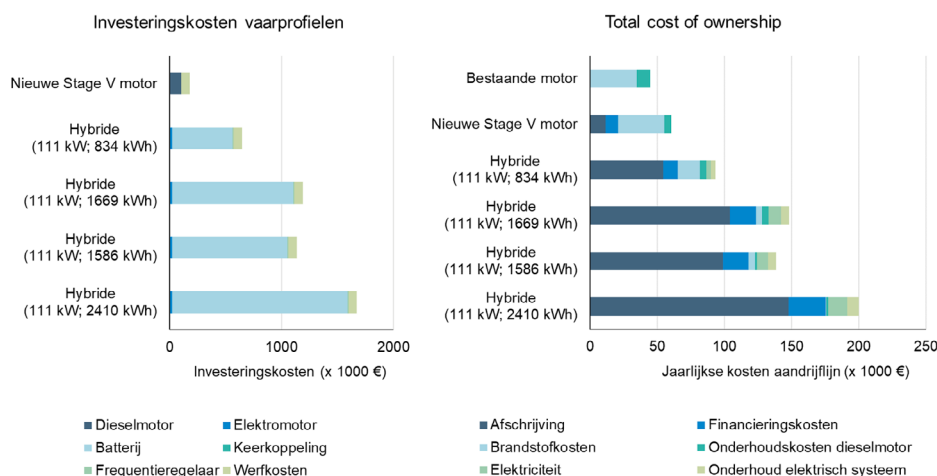


Figuur 36 Vaarprofiel behorende bij casus 9. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd (80%) ongeveer 120 kW. Uit de kaart blijkt dat het schip vooral in het Rotterdamse havengebied vaart over getijdewateren en af en toe op de Zuid-Hollandse en Zeeuwse stromen komt als ook richting Amsterdam vaart. Voor dit schip zijn een viertal scenario's opgesteld:

- een scenario met een elektromotor van 111 kW en een batterij van 834 kWh (bruto), waarmee 53% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 111 kW een batterij van 1.669 kWh waarmee 88% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden
- een scenario met een elektromotor van 111 kW een batterij van 1.586 kWh waarmee 85% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden
- een scenario met een elektromotor van 111 kW en een batterij van 2.410 kWh (bruto), waarmee 99% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO (nog) niet haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 650.000 tot € 1.700.000 zijn te hoog - vooral door de hoge kosten van de batterij - terwijl er te weinig reizen gemaakt worden en de operationele besparingen daardoor te gering zijn (€ 24.000 tot € 43.000 per jaar) . Hierdoor is er nauwelijks een terugverdienmodel. Elektrificatie van dit schip wordt pas interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 285 per kWh. Wanneer de operationele inzet van dit schip zou toenemen wordt de TCO snel gunstiger.



Figuur 37 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 9. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	112 ton	n.v.t.	1.520 kg	n.v.t.	83 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	112 ton	-0%	249 kg	-84%	1 kg	-98%
Hybride (150 kW; 830 kWh)	53 ton	-53%	721 kg	-57%	39 kg	-53%
Hybride (150 kW; 1859 kWh)	14 ton	-88%	188 kg	-91%	10 kg	-88%
Hybride (150 kW; 1807 kWh)	16 ton	-85%	222 kg	-92%	12 kg	-85%
Hybride (150 kW; 2811 kWh)	1 ton	-99%	14 kg	-97%	1 kg	-99%

Tabel 17 Overzicht emissiebesparingen voor schip 9 bij verschillende vergroeningsopties Bron: Panteia/Rebel

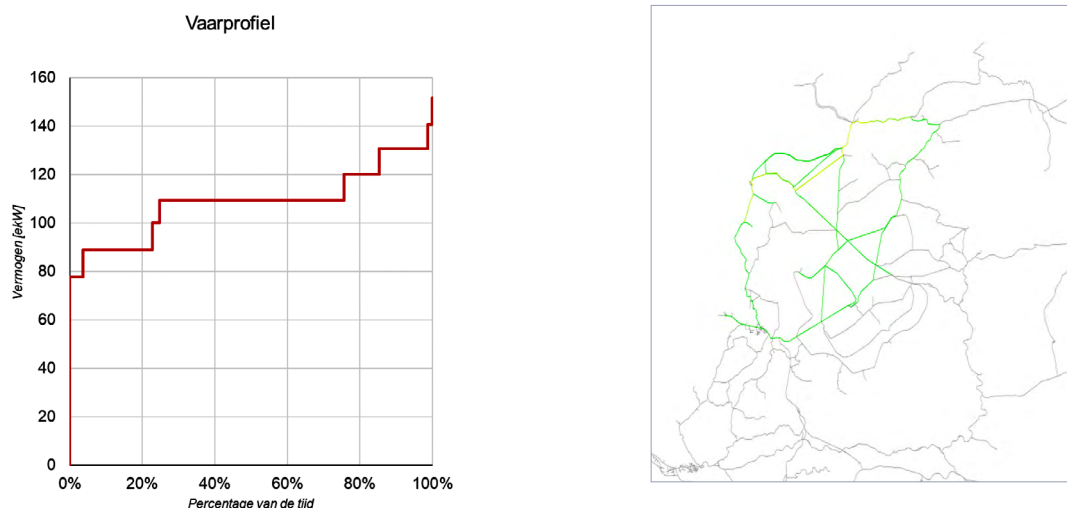
Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 112 ton CO₂ produceert per jaar, 1.520 kg NO_x en 83 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 53 tot 99% van de emissies van CO₂ en fijnstof. Voor stikstofoxiden (NO_x) gelden dezelfde waarden. Dit schip draait namelijk nauwelijks met een lage belasting, hierdoor functioneren de katalysatoren optimaal en is de verbrandingstemperatuur op niveau.

In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuilende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstof-gevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Motorcontainerschepen

Casus 10: Containerschip van CEMT-klasse III (korte afstand)

De tiende casus betreft een motorcontainerschip van 63 meter lang en 7,20 meter breed. Dit schip vaart een vast traject tussen Rotterdam en Waalwijk. Het schip maakt op jaarbasis 240 beladen reizen en maakt daarbij circa 1.385 vaaruren waarbij in totaal 45.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 600 kW. Het vaarprofiel kent wat variatie doordat gevaren wordt om wateren met getijdestromen en de Maas als rivier met stroming.



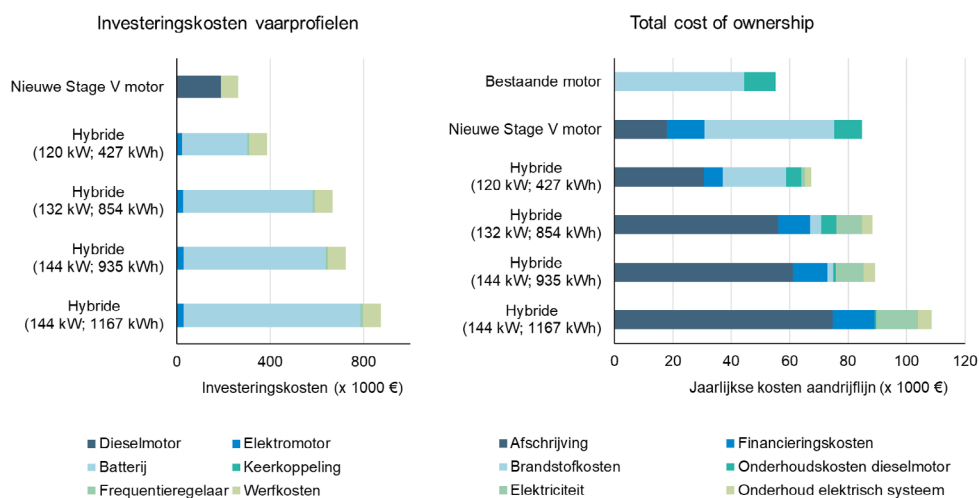
Figuur 38 Vaarprofiel behorende bij casus 10. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd (70%) ongeveer 110 kW met een maximaal vermogen van ongeveer 150 kW. Voor dit schip zijn een viertal scenario's opgesteld:

- een scenario met een elektromotor van 120 kW en een batterij van 427 kWh (bruto), waarmee 51% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 132 kW een batterij van 854 kWh waarmee 91% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 144 kW een batterij van 935 kWh waarmee 95% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 144 kW en een batterij van 1.167 kWh (bruto), waarmee 100% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 390.000 tot € 870.000 wegen in de eerste drie scenario's op tegen de operationele besparingen daardoor te gering zijn (€ 28.000 tot € 55.000 per jaar). Hierdoor is er een terugverdienmodel in vergelijking tot de geringere benodigde investering bij een retrofit naar Stage V motoren. Elektrificatie van dit schip naar zero-emissie wordt pas interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 463 per kWh.

Doordat dit containerschip dagelijks langs de inland containerterminal van Alblaserdam vaart, alwaar een oplaadpunt voor ZES-containers beschikbaar is, is ook het gebruik van uitwisselbare containers een optie. Dit beperkt de ombouwkosten.



Figuur 39 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 10. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	144 ton	n.v.t.	4.675 kg	n.v.t.	107 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	144 ton	-0%	765 kg	-84%	2 kg	-98%
Hybride (150 kW; 830 kWh)	70 ton	-51%	2.278 kg	-51%	52 kg	-51%
Hybride (150 kW; 1859 kWh)	12 ton	-91%	396 kg	-92%	9 kg	-91%
Hybride (150 kW; 1807 kWh)	6 ton	-95%	209 kg	-96%	5 kg	-95%
Hybride (150 kW; 2811 kWh)	0 ton	-100%	1 kg	-97%	0 kg	-100%

Tabel 18 Overzicht emissiebesparingen voor schip 10 bij verschillende vergroeningsopties. Bron: Panteia/Rebel

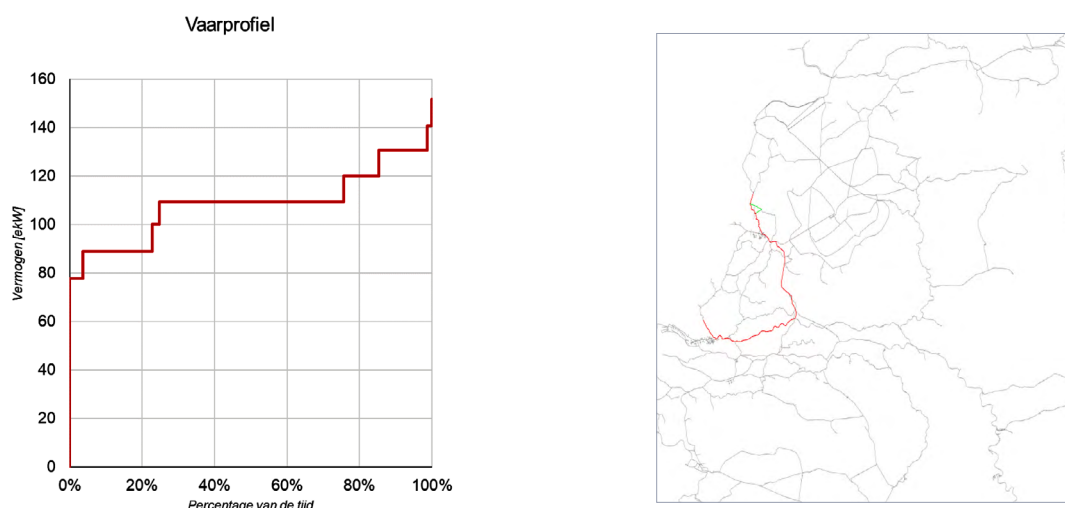
Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 144 ton CO₂ produceert per jaar, 4.675 kg NO_x en 107 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 51 tot 100% van de emissies van CO₂ en fijnstof.

Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt bij dit schip eenzelfde reductie. Dit komt doordat het schip bij dit vaarprofiel te allen tijde draait met een zeer lage belasting van de motor, waardoor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn.

In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuulende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

Casus 11 Containerschip van CEMT-klasse III

De elfde casus betreft een containerschip van 70 meter lang en 7,56 meter breed. Dit schip vaart veelal tussen Delft en Alkmaar, via Alkmaar en Rotterdam. Het schip maakt op jaarbasis 148 beladen reizen en maakt daarbij circa 1894 vaaruren waarbij in totaal 61.000 liter gasolie verstoekt wordt. Het schip wordt aangedreven door een ongereguleerde dieselmotor van 550 kW. Omdat het schip een vast traject bevaart is het vaarprofiel redelijk constant.



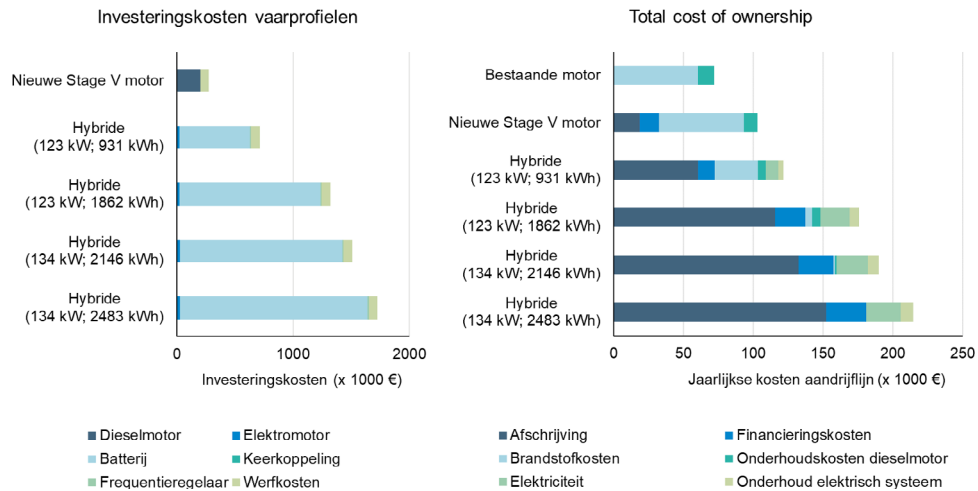
Figuur 40 Vaarprofiel behorende bij casus 11. Bron: Panteia/Rebel

Uit het vaarprofiel blijkt dat het schip relatief weinig elektrisch voortstuwingsvermogen nodig heeft - het merendeel van de tijd (80%) ongeveer 110 kW.

Voor dit schip zijn een viertal scenario's opgesteld:

- een scenario met een elektromotor van 123 kW en een batterij van 931 kWh (bruto), waarmee 49% van de energie bespaard kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 123 kW een batterij van 1.862 kWh waarmee 92% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 134 kW een batterij van 2.146 kWh waarmee 98% van het energieverbruik elektrisch en zero-emissie gedaan kan worden;
- een scenario met een elektromotor van 134 kW en een batterij van 2.483 kWh (bruto), waarmee 100% van de energie bespaard kan worden.

Hybridisering van dit schip is op basis van de TCO (nog) niet haalbaarder dan het plaatsen van een nieuwe Stage V verbrandingsmotor als hoofdaandrijving. De investeringskosten van € 710.000 tot € 1.700.000 zijn te hoog - vooral door de hoge kosten van de batterij - terwijl er te weinig reizen gemaakt worden en de operationele besparingen daardoor te gering zijn (€ 35.000 tot € 72.000 per jaar). Hierdoor is er nauwelijks een terugverdienmodel. Elektrificatie van dit schip wordt pas interessant (in vergelijking tot een nieuwe Stage V motor) bij een batterijprijs van € 465 per kWh. *Voor dit schip is het gebruik van een uitwisselbaar ZES-pack juist wel interessant.*



Figuur 41 Overzicht investeringskosten en TCO van vergroeningsopties behorende bij casus 11. Bron: Panteia/Rebel

Onderstaande tabel beschrijft de besparingen ten aanzien van de belangrijkste emissies voor dit schip:

Optie	CO ₂	%	NO _x	%	Fijnstof	%
Huidige motor	195 ton	n.v.t.	4.675 kg	n.v.t.	107 kg	n.v.t.
Nieuwe Stage V motor	195 ton	-0%	1.028 kg	-0%	2 kg	-0%
Hybride (150 kW; 830 kWh)	100 ton	-49%	3.208 kg	-49%	74 kg	-49%
Hybride (150 kW; 1859 kWh)	16 ton	-92%	519 kg	-92%	12 kg	-92%
Hybride (150 kW; 1807 kWh)	4 ton	-98%	143 kg	-98%	3 kg	-98%
Hybride (150 kW; 2811 kWh)	0 ton	-100%	0 kg	-100%	0 kg	-100%

Tabel 19 Overzicht emissiebesparingen voor schip 11 bij verschillende vergroeningsopties Bron: Panteia/Rebel

Uit de tabel blijkt dat het schip in de huidige situatie 195 ton CO₂ produceert per jaar, 4.675 kg NO_x en 107 kg fijnstof (PM). De verschillende vergroeningsopties zorgen voor een grote reductie. Hybridisering voorkomt 49 tot 100% van de emissies van CO₂ en fijnstof.

Voor stikstofoxiden (NO_x) geldt bij dit schip eenzelfde reductie. Dit komt doordat het schip bij dit vaarprofiel te allen tijde draait met een zeer lage belasting van de motor, waardoor de katalysatoren niet werken en de verbrandingstemperaturen in de motor niet optimaal zijn.

In vergelijking tot een Stage V motor zorgt hybridisering voor een substantieel lagere CO₂-emissie maar doordat in bepaalde gevallen de bestaande en vervuulende diesel-directe hoofdaandrijving gebruikt moet worden is er minder besparing van stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM). Wel geldt bij hybridisering het voordeel dat de hoofdmotor uitgeschakeld kan worden in gebieden waar lage tot geen emissies gewenst zijn, bijvoorbeeld in het stedelijke gebied (ten aanzien van de luchtkwaliteit) of nabij stikstofgevoelige Natura2000-gebieden (ten aanzien van de stikstofdepositie). Deze flexibiliteit biedt de Stage V verbrandingsmotor niet.

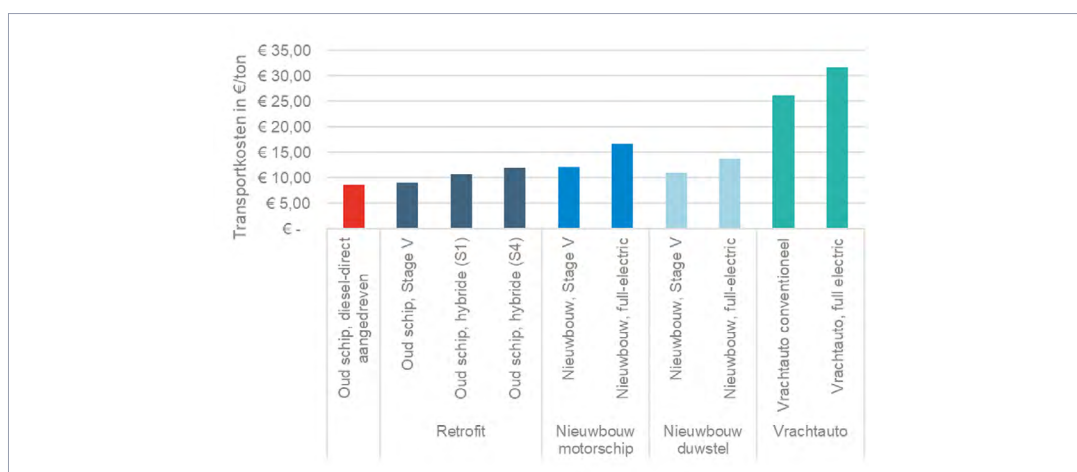
Bijlage 4 Uitwerking casussen nieuwbouw

Deze casussen zijn opgesteld vanuit het verladers perspectief. Er is gekeken naar de vervoersbehoefte van een verlader die veel kleine schepen benut. Voor deze verlader is gekeken wat de transportkosten zijn in de huidige situatie met de bestaande vloot, bij retrofit van deze vloot, bij nieuwbouw van de motorschepen die worden ingezet en bij nieuwbouw in de vorm van duwcombinaties. Duwcombinaties hebben mogelijk als voordeel dat het duurste deel van het schip, het deel met de aandrijving, efficiënter ingezet kan worden en veel meer vaaruren kan maken. Daarentegen dienen er extra investeringen gedaan te worden in duwbakken.

Casus 1: Agribulk schip tussen zeehavens en Deventer (175.000 ton, 160 km)

De conclusie is dat niets goedkoper is dan inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren. Retrofit naar Stage V is goedkoper dan hybridisering. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot.

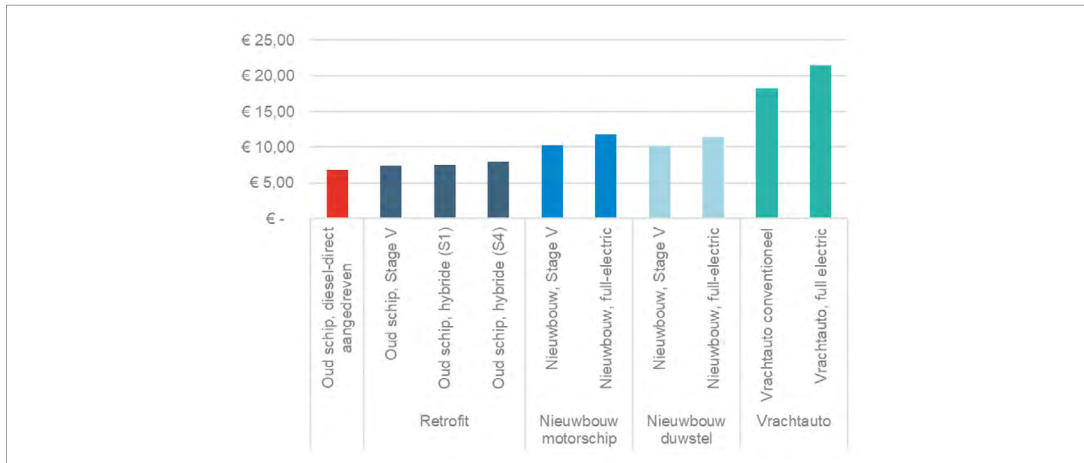
In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.



Casus 2: Veevoerders van de zeehavens naar Nijkerk (165.000 ton, 54km)

De conclusie is dat niets goedkoper is dan inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren. Gelet op de korte transportafstanden is hybridisering op deze afstand een te overwegen optie met een gelijkwaardig kostenniveau als retrofit naar Stage V. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot.

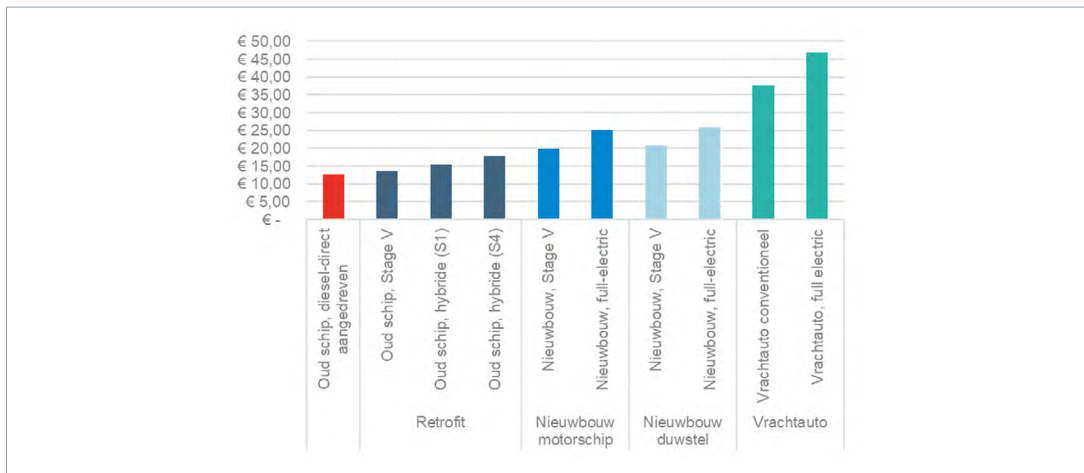
In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.



Casus 3: Mout naar Heineken (productielocaties Den Bosch en Zoeterwoude)

De conclusie is dat niets goedkoper is dan inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren. Retrofit naar Stage V is goedkoper dan hybridisering. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot. Ook moet in deze casus geïnvesteerd worden in extra duwbotten die zeker voor de trafiek Eemshaven – Zoeterwoude niet uit kan.

In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.

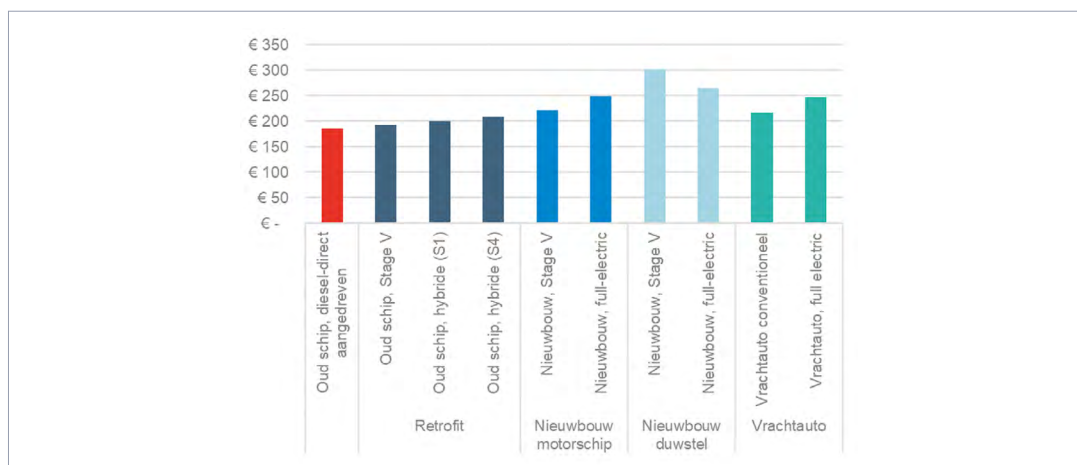


Casus 4: Huisvuil van Delft naar Alkmaar

Deze casus gaat uit van het vervoer van containers. Hierbij zijn de kosten die gemoeid gaan met het laden en lossen de transportkosten ver te boven. Desondanks is de conclusie dat niets inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren verreweg het goedkoopst is. Retrofit naar Stage V is goedkoper dan hybridisering - dit komt doordat de transportafstanden in deze casus lang tot zeer lang zijn.

Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot.

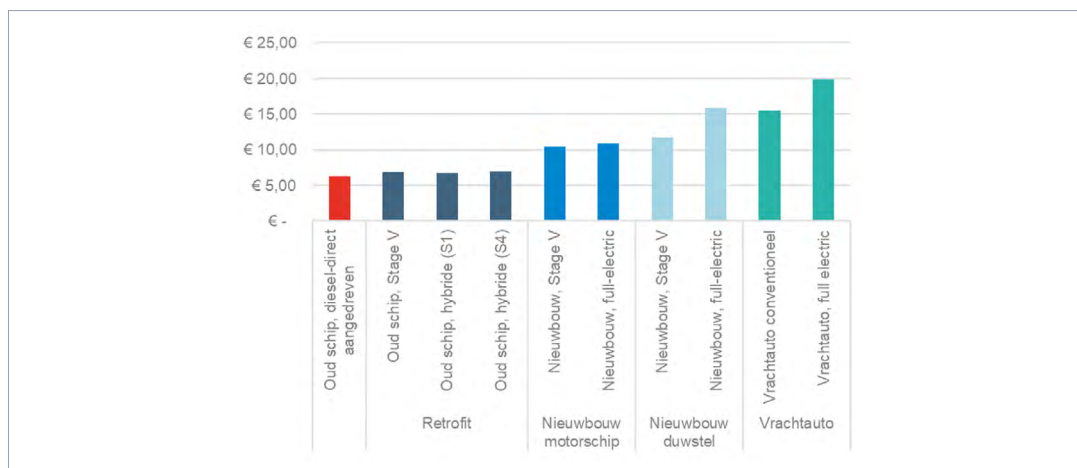
De vrachtauto is in deze casus een geduchte concurrent voor de binnenvaart; de kosten liggen maar nipt hoger. Nieuwbouw binnenvaartschepen zijn ongeacht type (motorschip/duwstel) en aandrijving (conventioneel/Stage V) duurder dan de vrachtauto. Bij deze casus dreigt een reverse modal shift.



Casus 5: Melasse naar Delft

De conclusie is dat niets goedkoper is dan inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren. Hybridisering is te overwegen bij een retrofit; het kostenniveau is gelijkwaardig aan het toepassen van een Stage V motoren. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot.

In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.

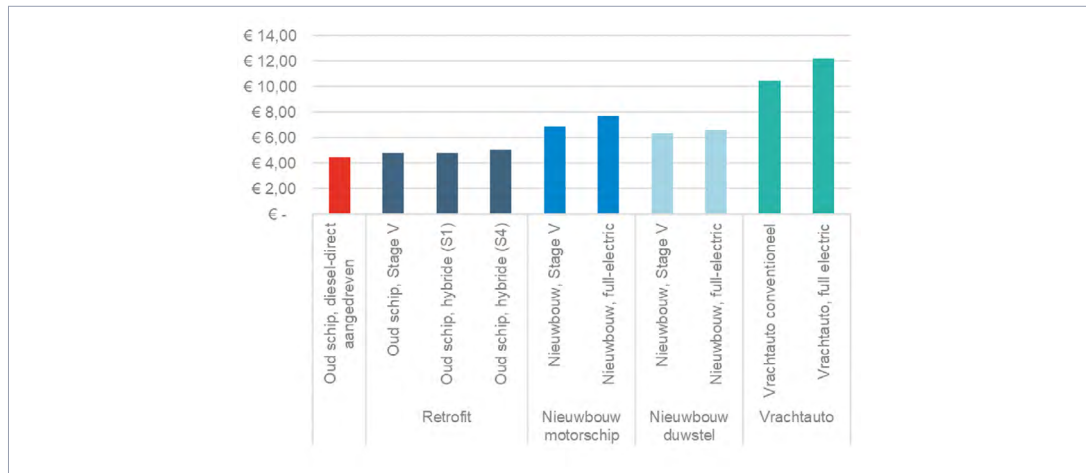


Casus 6: Zand en grind naar Drachten

De conclusie is dat niets goedkoper is dan inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren.

Hybridisering is te overwegen bij een retrofit; het kostenniveau is gelijkwaardig aan het toepassen van een Stage V motoren. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot.

In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.

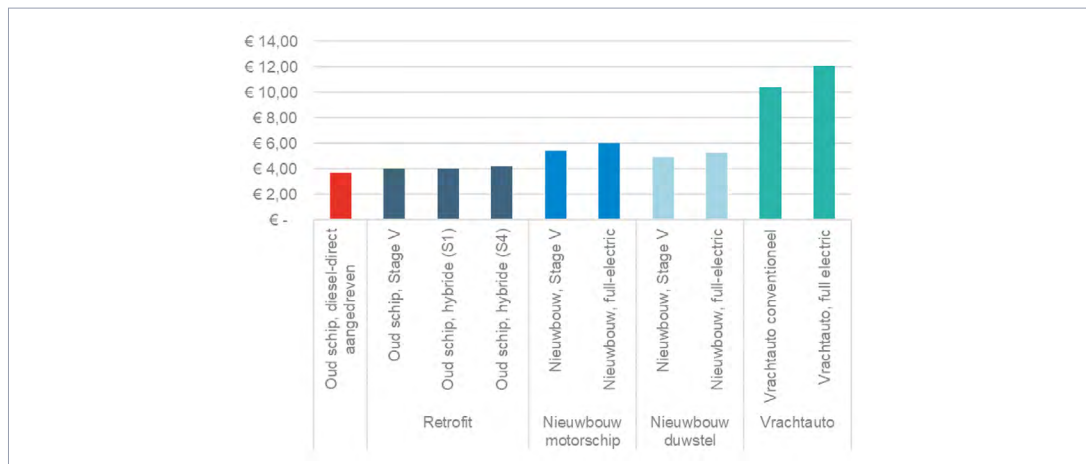


Casus 7: Split naar Eemnes

De conclusie is dat niets goedkoper is dan inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren.

Hybridisering is te overwegen bij een retrofit; het kostenniveau is gelijkwaardig aan het toepassen van een Stage V motoren. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot.

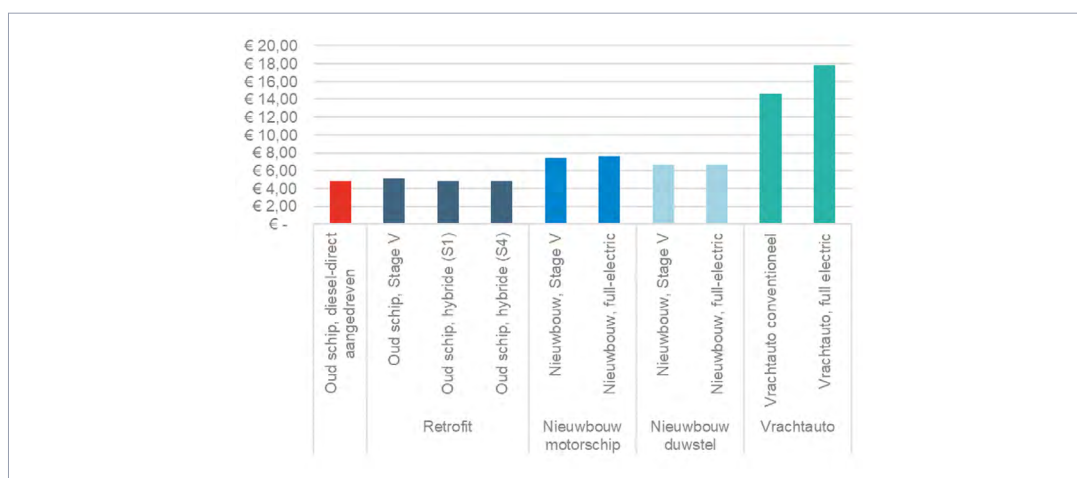
In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.



Casus 8: Glas naar Leerdam

De conclusie is dat niets goedkoper is dan inzet van de bestaande vloot met de huidige motoren. Hybridisering is te overwegen bij een retrofit; het kostenniveau ligt zelfs lager dan het toepassen van een Stage V motoren. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot, zelfs als ingezet wordt op duwcombinaties die een veel grotere inzet kennen van de aandrijflijn. Dit komt doordat geïnvesteerd moet worden in een grote hoeveelheid duwbakken die langdurig stilliggen. Deze investeringen overtreffen de investering voor retrofit van de bestaande vloot.

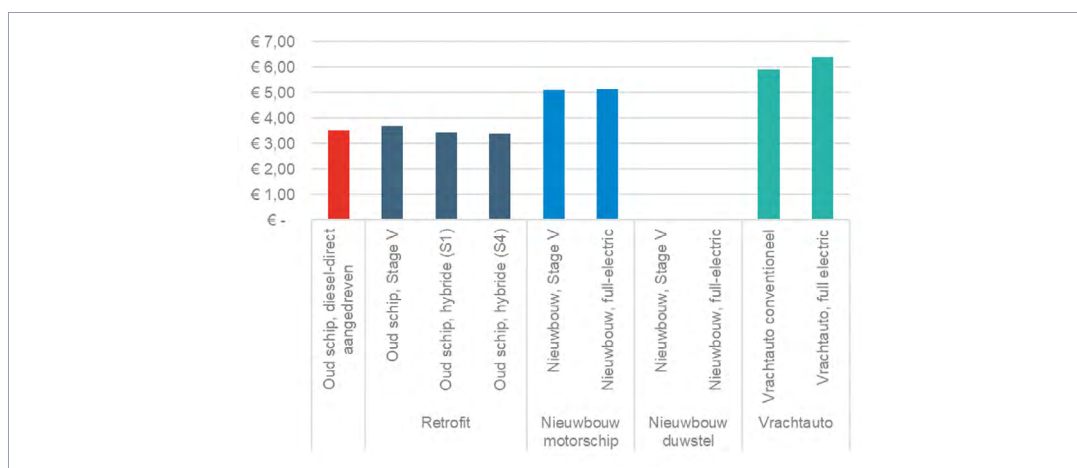
In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.



Casus 9: Zand naar Hillegom

Deze casus wordt momenteel al met duwboten en duwbakken uitgevoerd. De conclusie is dat hybridisering van de bestaande duwboot zeer interessant is en zal leiden tot lagere transportkosten. Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot.

In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.

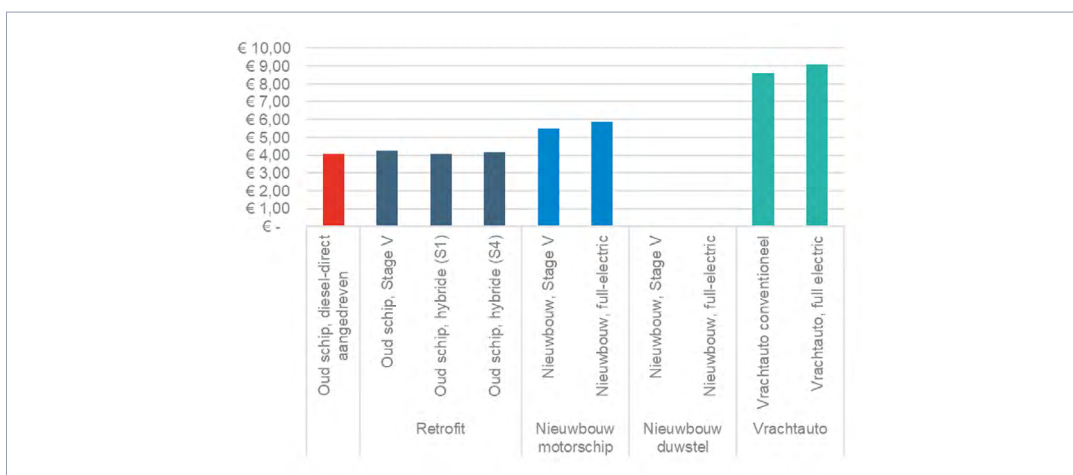


Casus 10: Huisvuil tussen Den Haag en Rotterdam

Deze casus wordt momenteel al met duwboten en duwbakken uitgevoerd. De conclusie is dat retrofit zal leiden tot vrijwel gelijkwaardig kostenniveau. Retrofit naar Stage V is hierbij duurder dan hybridisering.

Nieuwbouw is ondanks de voordelen op hydrodynamica en de lichtere bouw niet voordeliger dan retrofit van de bestaande vloot.

In alle gevallen geldt dat een reverse modal shift naar de vrachtauto niet realistisch is vanwege de zeer hoge vervoerskosten. Investeren in de retrofit van de bestaande vloot lijkt daarmee de slimste manier om zero-emissie binnenvaart op dit traject voor elkaar te krijgen.



Bijlage 5 Vaarwegbelasting met terugsluis

De binnenvaartsector staat voor twee grote uitdagingen:

1. De noodzaak om te vergroenen (technisch) en deze vergroening te financieren (financieel-economisch)
2. Onderhoud en betrouwbaarheid van de bediening van de vaarwegen door teruglopende budgetten bij de overheid.

Om vergroening te financieren kijkt de binnenvaartsector naar verladers en vervoerders. Diverse verladers willen graag extra betalen voor vergroening en zijn bereid daartoe langere termijn afspraken - vaak met een looptijd van 10 jaar of meer - af te spreken met vervoerders. Deze afspraken gaan doorgaans over volumes en prijzen.

Vanuit het perspectief van een schipper gaat hierbij de kost (vergroening) voor de baat (hogere prijs, langere termijnafpraak) uit. Bovendien bestaat er het risico dat bij marktontwikkelingen men 'vast' zit aan het contract en men niet zomaar kan overstappen (opportuiniteitsbaten).

Andersom geldt dat dat verladers niet per direct zomaar meer willen betalen aan binnenschippers, doordat de extra verkregen gelden niet noodzakelijkerwijs geïnvesteerd worden in vergroening maar ook bijvoorbeeld in extra privé-uitgaven of schaalvergroting van de onderneming. En niets doen is geen optie: onder invloed van CSRD maakt ook het wegvervoer grote stappen met verduurzaming. Een reverse modal shift kan op termijn vanuit maatschappelijk oogpunt zelfs gewenst zijn.

De overheid kan hierin een intermediaire rol spelen en partijen bij elkaar brengen. Door als neutrale fondsbeheerder op te treden kan de gewenste zekerheid geboden worden aan verladers en de gewenste flexibiliteit bij vervoerders behouden blijven. Aanvullend geldt dat de overheid momenteel ook optreedt als infrastructuurbeheerder en in die hoedanigheid verantwoordelijk is voor de instandhouding, bedrijfszekerheid en bediening van de vaarweg en daarin/-over gelegen bruggen en sluisen.

Oplossing

Een vaarwegbelasting op provinciale waterwegen en Rijksvaarwegen onder het Binnenvaartpolitie-reglement (BPR), waarvan uit indirect (zie hierna) gelden kunnen worden vrijgemaakt t.b.v. vergroening van de binnenvaartsector.

De middelen die worden vergaard uit deze vaarwegbelasting worden naar analogie van de vrachtwagenheffing, één-op-één en rechtstreeks teruggesluisd naar de binnenvaartsector met als doel deze toekomstbestendig te maken door middel van vergroening.

Context

Het vaarwegbeheer in Nederland is versnipperd en verspreid onder het Rijk, private havenbedrijven (zoals Amsterdam en Rotterdam), provincies²⁹ en gemeenten. Het grootste gedeelte van de Nederlandse bevaarbare vaarwegen is in het beheer van de provincies, het merendeel van de vervoersprestatie wordt geleverd op de drukste vaarwegen die in het beheer zijn van het Rijk. Gemeenten beheren relatief weinig vaarwegen maar dit is wel vrijwel altijd de first- of last-mile, het zijn de binnenhavens waar goederen geladen en/of gelost worden.

²⁹ Soms 'mandateren' provincies het vaarwegbeheer aan waterschappen.

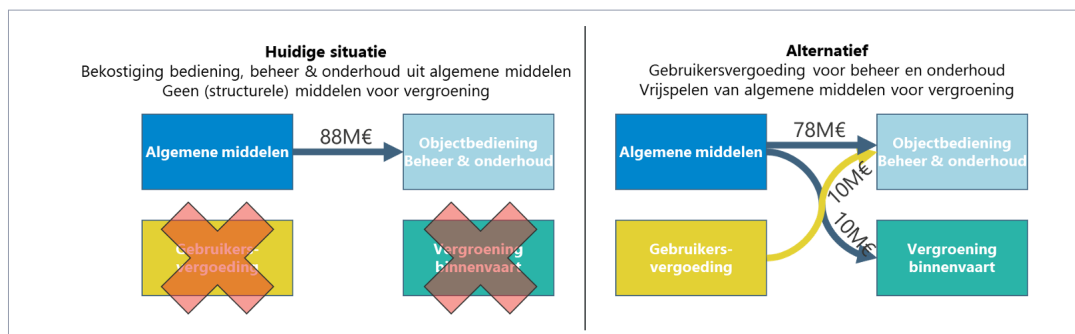
In Nederland wordt *geen enkele vorm van gebruikersvergoeding* geheven voor het gebruik van de vaarwegen - niet door het Rijk en ook niet door provincies. Wel kent men in sommige binnenhavens *havengelden*. Daarnaast zijn er enkele specifieke objecten waarvoor doorvaartgelden betaald moeten worden aan de beheerder - denk daarbij aan de Grote Sluis Spaarndam (waterschap Rijnland).

In het buitenland is dit anders. In Duitsland is het vaarwegenbeheer georganiseerd op federaal niveau en dit wordt uitgevoerd door de *Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes*. In België wordt het op *gewestelijk* niveau uitgevoerd, met aparte vaarwegbeheerders voor Vlaanderen en Wallonië. Ook in Frankrijk is het vaarwegbeheer op federaal niveau georganiseerd (Voies Navigables de France).

Financiering voor het onderhoud van de vaarwegen komt in deze landen zowel door een gemeenschappelijke bijdrage uit belastingen, als ook door een gebruiksafhankelijke vergoeding - *scheepvaartrechten en/of kanaalgelden*. In Duitsland geldt dat de kanaalgelden geheven werden op alle kanalen en binnenlandse rivieren (Main, Neckar, Mosel, Weser) maar niet op de internationale rivieren (Rijn, Donau, Elbe, Odra vanwege bepalingen uit internationale conventies zoals de Akte van Mannheim).

Hoe werkt het?

Zowel op Rijksniveau als op provinciaal niveau wordt zowel het vaarwegonderhoud als de bediening momenteel uitsluitend bekostigd uit de algemene middelen. Voor de provincie Zuid-Holland bijvoorbeeld geldt dat het beheer en onderhoud van de vaarwegen en de bediening jaarlijks € 88 miljoen kost³⁰. Er is momenteel geen gebruiksafhankelijke bijdrage vanuit de sector aan de infra-beheerder(s), en daarmee wijkt de binnenvaartsector af van de spoorgoederensector (accés charges) en de wegvervoersector (vrachtwagenheffing).



De provinciewet³¹ maakt het mogelijk om 'rechten' te heffen voor "het gebruik overeenkomstig de bestemming van voor de openbare dienst bestemde provinciale bezittingen of van de voor de openbare dienst bestemde werken of inrichtingen die bij de provincie in beheer of in onderhoud zijn". Wel geldt een beperking dat de baten voortvloeiende uit deze 'rechten' de 'lasten' niet mogen overstijgen³². De provinciewet beschikt daarmee over dezelfde mogelijkheden als de gemeentewet, dat in artikel 229 definieert welke rechten ('retributies') geheven mogen worden over het gebruik van 'de openbare dienst bestemde gemeentebezittingen of van voor de openbare dienst bestemde werken of inrichtingen die bij de gemeente in beheer of in onderhoud zijn'. Alle gemeenten die havengeld heffen, verwijzen in hun verordening naar dit artikel zijnde de rechtsgrondslag voor de heffing³³.

³⁰ Zie CBS, Provinciebegrotingen; baten en lasten per taakveld: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83640NED/table?ts=1724072252740>

³¹ Artikel 223 van de provinciewet

³² Artikel 227 van de provinciewet

³³ Zie bijvoorbeeld de havengeldverordening van de Gemeente Gouda: <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR707443/1>

Kortom:

Het is mogelijk voor een provincie om een belasting te heffen voor het gebruik van de vaarwegen. Deze belasting kan een deel van de kosten voor beheer en onderhoud dekken.

Het deel aan algemene middelen dat daarmee vrijgespeeld wordt, kan vervolgens worden besteed aan een vergroeningsfonds waar de provincie middels subsidies en leningen gelden uit vrijmaakt voor de sector om te vergroenen.

Welke mogelijkheden zijn er?

Het heffen van een vaarwegbelasting biedt grote mogelijkheden voor gemeenten en provincies:

Grondslag voor de heffing kan zijn:

- *Tonkilometers*: het product van het aantal kilometers dat over provincie vaarwegen gevaren wordt (gebruik) en het vervoerde ladinggewicht (economische draagkracht). Dit is voorspelbaar voor de gebruikers en er kan, zoals in Duitsland, een aparte applicatie worden ingericht om gebaseerd op de route die het schip vaart de hoeveelheid 'belasting te bepalen'.
- *Het passeren van sluizen en beweegbare bruggen* (aantal bedieningen).

Heffingsplichtig is de schipper óf, veel belangrijker, zijn opdrachtgever (de bevrachter of verlader). Doordat vaak meteen bekend is welk schip er ingezet wordt en hoeveel kilometers er op provinciale wateren afgelegd moet worden, kunnen de kosten eenvoudig berekend worden en meteen worden doorbelast aan de feitelijke klant.

Differentiatie is mogelijk naar gelang de goederensoort (bulk of containers) en de mate waarin het ingezette schip reeds 'schoon' is. Gemeenten hanteren bijvoorbeeld de Green Award en passen kortingspercentages toe gebaseerd op het type Award. Maar ook het emissielabel is mogelijk.

Belangrijk:

Het is niet alleen mogelijk de binnenvaart te belasten, maar ook andere vaarweggebruikers zoals passagiersschepen en recreatievaart. Dit biedt mogelijkheden andere sectoren aanvullend te laten bijdragen aan de vergroening van de binnenvaart.

Hoe richten we het in?

Het is belangrijk dat de vaarwegbelasting gedragen kan worden door de sector en niet zal leiden tot een *reverse modal shift*. De kosten mogen dus niet te hoog zijn. Een goede maatstaf is het gemiddelde havengeldtarief in binnenhavens; dat ligt op ca. € 0,20 cent per ton laadvermogen oftewel zo'n € 200 à € 300 per reis. Een dergelijk bedrag is te dragen en leidt niet tot een substantiële kostenverhoging: de gemiddelde kostprijs voor vervoer over water ligt bij korte afstanden al op zo'n € 3,00 per ton.

De gemiddelde afstand dat een binnenvaartschip aflegt over provinciale waterwegen bedraagt ordegrrootte 20 kilometer. Om voor een schip beladen met 1.000 ton goederen op € 200 aan belasting uit te komen, is bij een afstand van 20 kilometer op provinciale waterwegen *een tarief van € 0,01 per tonkilometer benodigd*.

Over provinciale waterwegen wordt op jaarbasis naar schatting zo'n 4 miljoen ton goederen vervoerd. Wanneer wij aannemen dat deze goederen over de provinciale waterwegen een afstand van 20 kilometer afleggen, komt dit neer op 80.000.000 tonkilometer. De jaarlijkse opbrengst bedraagt hierbij, vanuit de binnenvaartsector, zo'n € 800.000. Daarmee kunnen meerdere kleine binnenvaartschepen per jaar worden gerefrofit per jaar.

Resumé

Beheer en onderhoud van de vaarwegen als ook de bediening van bruggen en sluizen in deze vaarwegen wordt momenteel bekostigd uit de algemene middelen. Vaarweggebruikers dragen op geen enkele manier bij aan deze kosten. De provinciewet biedt mogelijkheden om vaarweggebruikers te laten bijdragen aan de kosten voor bediening en beheer & onderhoud. Hiermee kunnen algemene middelen worden vrijgespeeld die benut kunnen worden om vergoening van de binnenvaart te financieren.

Topsector Logistiek
+31(0)15 251 65 65
info@topsectorlogistiek.nl
www.topsectorlogistiek.nl

