

**Behavioural and Societal  
Sciences**

Van Mourik Broekmanweg 6  
2628 XE Delft  
Postbus 49  
2600 AA Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 30 00  
F +31 88 866 30 10  
[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)

**TNO-rapport****TNO 2012 R10327****Factsheets van technische mogelijkheden  
voor het verlagen van de milieubelasting van  
passagiersschepen in Amsterdam**

Datum 30 oktober 2012  
Auteur(s) Ruud Verbeek, Pim van Mensch

Exemplaarnummer  
Oplage  
Aantal pagina's 26 (incl. bijlagen)  
Aantal bijlagen 1  
Opdrachtgever  
Projectnaam  
TNO Projectnummer 052.02780  
EFRO projectnummer 21A.008

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2012 TNO

Tevens participatie in dit EFRO project van:



*Hier wordt geïnvesteerd in uw toekomst. Dit project wordt mede mogelijk gemaakt door het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling van de Europese Unie.*

## Samenvatting

De Amsterdamse rondvaartbranche heeft sinds 1990 veel ervaring opgebouwd met het toepassen van technologieën om de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen, met name NOx en fijnstof, te verminderen. Dit rapport geeft een beschrijving en een vergelijking van een breed scala van technische opties voor diverse scheepstypen, alsmede een aanbeveling naar de toekomst. Het werk is uitgevoerd in het kader van het onder EFRO gesubsidieerde project 'Operatie Boeggolf'. De input voor het rapport is vooral geleverd tijdens een tweetal kennisnetwerkbijeenkomsten, alsmede door veel bilaterale input van de rondvaartrederijen, de motorleveranciers en van Waternet.

Voor de toekomst wordt aanbevolen te focussen op een zeer beperkt aantal opties:

1. De volledig elektrische aandrijflijn wordt voor de lange termijn als hoofdroute gezien voor alle scheepstypen: rondvaart-, salonschepen en sloepen. Voor de korte termijn en middellange termijn (ca 5-10 jaar) is de volledig elektrische aandrijflijn nog niet economisch haalbaar voor de -intensief gebruikte-rondvaartboten.
2. Voor bestaande schepen welke niet gemakkelijk naar volledig elektrisch kunnen worden omgebouwd en voor de intensief gebruikte rondvaartboten wordt aanbevolen om zich te concentreren op de schoonste dieselmotoren of op een hybride aandrijving, waarbij een kleine dieselmotor het varen en het huishoudelijk verbruik continue of tijdelijk ondersteunt. Het realiseren van een emissieniveau gelijkwaardige of beter dan Stage IIIB of Euro IV, kan op dit moment door toepassing van een Stage IIIB industriemotor of door het monteren van een retrofit EGR + roetfiltersysteem. Enkele aanpassingen en creativiteit zijn nodig om deze motoren of zo'n systeem in een schip in te bouwen. Desalniettemin is dat in enkele gevallen reeds gedaan en zal het in de toekomst gemakkelijker worden.
3. Voor bestaande schepen met oudere of nieuwere, maar niet bijzonder schone dieselmotoren, is het toepassen van een schonere synthetische dieselbrandstof zoals GTL of HVO zeker effectief in het verminderen van de uitstoot.

De toepassing van aardgas wordt zeker als succesvol ervaren. Deze optie wordt echter minder belangrijk vanwege de toenemende beschikbaarheid van elektrische aandrijvingen en af-fabriek schone dieselmotoren.

De volgende stap is om samen met de rondvaartbranche en de toeleveranciers, de roadmap voor de toekomst en een kosten-baten analyse verder uit te werken. Daarbij zijn de ontwikkeling van de walvoorzieningen en de eventueel gewenste stimuleringsregelingen eveneens van groot belang.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>4</b>
1.1	Kennisnetwerk .....	4
1.2	Doelstelling van schone technologie .....	4
1.3	Amsterdamse vloot .....	5
1.4	Opbouw rapport .....	5
<b>2</b>	<b>Technologieën .....</b>	<b>6</b>
2.1	Schonere dieselmotor .....	6
2.2	Alternatieve aandrijving .....	10
2.3	Schonere brandstof .....	15
<b>3</b>	<b>Discussie .....</b>	<b>19</b>
3.1	Prestaties in de praktijk .....	21
3.2	Vergelijking van opties .....	19
3.3	Infrastructuur .....	21
3.4	Implementatie van nieuwe technologie .....	22
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>25</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Overzicht praktijkervaring nieuwe technologieën in bij rondvaarrederijen	

# 1 Inleiding

## 1.1 Kennisnetwerk

De rondvaartbranche en de gemeente Amsterdam en Waternet werken al vanaf 1990 samen in het realiseren van een schonere vloot in Amsterdam. In deze periode is door rondvaartrederijen ervaring opgedaan met een flink aantal technologieën zoals diesel-elektrisch, volledig elektrisch, roetfilters, aardgas, biobrandstof, GTL en waterstof.

In het kader van het door EFRO gesubsidieerde project 'Operatie Boeggolf', werken Waternet, TNO en TU Delft samen in het testen en evalueren van een aantal innovatieve aandrijfconcepten voor de Waternetvloot. Het verspreiden van deze kennis is tevens een doelstelling van het project. In het kader daarvan is op 22 juni 2012 een workshop georganiseerd om de ervaringen met schone technologieën toegespitst op de rondvaartbranche uit te wisselen.

Het doel van deze rapportage is om op basis van de informatie uit de workshop en reeds beschikbare kennis, informatie te verschaffen over de technologieën welke in aanmerking komen voor het schoner maken van de Amsterdamse (rondvaart) vloot. Tevens wordt verwezen naar het in 2008 uitgevoerde onderzoek in opdracht van de Gemeente Amsterdam<sup>1</sup>.

Wat verstaan we precies onder 'schoon'? In dit verband wordt onder schoon verstaan een lagere uitstoot van luchtverontreinigende emissies zoals NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub><sup>2</sup> en 'deeltjes' (fijnstof<sup>3</sup>). In dit rapport wordt tevens een indicatie gegeven van het effect op de 'duurzaamheid' van de technologie of brandstof. Onder duurzaam wordt verstaan een vermindering van het energieverbruik of de CO<sub>2</sub> emissie. Deze twee zijn sterk gelinkt: een lager energieverbruik levert een proportioneel lagere CO<sub>2</sub> op. Door een meer duurzame brandstof in te zetten, kan echter ook een lagere CO<sub>2</sub> emissie gerealiseerd worden bij hetzelfde energieverbruik.

## 1.2 Doelstelling van schone technologie

De doelstellingen voor het toepassen van schone technologieën lopen enigszins uiteen. De doelstelling van de gemeente Amsterdam is vooral om per 2015 de NO<sub>2</sub> emissie flink te verlagen. Voor de rondvaartbranche is het echter vooral van het belang de fijnstof-emissie ('zichtbare rookemissie') te beperken om op die manier het comfort en imago bij de passagiers en omwonenden te vergroten.

---

<sup>1</sup> Schone rondvaart Amsterdam: Een verkenning van technische en beleidsmatige mogelijkheden. Hein de Wilde, Ernie Weijers. Rapport ECN-E--08-083, November 2008

<sup>2</sup> NO<sub>x</sub> bestaat uit NO en NO<sub>2</sub>. NO<sub>2</sub> is schadelijker dan NO, waardoor het soms apart beoordeeld wordt.

<sup>3</sup> Deeltjes of fijnstof wordt ook wel aangeduid met PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>. Deeltjes van verbrandingsmotoren zitten in het ultrafijne en fijne spectrum, dat wil zeggen in de range van 10 tot 500 nanometer (0,01 tot 0,5 micrometer).

### 1.3 Amsterdamse vloot

De Amsterdamse vloot van passagiersschepen voor commerciële toepassingen omvat drie typen schepen, namelijk, rondvaartschepen (ca. 20m lang), salonschepen (ca. 12 tot 20m lang) en sloepen (tot ca. 10m lang). Ongeveer 180 schepen worden ingezet met een eigen (of vaste) schipper aan boord. Daarnaast zijn er een vijftigtal sloepen voor de verhuur aan particulieren.

Er wordt tamelijk veel gedaan aan het toepassen van schone aandrijftechnologie. De sloepen hebben meestal een elektrisch aandrijving. Daarnaast worden de volgende technologieën toegepast voor de rondvaart- en salonschepen:

- Ca. 4 schepen met diesel-elektrische aandrijving
- Ca. 50 schepen volledig elektrisch
- Ca. 12 rondvaartboten op aardgas
- Ca. 19 rondvaartboten op GTL (schonere dieselbrandstof)
- 1 rondvaartboot met waterstof i.c.m. brandstofcel

Verder zijn of worden een flink aantal dieselmotoren vervangen door nieuwe CCR2 motoren. Bij een tweetal schepen worden de nog aanzienlijk schonere Stage IIIB motoren toegepast in combinatie met diesel-elektrische aandrijving.

De leeftijdsopbouw van de grotere schepen is niet goed bekend. De schepen gaan aanzienlijk langer mee dan de motor. Voor de motoren wordt een levensduur geschat van zo'n 15 tot 30 jaar. In 2011 is geschat dat ca. 50% van de motoren van voor 1985 is<sup>4</sup>.

De inzet en gebruikaspecten van de schepen binnen de Amsterdamse vloot is van groot belang voor de beoordeling van de technologieën. Deze inzet wordt gekarakteriseerd door het doorgaans relatief langzaam varen met laag vermogen (max snelheid binnen de grachten is 7 km/h), maar het daarbij wel beschikbaar moeten hebben van een hoog vermogen voor het snel kunnen stoppen van het schip (binnen twee scheepslengtes). De maximum vermogens liggen doorgaans tussen de 50 en 100 kW (65 tot 130 PK).

### 1.4 Opbouw rapport

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de technische opties om schoner te varen, waarna vervolgens een technische beschrijving gegeven wordt van deze opties. In hoofdstuk 3 'discussie' worden vervolgens de technische opties op verschillende manieren met elkaar vergeleken. Tevens wordt hierbij een in-fasering in de toekomst gegeven. In beperkte mate wordt ingegaan op de toepassing bij kleinere schepen zoals bij salonboten en sloepen. Tenslotte wordt het rapport afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

---

<sup>4</sup> M.Kok, Kennisnetwerk, 24 november 2011

## 2 Technologieën

De volgende technische opties komen in aanmerking voor het realiseren van een schonere vloot voor passagiers schepen:

Schonere dieselmotor:

- Nieuwe motor / strengere classificering
- Retrofit nabehandeling- of emissiecontrole systeem

Alternatieve aandrijving:

- Diesel-elektrische aandrijving (dieselmotor dient als generator aandrijving)
- Hybride aandrijving (diesel- en elektromotor dienen als directe aandrijving van de schroef)
- Volledig elektrische aandrijving met accu's of brandstofcel als energiebron

Alternatieve brandstof:

- Schonere dieselbrandstof: GTL of biobrandstof (biodiesel en HVO)
- Alternatieve brandstof (aardgas e.d.)

In de hierna volgende paragrafen worden de bovenstaand technologieën in detail behandeld. Dit wordt gedaan volgens een vast -factsheet- format met daarbij de volgende onderwerpen: definitie, luchtverontreinigende emissies, energieverbruik en CO2 emissies, toepasbaarheid, kosten, gebruikerservaringen en toekomstperspectief.

### 2.1 Schonere dieselmotor

#### 2.1.1 *Nieuwe motor / strengere classificering*

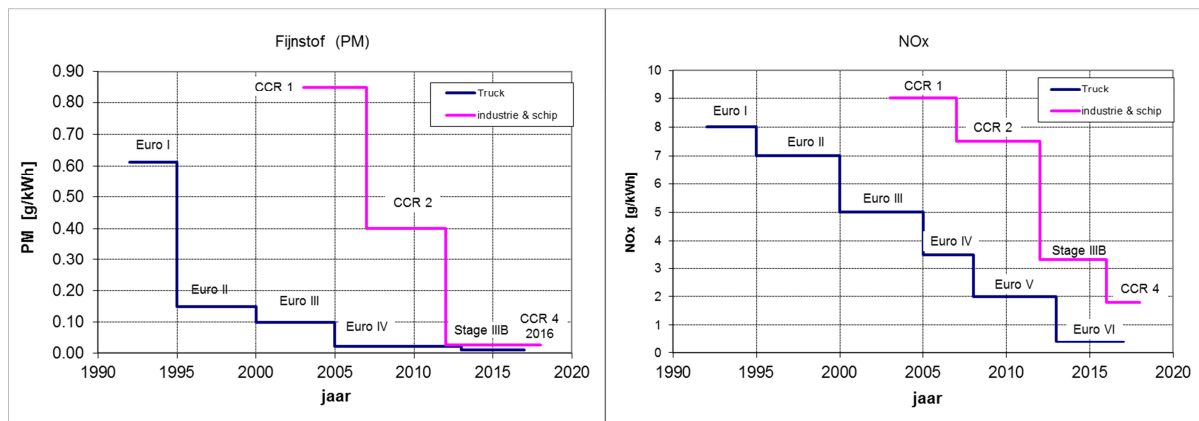
##### **Definitie / omschrijving**

De toepassing van een nieuwe dieselmotor. Deze is schoner omdat een nieuwe motor aan strengere emissie-eisen voldoet. Er zijn echter verschillende opties:

- Een motor welke voldoet aan CCR 2, de laatste eisen voor binnenschepen (sinds 2007)
- Een industriemotoren of motor voor mobiele welke voldoet aan Stage IIIB (Fase IIIB 2012) of een truckmotor welke voldoet aan Euro IV of V.

De CCR normen zijn oorspronkelijk ingevoerd door de Centrale Commissie voor de Rijnvaart en zijn daarna door de Europese Commissie overgenomen. Op dit moment is de CCR 2 norm van kracht. CCR 3 is nooit formeel ingevoerd.

De eerstvolgende stap is CCR 4 in 2016. De voorgestelde CCR 3 norm komt (globaal) overeen met Stage of Fase IIIB. De gemeente Amsterdam heeft een stimuleringsregeling voor de toepassing van motoren welke voldoen aan de Euro IV (norm voor wegtransport), of aan Stage IIIB (norm voor mobiele werktuigen of industriemotoren) of aan CCR4 normen. In Figuur 2.1 is een overzicht gegeven van de emissie-eisen volgens de verschillende classificering.



Figuur 2.1 Vergelijking van (toekomstige emissienormen voor motoren voor trucks en voor scheeps- en industriemotoren (vermogensklasse van 37-75 kW).

### Luchtverontreinigende emissies

In onderstaande tabel is de te maximale emissievermindering aangegeven van nieuwe motoren ten opzichten van CCR I motoren (< 2003-2004)

	NOx	PM (fijnstof)
CCR II	-15%	-50%
Stage IIIB	-35%	-95%
CCR 4	-80%	-95%

### Energieverbruik en CO2 emissies

Er is nauwelijks en ook geen consistente relatie tussen de emissieclassificering en het brandstofverbruik en CO2 emissie. Het kiezen van een zo klein mogelijke motor zal het verbruik en de CO2 emissie verlagen. Een voorbeeld is de vervanging van een grotere 6 cilinder motor door een 4 cilinder. Deze zou zo'n 10% zuiniger kunnen zijn en daarmee ook een 10% lagere CO2 emissie hebben. Een belangrijke invloedsfactor is verder het goed matchen van de motorkarakteristiek met die van de schroef.

### Toepasbaarheid

CCR2 motoren zijn standaard verkrijgbaar en goed in te bouwen in zowel nieuwe als bestaande schepen.

Motoren welke voldoen aan de Stage IIIB of aan de Euro IV norm, zijn niet standaard geschikt of toegestaan voor sloopstoeppassing. Er moet het een en ander aangepast worden.

Als deze hobbel genomen is, dan zijn deze motoren wel breed toepasbaar in zowel nieuwe als bestaande schepen. Praktische gebruiksaspecten en veiligheid worden niet aangetast.

Gezien het lage belastingsprofiel in Amsterdamse rondvaart, kan de combinatie van een Stage IIIB motor met diesel-elektrische aandrijving voordelen bieden.

### **Kosten**

Deze hangen sterk af van de gekozen configuratie. Voor een ca 75 kW (100 pk) motor kan op het volgende gerekend worden:

- Vervanging door CCR2 motor: vanaf ca. EUR 30.000,-
- Installatie Stage IIIB motor: vanaf ca. EUR 50.000,-
- Stage IIIB motor in diesel-elektrische aandrijving: ca. EUR 100.000,-

### **Gebruikerservaringen**

Diverse rederijen hebben reeds ervaring met CCR 2 motoren. De technologie wordt als betrouwbaar en bewezen technologie ervaren zonder gevolgen voor de operationele inzetbaarheid. Ervaring met Stage IIIB motoren is nog heel beperkt. De verwachtingen zijn positief.

### **Toekomstperspectief**

Het toekomstperspectief is goed. Schonere dieselmotoren zullen in de toekomst steeds beter beschikbaar komen, aangezien dit volgens de wetgeving een vereiste is. Uiteindelijk zal de meeste concurrentie komen van volledig elektrisch aandrijfsystemen.

## 2.1.2 *Retrofit uitlaatgasnabehandeling of emissiecontrole systeem*

### **Definitie / omschrijving**

#### *Roetfilter*

Een roetfilter is een filterelement dat in de uitlaatgasstroom van de motor geplaatst wordt. Er zijn verschillende typen filters:

- Halfopen of open roetfilter: Hierbij stroomt maar een deel van het uitlaatgas door de poreuze wand. De rest by-passed de wand. Filtratie-efficiency is doorgaans rond de 30%, maar kan bij sommige typen hoger zijn.
- Gesloten (passief) roetfilter: hierbij stroomt het uitlaatgas door een poreuze keramische wand, waardoor meer dan 99% van de deeltjes afgevangen wordt.
- Gesloten roetfilter met actieve regeneratie: hierbij wordt een brander of een elektrisch verwarmingssysteem toegepast om het filter periodiek (elke 3-8 uur) schoon te branden.

Een belangrijke voorwaarde voor het goed functioneren is het regenereren of verbranden van het opgeslagen roet. Hiervoor is het nodig dat het uitlaatsysteem een deel van de tijd voldoende warm is (> 250°). Lukt dit niet, dan zal het systeem verstopen (gesloten filter) of zullen nieuwe deeltjes niet meer afgevangen worden (halfopen roetfilter). Een actief regenererend roetfilter kan dan de oplossing zijn. Een roetfilter zal over het algemeen periodiek onderhoud vergen, zelfs als het goed regeneert. Een filter vangt ook anorganische componenten, welke eenmaal per 1 of 2 jaar uitgewassen of uitgeblazen moeten worden.

#### *Uitlaatgasrecirculatie (EGR) + roetfilter met actieve regeneratie*

Dit systeem wordt nu door een motorfabrikant aangeboden. Het EGR zorgt voor NOx reductie, terwijl het roetfilter zorgt voor fijnstof reductie. Daarmee kan een dieselmotor op het niveau van Stage IIIB en Euro IV gebracht worden.



*Roetfilter plus SCR deNOx uitlaatgasnabehandeling*

SCR staat voor 'Selective Catalytic Reduction'. NOx wordt omgezet in stikstof en water door het injecteren van AdBlue in de uitlaat en de daaropvolgende chemische reactie in de katalysator. Het roetfilter zorgt voor de reductie in fijnstof. Het roetfilter kan al dan niet voorzien zijn van een actief regeneratiesysteem.

Met dit systeem kan een dieselmotor op het niveau van Stage IIIb en Euro IV gebracht worden, of zelfs op het niveau van CCR4 en Euro V.

**Luchtverontreinigende emissies**

Een indicatie van de vermindering in luchtverontreinigende emissies is gegeven in de onderstaande tabel. De vermindering is afhankelijk van de precieze uitvoering en kalibratie. Bij roetfiltersystemen kan het aandeel NO<sub>2</sub><sup>5</sup> toenemen.

	NOx	PM (fijnstof)
(Half) open roetfilter	0%	-30%
Roetfilter	0%	-90%
EGR + roetfilter	-50%	-90%
SCR + roetfilter	-75%*	-90%

\* mits voldoende hoge uitlaatgastemperatuur

**Energieverbruik en CO2 emissies**

Het brandstofverbruik en de CO2 emissie kan enkele procenten stijgen, omdat het roetfilter een hogere weerstand geeft aan de uitlaatgassen (uitlaatgastegendruk). Een actieve regeneratie zal ook wat extra energie kosten, maar het houdt ook de hogere weerstand onder controle.

**Toepasbaarheid***Roetfilter*

Het roetfilter kan in principe op bestaande en nieuwe motoren worden toegepast. De onderhoudstoestand van de motor moet wel goed zijn, omdat bijvoorbeeld een verhoogde fijnstof emissie vrijwel direct leidt tot een verstopping van het roetfilter. Gezien het lage gemiddelde vermogen in Amsterdam en de eerdere ervaringen met verstopte roetfilters, is een actief regenererend roetfilter waarschijnlijk de betere oplossing.

Bij een innovatieve aandrijflijn (diesel-elektrisch of hybride) zou een passief filter mogelijk wel goed kunnen functioneren, omdat de motor dan gestuurd kan worden naar een hogere belasting (bij lager toerental) met bijbehorende hogere uitlaatgastemperatuur. Bij een passief filter is het altijd van belang om het uitlaatgastemperatuurprofiel op te nemen en het regeneratiegedrag te evalueren. Een roetfilter zal regelmatig onderhoud vragen, zoals het leegschudden of uitwassen van opgeslagen 'as' (niet regenereerbare anorganische componenten).

*Uitlaatgasrecirculatie (EGR) met actief roetfilter*

Dit wordt op dit moment slechts door 1 motorfabrikant aangeboden. Het is belangrijk dat het effect van EGR op het verbrandingsverloop goed gecontroleerd wordt door bijvoorbeeld de motorfabrikant. Het is niet te verwachten dat het systeem voor een aantal andere motormerken zal worden aangeboden.

<sup>5</sup> NOx bestaat uit NO en NO<sub>2</sub>. NO<sub>2</sub> is echter schadelijker dan NO.

#### *Roetfilter plus SCR deNOx systeem*

Dit wordt door leveranciers van nabehandeling systemen aangeboden. Het kan in principe vrij universeel op veel type motoren gemonteerd worden. Echter, de lage gemiddelde belasting bij de Amsterdamse rondvaart, kan tot een tegenvallende NOx vermindering leiden. Het is belangrijk dat het goed getest wordt. Het systeem is relatief duur voor een kleine motor zoals bij de rondvaart. Een actieve regeneratie systeem kan het geheel wellicht te complex maken.

#### **Kosten**

Kostenindicatie voor de verschillende systemen:

- Roetfilter met/zonder actieve regeneratie: 5.000 tot 20.000 EUR
- EGR + roetfilter: ca 25000 EUR
- Roetfilter + SCR: 15.000 tot 20.000 EUR.

#### **Gebruikerservaringen**

##### *Roetfilter*

Verschillende rederijen hebben ervaring met passieve roetfilters. Die ervaringen zijn niet erg positief. Er kan verstopping optreden, omdat de kritische temperatuur welke nodig is voor regeneratie, niet gehaald wordt.

##### *Uitlaatgasrecirculatie (EGR) met actief roetfilter*

De eerste ervaring met het systeem op een rondvaartboot is zeer positief.

##### *Roetfilter plus SCR deNOx systeem*

Het is nog niet toegepast bij de rondvaart in Amsterdam. Er is tamelijk veel ervaring met deze systemen bij bijvoorbeeld bussen voor openbaar vervoer.

#### **Toekomstperspectief**

##### *Roetfilter*

Een actief regenererend, gesloten roetfilter kan een zeer goede oplossing zijn om de fijnstof emissie te elimineren. Het doet echter niets aan de NOx, terwijl NOx vermindering vaak wel een onderdeel zal zijn van een subsidieregeling.

Roetfilters zullen wel automatisch een intrede vinden, maar dan als vast onderdeel van de motor. Vanaf Stage IIIB zullen roetfilters, afhankelijk van de emissiecontrole strategie van de motorfabrikant, toegepast worden.

##### *EGR met roetfilter*

De beschikbaarheid zal waarschijnlijk beperkt blijven tot enkele motortypen.

##### *Roetfilter met SCR deNOx*

Bepekt, omdat de lage uitlaatgastemperatuur zowel een probleem voor het roetfilter als voor het SCR systeem kan vormen.

## **2.2 Alternatieve aandrijving**

Bij de alternatieve aandrijving wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende typen:

- Diesel-elektrische aandrijving
- Hybride (elektrisch) aandrijving (motor + accu's)
- Vol elektrische aandrijving met accu's en/of brandstofcel als energiebron

### 2.2.1 *Diesel-elektrische aandrijving*

#### **Definitie / omschrijving**

De dieselmotor drijft een generator aan, welke vervolgens een elektromotor gekoppeld aan de schroef van stroom voorziet. Er vindt geen energieopslag plaats. Het voordeel is dat er meer flexibiliteit is om het motortoerental sterk te verlagen als het gevraagde vermogen laag is.

#### **Luchtverontreinigende emissies**

Dit hangt af van het ontwerp van de aandrijflijn, het type motor dat toegepast wordt en de gebruikscyclus. Bij een goed gekozen regeling kunnen voordelen optreden, vooral in combinatie met een motor met speciaal emissiecontrole systeem zoals een Stage IIIB motor of een motor met roetfilter.

#### **Energieverbruik en CO2 emissies**

Er wordt geen grote invloed verwacht op energieverbruik en CO2 emissies. Het zou zowel iets kunnen dalen als toenemen.

#### **Toepasbaarheid**

De diesel-elektrische aandrijving kan in zowel een bestaand als in nieuw schip worden toegepast, mits er plaats gevonden kan worden voor de componenten. Het comfort voor de passagiers kan toenemen, omdat er meer energie beschikbaar is voor verwarming en catering.

#### **Kosten**

Voor een complete aandrijflijn moet op ca. 70.000 tot 100.000 EUR gerekend worden.

#### **Gebruikerservaringen**

Er is ervaring met diesel-elektrische aandrijving op ca. vier rondvaartschepen. De techniek wordt als goed en betrouwbaar ervaren<sup>6</sup>. Het voordeel is vooral het beschikbaar hebben van meer energie voor het huishoudelijk bedrijf (verwarming en catering).

#### **Toekomstperspectief**

Goed, aangezien comfort voor de passagiers steeds belangrijker wordt. Uiteindelijk zal de meeste concurrentie komen van volledig elektrisch aandrijfsystemen.

### 2.2.2 *Hybride aandrijving*

#### **Definitie / omschrijving**

Bij een hybride aandrijflijn worden meerdere energiebronnen tegelijk toegepast, zoals de dieselmotor en accu's. De accu's kunnen al dan niet voorzien zijn van een walaansluiting om de accu's op te laden. Met walaansluiting is het dan een zogenoemde "plug-in hybride" uitvoering.

Zowel de dieselmotor als de elektromotor kunnen aandrijving van het vaartuig verzorgen. Feitelijk kan de verhouding tussen dieselmotorgrootte en de accugrootte

---

<sup>6</sup> Guttman, kennisnetwerk, 24 november 2012

sterk variëren. Er kan sprake zijn van een redelijk normale dieselmotor met daarbij wat accu's om het piekvermogen te vergroten. Of een zeer kleine dieselmotor, waarbij het vermogen (boven een basislast) volledig door de accu's geleverd wordt. De optimale keuze hangt af van het inzetprofiel van het schip.

#### **Luchtverontreinigende emissies**

Dit hangt af van het ontwerp van de aandrijflijn, het type motor dat toegepast wordt en de gebruikscyclus. De sterk dynamische gebruikscyclus van de rondvaart biedt goede mogelijkheden om energie te besparen en ook luchtverontreinigende emissies te reduceren. Daarnaast kan ook het functioneren van een emissiecontrolesysteem (zoals katalysator of roetfilter verbeteren). Op bepaalde delen van het traject zou de motor uitgeschakeld worden, waardoor er op dat moment geen uitstoot is.

#### **Energieverbruik en CO2 emissies**

Dit hangt af van het ontwerp van de aandrijflijn en de gebruikscyclus. De sterk dynamische gebruikscyclus van de rondvaart biedt mogelijkheden om energieverbruik en CO2 te reduceren.

#### **Toepasbaarheid (retrofit, autonomie, veiligheid)**

De hybride aandrijving kan alleen in een nieuwbouwschip ingebouwd worden, vanwege de ruimtebeslag van de componenten zoals de accu's.

#### **Kosten**

De kosten van de hybride aandrijflijn zijn aanzienlijk hoger dan die van een conventionele aandrijflijn. Richtgetal voor het schip:

- Hybride zonder 'plug in': vanaf ca. EUR 120.000,-
- Hybride met 'plug in': vanaf ca. EUR 130.000,- (excl. walvoorziening)

Wellicht kunnen de kosten lager uitvallen, indien gekozen wordt voor een zeer kleine motor, bijvoorbeeld van ca. 30 kW. Het overige vermogen komt dan uit de accu's.

#### **Gebruikerservaringen**

Er is nog geen ervaring met hybride aandrijving (met energieopslag).

#### **Toekomstperspectief**

Goed. Elektrische componenten, waaronder de accu's, zullen in de toekomst beter beschikbaar komen tegen lagere kosten, waardoor ze zichzelf sneller terugverdienen. Het is een mooi oplossing voor gebruikers welke overwegend elektrisch willen varen, maar waarbij de accucapaciteit te kort schiet (of de accu's te duur zijn) voor een volledige werkdag van 10 uur of meer.

### **2.2.3 *Volledig elektrische aandrijving met accu als energiebron***

#### **Definitie / omschrijving**

De energievoorziening is uitsluitend door middel van accu's, welke aan wal worden opgeladen. De aandrijving is middels een elektromotor.

#### **Luchtverontreinigende emissies**

De lokale luchtverontreinigende emissies zijn nul. Eventueel kan rekening gehouden worden met de emissies van een gemiddelde centrale (voor de Nederlandse markt) waar de elektriciteit geproduceerd wordt.

### **Energieverbruik en CO2 emissies**

Bij de elektrische aandrijving moet de CO2 emissie en het energieverbruik van 'bron tot schroef' bekeken worden. Het resultaat zal dan sterk afhangen van de herkomst of productiemethode van de gebruikte elektriciteit.

### **Toepasbaarheid**

Dit is afhankelijk van de vereiste gebruiksduur en de beschikbare laadtijd per dag. Bij een gebruiksduur van meer dan acht uur per dag, kan het lastig of zelfs onmogelijk zijn om voldoende energie in accu's op te slaan. Door (tijdens het ontwerp van het vaartuig) de eigenschappen van de accu's goed te kiezen en de temperatuur ervan laag genoeg te houden (eventueel met koeling) is -voor de toepassing als rondvaartboot- meestal een passend energie-opslagsysteem te realiseren. Dat kan overigens zowel met conventionele (lood-zwavelzuur) accu's als met modernere Li-ion types.

### **Kosten**

De kosten van het elektrisch aandrijfsysteem worden sterk bepaald door de benodigde accucapaciteit:

- Salon- en rondvaartschepen met conventionele accu's: ca.100.000,- EUR
- Rondvaart / intensief gebruik (14 uur/dag) met lithium-ion accu's: vanaf ca. 400.000,- EUR

De elektriciteitskosten met inbegrip van de vaste aansluitkosten en eventueel de afschrijving van de accu, zijn waarschijnlijk redelijk vergelijkbaar met de diesel brandstofkosten bij een conventionele aandrijving.

### **Gebruikerservaringen**

Er is ervaring met volledig elektrische aandrijving op ca. 50 schepen, waarvan 10 grote schepen (rondvaart). De ervaringen zijn goed, alleen bij grote schepen is de vaartijd nog (te) kort. Daarnaast kan het energieverbruik voor het huishoudelijk verbruik een probleem vormen. Vaak wordt dit opgelost door een generator-set aan boord te nemen. Bij opschaling van het aantal schepen zal een betere elektrische laadinfrastructuur nodig zijn.

### **Toekomstperspectief**

Goed. Accu's en andere elektrische componenten zullen in de toekomst beter beschikbaar komen en tegen lagere kosten. Ook wordt de levensduur steeds beter. In conventionele accu's vinden nog steeds ontwikkelingen plaats, waardoor de capaciteit steeds wat toeneemt. Daarnaast zullen lithium-ion accu's in de toekomst goedkoper worden.

Er zijn ook metaal-lucht "accu's" in ontwikkeling met een veel grotere opslagcapaciteit. Dit zijn feitelijk metaal-lucht brandstofcellen, die evenwel elektrisch opgeladen worden<sup>7</sup>. Verder zijn er innovaties denkbaar om met name de belasting van de verwarming op het elektrisch systeem te verminderen.

---

<sup>7</sup> een voorbeeld hiervan is de zink-lucht accu van ReVolt.

Voor wat betreft de laadinfrastructuur, kan ook het verwisselen van accu's (i.p.v. laden) overwogen worden. Zeker als accu's lichter worden, dan is het wisselen van accu's via een wisselstation wellicht eenvoudiger dan het realiseren van een laadkabel voor elk schip. Eventueel kan dan ook in drukke perioden 2x per dag gewisseld worden. Hier is echter nog geen ervaring mee. Veiligheidsaspecten met betrekking tot o.a. hoge spanningen en kabel connecties zullen in ieder geval gewaarborgd moeten worden.

#### 2.2.4 *Elektrische aandrijving met een brandstofcel als energiebron*

##### **Definitie / omschrijving**

Het schip heeft een elektrische aandrijving, waarbij de elektriciteit geleverd wordt door een brandstofcel. Alhoewel waterstof meestal als brandstof gebruikt wordt zijn ook (directe)methanol brandstofcellen in opkomst.

##### **Luchtverontreinigende emissies**

Bij de brandstofcelaandrijving met waterstof als brandstof zullen de directe luchtverontreinigende emissies nul zijn. Eventueel kan rekening gehouden worden met de emissies van de fabriek om waterstof te produceren.

##### **Energieverbruik en CO2 emissies**

Bij de brandstofcelaandrijving moet de CO2 emissie en het energieverbruik van 'bron tot schroef' bekeken worden. Het resultaat hangt sterk af van de grondstof en de productiemethode van het gebruikte waterstof. Een CO2 reductie is doorgaans alleen mogelijk bij de inzet van een duurzame bron (wind-, zonne-energie of biomassa) voor de productie van waterstof.

##### **Toepasbaarheid**

Op dit moment is het nog niet toepasbaar, omdat er geen tankstation is. Door combinatie van het tankstation met die voor de Amsterdamse waterstof OV bussen, zou hier verandering in kunnen komen.

##### **Kosten**

De kosten van de brandstofcel aandrijving zijn op dit moment nog zeer hoog, vooral omdat de technologie voor schepen nog sterk in ontwikkeling is en daardoor sterk over gedimensioneerd moet worden met extra meetinstrumenten en beveiligingen om aan de huidige regelgeving te voldoen. Een ordegrrootte voor de hybride waterstof aandrijflijn is 500.000 EUR of meer.

De kosten kunnen niet los gezien worden van de kosten van het tankstation, welke al snel een investering vergt van enkele miljoenen Euro's. Mede daardoor zijn de initiële kosten van H2 minimaal enkele malen hoger dan die van diesel brandstof.

##### **Gebruikerservaringen**

De technologie wordt nog als experimenteel ervaren. Er is één rondvaart schip gebouwd. Deze kan nog niet gebruikt worden vanwege het ontbreken van een waterstof tankstation. Er rijden momenteel wel twee brandstofcelbussen bij het GVB in Amsterdam. De bussen rijden in de normale dienstregeling (lijn 22).

##### **Toekomstperspectief**

Onzeker. De hoge kosten van de aandrijflijn en de infrastructuur vormen een belemmering. Er zal nog tamelijk veel ontwikkeling nodig zijn aan de aandrijflijn van

het schip. Alleen als een aantal stakeholders er volledig voor gaan, dan zou het op termijn een goede optie kunnen zijn voor schepen zonder luchtverontreinigende emissies. Momenteel is er wel meer aandacht voor personenauto's op waterstof. Indien dit leidt tot investeringen in de infrastructuur in Amsterdam, dan worden ook de kansen voor bedrijfseconomische exploitatie van waterstofboten aanzienlijk gunstiger.

Dan nog kan een volledige elektrisch boot een economischer alternatief zijn. Het ketenrendement van een elektrische aandrijflijn is doorgaans gunstiger dan die van waterstof.

Als alternatief voor waterstof komt bijvoorbeeld de methanol brandstofcel in aanmerking. De distributie van methanol is eenvoudiger dan die van waterstof.

## 2.3 Schonere brandstof

Er wordt onderscheid gemaakt tussen directe vervangers voor dieselbrandstof (paragraaf. 2.3.1) of brandstoffen welke ook een andere motortechnologie nodig hebben (paragraaf. 2.3.2).

### 2.3.1 *Schonere dieselbrandstof*

#### **Definitie / omschrijving**

Dieselbrandstof is feitelijk al behoorlijk schoon, vooral als het vergeleken wordt met de dieselbrandstof van enkele decennia terug. Dit komt met name vanwege de strengere eisen aan de brandstofkwaliteit. Vooral het zwavelgehalte is sterk teruggebracht van ca. 2000 ppm in 1990 tot minder dan 10 ppm nu. Dit heeft een gunstige invloed de uitstoot van 'deeltjes' ofwel fijnstof. Daarnaast is ook het aandeel aromatics (cyclische koolwaterstoffen) teruggedrongen. Desalniettemin zijn nog 'schonere' dieselbrandstoffen mogelijk. Deze bevatten nog minder zwavel en aromaten en hebben daarnaast een hoger 'cetaangetal' waardoor de verbrandingseigenschappen verbeteren.

De volgende brandstoffen komen in aanmerking:

- GTL (Gas To Liquid):  
Een synthetische dieselbrandstof welke gemaakt wordt uit aardgas.
- Biodiesel:  
Dit is een veresterde plantenolie, doorgaans aangeduid met FAME (Fatty Acid Methyl Ester).
- HVO ofwel "Hydrotreated Vegetable Oil":  
Dit is een synthetische biobrandstof, waarbij plantenolie met een waterstofbehandeling wordt omgezet in een hoge kwaliteit synthetische dieselbrandstof.
- BTL (Biomass to Liquid):  
Hierbij wordt biomassa omgezet in een hoge kwaliteit dieselbrandstof. BTL is helaas nog niet commercieel verkrijgbaar.

#### **Luchtverontreinigende emissies**

GTL en HVO verlagen de luchtverontreinigende emissies, NOx en fijnstof, met zo'n 10% tot 20%. Conventionele 'biodiesel' geeft over het algemeen een grotere reductie in fijnstof, maar vaak juist een toename in de NOx emissie.

#### **Energieverbruik en CO2 emissies**

GTL heeft een vergelijkbare CO<sub>2</sub> emissie als gewone dieselbrandstof. Als de CO<sub>2</sub> emissie van bron tot schroef bekeken wordt (dus inclusief de productie van de brandstof uit aardgas), dan kan er een kleine toename in de CO<sub>2</sub> emissies zijn (tot ca. 5%). Bij de biobrandstof varianten, biodiesel en HVO, kan er afhankelijk van de productiemethode en de oorspronkelijke bestemming van de landbouwgrond, sprake zijn van een daling van de CO<sub>2</sub> emissies. Bij BTL zijn er goede opties om de CO<sub>2</sub> emissie te verminderen, alleen wordt er voorlopig nog geen significante productiecapaciteit verwacht van deze brandstof.

### **Toepasbaarheid**

De dieselvangers zijn over het algemeen zowel in bestaande als nieuwe schepen heel goed toe te passen. Het is wel van belang om dit met de leverancier van de motor af te stemmen. Over het algemeen staan de leveranciers positief t.o.v. de synthetische varianten (GTL, HVO, BTL) en wat minder positief t.o.v. de conventionele biodiesel. Voor de laatste kan een aangepast onderhoudsschema geadviseerd worden met bijvoorbeeld frequentere motorolie verversing. De autonomie van de boot en veiligheid worden niet of nauwelijks aangetast.

### **Kosten**

De dieselbrandstofvangers zijn allemaal wat duurder dan gewone diesel. Voor GTL geldt een meerprijs vanaf ca. 15 cent/liter. Dit is wel afhankelijk van de leverancier en de hoeveelheid brandstof welke afgenomen wordt. Voor de overige brandstofopties is de meerprijs al snel het dubbele. Voor een biobrandstof kunnen de meerkosten oplopen tot zo'n 50 cent/liter. Voor conventionele biodiesel wordt vaak het onderhoudsschema aangepast, hetgeen eveneens tot wat hogere kosten leidt. Voor alle dieselbrandstofvangers geldt, dat er geen of zeer lage initiële investeringskosten zijn.

### **Gebruikerservaringen**

GTL: positief

Biodiesel: reuk van de uitlaatgassen kan negatief zijn.

### **Toekomstperspectief**

GTL, HVO en biodiesel zijn goed beschikbaar en dat zal naar verwachting ook zo blijven. BTL is nog niet beschikbaar. Naar verwachting zal dat de komende 10 jaar ook nauwelijks veranderen.

## **2.3.2 *Alternatieve brandstof***

### **Definitie / omschrijving**

De volgende alternatieve brandstoffen komen in aanmerking:

- Aardgas:  
Aardgas vereist een speciale motor, over het algemeen voorzien van vonkontsteking. Aardgas kan in de vorm van CNG (gecomprimeerd) of LNG (Liquefied Natural Gas, vloeibaar) worden opgeslagen. Aangezien CNG voldoende autonomie lijkt te geven, gaat daar de voorkeur naar uit. Dat is gemakkelijker voor de tankinfrastructuur.
- LPG:  
Dit vereist net als aardgas een speciale motor met vonkontsteking. Het octaangetal is echter wel lager, waardoor het wat lastiger is toe te passen. Daarnaast zijn er veiligheidsaspecten aan de tankstations (opslag flinke



- hoeveelheid vloeibaar gas) als ook aan de toepassing op het schip, waardoor LPG toch minder populair is dan aardgas.
- Voor zowel aardgas als LPG kan eventueel een dual fuel motor toegepast worden. Hierbij wordt 30% tot 80% van de dieselbrandstof vervangen door aardgas. De dieselbrandstof zorgt voor de ontbranding.
  - Di-Methyl Ether (DME):  
Dit is net als LPG een vloeibaar gas, maar het is zeer geschikt voor zelfontsteking in een dieselmotor. Het vereist echter wel een speciale motor, welke nog niet (commercieel) beschikbaar is.

Bij de volgende paragrafen ligt het zwaartepunt vrijwel volledig bij aardgas, omdat LPG en DME niet overwogen worden of niet beschikbaar is (DME).

### **Luchtverontreinigende emissies**

De luchtverontreinigende emissies kunnen aanzienlijk beter zijn dan die van de dieselmotor, maar voor NOx is dit wel sterk afhankelijk van de toegepaste motortechnologie. In de vermogensklasse van de rondvaart worden af fabriek geen aardgas (of LPG) motoren geleverd, vandaar dat het in kleine serie omgebouwde motoren zullen zijn. Het verdient de aanbeveling om emissieprestaties van deze motoren in de praktijk te controleren.

Bij dual-fuel motoren is de eventuele reductie in luchtverontreinigende emissies t.o.v. diesel veel minder waarschijnlijk.

### **Energieverbruik en CO2 emissies**

Dit is afhankelijk van de toegepaste technologie en de gebruikscyclus.

Over het algemeen is het energieverbruik van motoren met vonkontsteking iets hoger dan die van dieselmotoren. Daardoor wordt voor aardgas en LPG per saldo geen reductie in CO2 emissie verwacht, tenzij voor aardgas biogas wordt ingezet. Bij diesel-aardgas dual fuel motoren is wel een reductie in CO<sub>2</sub> te verwachten, bij een vrijwel gelijk blijvend energieverbruik.

### **Toepasbaarheid**

Aardgas wordt in Amsterdam op 12 rondvaartschepen toegepast. Het wordt niet geschikt geacht voor retrofit gezien de vele aanpassingen aan het schip. Speciale aandacht vraagt het aardgastankstation.

### **Kosten**

De meerprijs voor een aardgasinstallatie inclusief motor, aardgastanks en inbouw komt op ongeveer EUR 50.000,-.

De brandstofkosten zullen naar verwachting 0 tot 10% lager uitvallen (t.o.v. een conventionele dieselmotor) door de lagere brandstofprijzen. De onderhoudskosten zouden iets hoger kunnen zijn, dan die van een standaard CCR2 dieselmotor.

### **Gebruikerservaringen**

In Amsterdam varen 12 rondvaartschepen op aardgas gebruik makend van 1 vulstation. Het wordt als betrouwbare en bewezen technologie ervaren, met daarbij de volgende kanttekeningen:

- Tanken is relatief frequent nodig (elke 2 dagen).
- Ruimtebeslag van de tanks aan boord is aanzienlijk.

### **Toekomstperspectief**

Het perspectief van aardgas zal afhangen van de meer- of minderkosten in relatie tot de alternatieven. De concurrentie zal toenemen, omdat er ook schone dieselmotoren beschikbaar zullen komen. Daarnaast wordt ook meer concurrentie verwacht van de volledig elektrische aandrijving. Er kan ook gedacht worden aan de combinatie van een gasmotor met een elektrische of hybride aandrijflijn.

LPG en DME zullen minder toekomstperspectief hebben dan aardgas. Vooral vanwege de benodigde infrastructuur voor het tanken. Daarnaast zullen DME motoren waarschijnlijk niet beschikbaar komen.

## 3 Discussie

### 3.1 Vergelijking van opties

In het vorige hoofdstuk zijn een flink aantal technologieën en brandstofopties voor het verlagen van de milieubelasting van rondvaartboten besproken. In de onderstaande tabel is per maatregel een korte karakterisering gegeven.

Maatregel	Karakterisering
Toepassing CCR2 dieselmotor	Praktische optie, vooral indien toch al een motorvervanging gewenst is. Beperkte invloed op emissies.
Toepassing Stage IIIB of CCR4 dieselmotor	Praktische optie met gunstige invloed op emissies, vooral indien toch al een motorvervanging gewenst is. Stage IIIB motor moet wat aangepast worden om deze geschikt te maken voor scheepstoepassing. Belangrijk om NOx emissies in de praktijk te controleren.
Dieselnabehandeling en emissiecontrole systeem	Een roetfilter heeft het erg moeilijk vanwege de lage uitlaatgastemperatuur in de praktijk. Daarom wordt een actief regeneratiesysteem aanbevolen. EGR + roetfilter lijkt succesvol, maar zal waarschijnlijk slechts voor enkele motortypen leverbaar zijn. Roetfilter + een SCR katalysator zal niet automatisch goed functioneren. Dit moet eerst goed getest worden.
Diesel-elektrische aandrijving	Voorhandig voor het hotelbedrijf. Mogelijkheid om motor beter te belasten, waardoor emissiecontrole systemen beter kunnen functioneren.
Hybride aandrijving	Veel configuraties mogelijk zoals een relatief grote dieselmotor met relatief kleine accu en vice versa. Tevens wel of geen walaansluiting om de accu's op te laden. Grote aanpassingen aan het schip vereist. Gezien de kosten meer geschikt voor grotere schepen.
Vol-elektrische aandrijving met accu's als energiebron	Goede optie voor sloep en salonboot. Voor rondvaartboot is de gebruiksduur mogelijk te kort, maar dit kan in de toekomst veranderen door het beschikbaar komen van betaalbare accu's met grote opslagcapaciteit.
Vol-elektrische aandrijving met brandstofcel als energiebron	Nog niet commercieel toepasbaar. Lastige tank infrastructuur met waterstof.
Aardgas motor	Grote aanpassingen aan het schip vereist, vanwege de opslag van aardgas. Gezien de kosten meer geschikt voor grotere schepen.
GTL	Makkelijk te implementeren optie voor vrijwel alle categorieën. Wel met een relatief beperkte invloed op de emissies.
Biobrandstof	Makkelijk te implementeren, maar wel afhankelijk van het type biobrandstof: synthetisch of conventioneel.

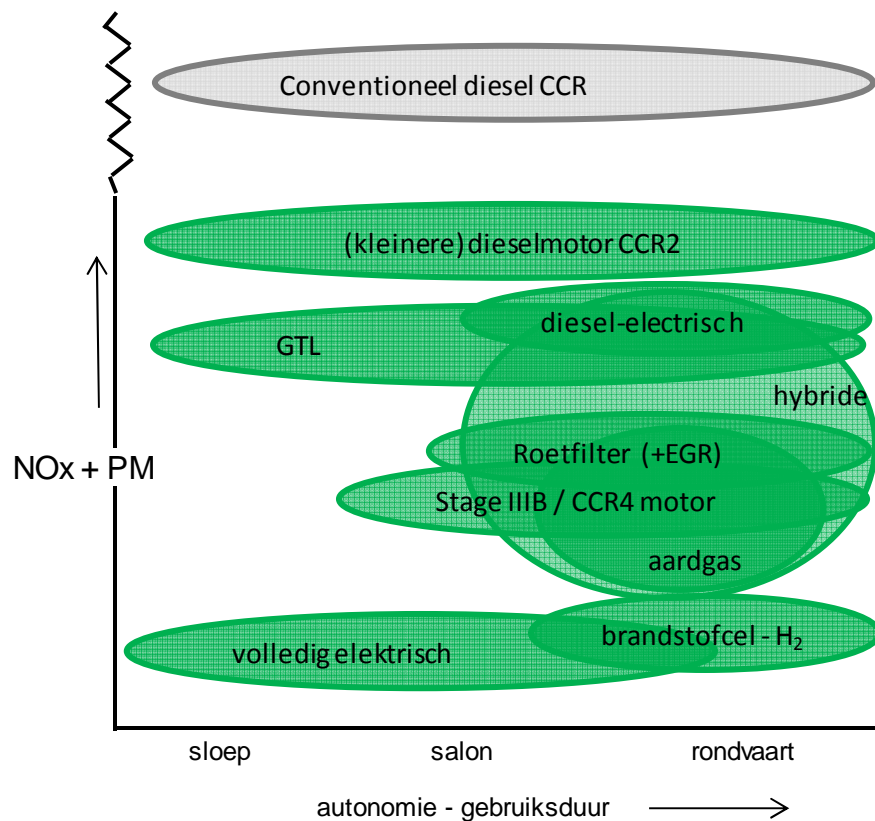
Sommige technologieën zijn met weinig inspanning toe te passen op bestaande schepen, terwijl andere technologieën een compleet nieuwe aandrijflijn en

energieopslag vergen. Daarnaast verschillen de opties met betrekking tot de milieuaspecten, de kosten (investering en gebruikskosten) en de mogelijke invloed op de gebruiksduur (autonomie). In de tabel 3.1 is per technologie een globale beoordeling gegeven op de genoemde gebieden.

Tabel 3.1 Expert view vergelijking technische maatregelen voor rondvaartboten op toepasbaarheid, milieuaspecten en kosten. + positief o neutraal - negatief.

	Toepasbaarheid		Milieuaspecten		Kosten		autonomie	Gebruiks-ervaring
	Nieuw schip	Retrofit	CO2	Schadelijke emissies	investering	gebruik		
CCR2 dieselmotor	+	+	o	+	o	o	o	+
Stage 3B / CCR 4 dieselmotor	+	o / +	o	++	- / o	o	o	?
nabehandeling	-/+	-/+	o	+	-	- / o	o	-
Diesel-elektrische aandrijving + CCR2	+	-	o	+/++	-	-	o	+
Hybride aandrijving + CCR2	+	-	o / +	+/++	--	- ?	o	?
Vol-elektrische aandrijving	+	-	?	+++	--	+	- / o	+ / -
Aardgas	+	-	o / +	+/++	-	o	o	+
GTL + CCR1	+	+	o	+	o	-	o	+
Biobrandstof HVO + CCR1	+	+	+	+	o	- / --	o	?
Biodiesel + CCR1	o / +	o / +	+	o / +	o	- / --	o	-
Brandstofcel / waterstof	-	--	o	+++	--	--	o	--

In figuur 3.1 is, mede aan de hand van de informatie uit het kennisnetwerk, een expert view gegeven van de milieueffecten en de toepasbaarheid voor de verschillende categorieën schepen. Hierbij spelen zowel technische als economische factoren een rol. De som van NOx en 'particulate matter' (ofwel fijnstof/deeltjes) is hierbij de maat voor het milieueffect. Horizontaal staat autonomie of gebruiksduur. Dit loopt min of meer gelijk op met de grootte van de boot en de hoeveelheid mee te nemen energie. De meeste opties zijn technisch ook mogelijk voor de sloep, maar dit wordt niet aanbevolen vanwege de kosten.



Figuur 3.1 Expert view toepasbaarheid technische maatregel en milieueffect.

### 3.2 Prestaties in de praktijk

De prestaties van technologieën kunnen vrij sterk bepaald worden door de specifieke inzet in de rondvaart. Deze wordt gekarakteriseerd door het meestal langzaam varen met laag vermogen (maximum snelheid binnen de grachten is 7 km/h), maar het daarbij wel beschikbaar moeten hebben van een hoog vermogen voor het afremmen van de boot. Door dit lage gemiddelde vermogen kunnen bijvoorbeeld diesel-elektrische of hybride aandrijflijnen voordelen bieden. Daarentegen is het functioneren van een roetfilter veel lastiger door de specifieke inzet. Ook nieuwe diesel- of gasmotoren welke voldoen aan de nieuwste normen presteren daardoor niet vanzelfsprekend goed. Bij Euro V diesel vrachtauto's is bijvoorbeeld vastgesteld dat de NOx emissies in de stad vaak veel hoger waren dan je op grond van de limietwaarden zou verwachten<sup>8</sup>. Dit heeft eveneens te maken met een lage belasting. Het zal dus belangrijk zijn de emissieprestaties in de praktijk op te nemen in het eisenpakket en ook in de praktijk te controleren.

### 3.3 Infrastructuur

Voor een aantal maatregelen moeten zullen aanpassingen aan de infrastructuur voor de energievoorziening nodig zijn. In tabel 3.2 is overzicht gegeven van de

<sup>8</sup> Real world NOx emissions of Euro V vehicles, Ruud Verbeek, Robin Vermeulen, Willar Vonk, Henk Dekker: TNO report MON-RPT-2010-02777, November 2010.

mate waarin er een nieuwe of aangepaste brandstofvoorziening nodig is. Om in de toekomst succesvol een bepaalde richting op te gaan, is het waarschijnlijk nodig dat er centraal sturing op zo'n nieuwe infrastructuur komt.

Tabel 3.2 impact op infrastructuur aan de wal (energievoorziening)

Impact op infrastructuur	Technische maatregel
Geen impact	Schone dieselmotor, nabehandeling, diesel-elektrisch, diesel hybride zonder "plug in"
Beperkte impact	GTL, biobrandstof
Kleine aanpassingen nodig	Diesel hybride met "plug in" Aardgasmotoren: aardgastankstation nodig. Er wordt frequenter getankt.
Forse impact Nieuwe infrastructuur nodig	Elektrische vaartuigen: Voor vrijwel elke boot is een aparte aansluiting nodig of een accuwisselsysteem. Het energieverbruik van rondvaartboten is dermate groot dat waarschijnlijk aanpassingen aan het netwerk nodig zullen zijn.  Waterstof: waterstoftankstation nodig. Locatie keuze kan lastig zijn i.v.m. veiligheidsvoorschriften.

### 3.4 Implementatie van nieuwe technologie

Het overschakelen naar schone technologieën voor de Amsterdamse rondvaartbranche is iets dat gemakkelijk een tiental jaar of zelfs enkele tientallen jaren in beslag kan nemen.

Figuur 3.2 is in de tijd weergegeven, welke technologieën in welke periode geïntroduceerd kunnen worden. Niet alle opties zijn weergegeven. Er is bewust voor gekozen om het aantal technologie opties zoveel mogelijk te beperken. Ten aanzien van de overige technologie en brandstofopties worden de volgende opmerkingen gemaakt:

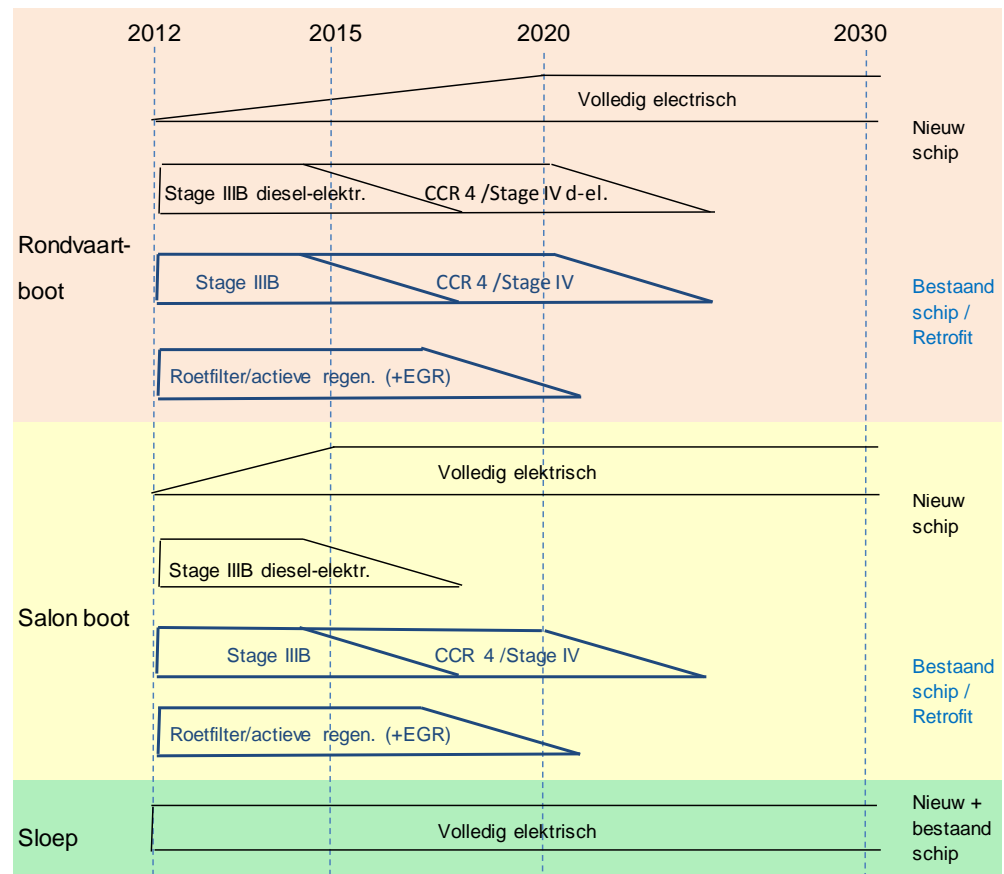
- Het gebruik van GTL of HVO synthetisch dieselbrandstof, helpt met het verlagen van de luchtverontreinigende emissies. Bij oudere motoren heeft dat het meeste nut.
- In plaats van dieselmotoren kunnen eventueel aardgas/biogas motoren in nieuwe schepen toegepast worden. De voordelen in uitstoot van luchtverontreinigende emissies zullen echter afnemen omdat de uitstoot van nieuwe dieselmotoren ook snel afneemt.
- Roetfilters met actieve regeneratie, al dan niet in combinatie met EGR (uitlaatgasrecirculatie), zouden met succes toegepast kunnen worden.
- Brandstofcel aandrijving met waterstof als brandstof wordt niet aangeraden, omdat de infrastructuur complexer is dan voor de elektrische aandrijving met accu's en ook omdat nog nauwelijks producten commercieel verkrijgbaar zijn.

Een goed plan en een zeer goede informatievoorziening naar de rederijen en toeleveranciers zal zeker een positieve bijdrage leveren aan de introductie van deze nieuwe technologieën.

Bij het overschakelen naar milieuvriendelijkere schepen, zullen voor de rederij of eigenaar van de schepen een aantal factoren meespelen:

1. Wat is de business case?  
welke voordelen (bijvoorbeeld lagere brandstofkosten en imagovoordelen) staan er tegenover de investering welke gedaan moet worden.
2. Wat is de zekerheid dat de beloofde prestaties gehaald worden in de praktijk en dat de inzetbaarheid van de nieuwe technologie volledig aan de eisen voldoet?
3. Is de infrastructuur beschikbaar en is er voldoende zekerheid over de brandstof- c.q. energiekosten op lange termijn?

Voor de eerste twee aspecten is het vooral nodig om zorgvuldig de aandrijving van schepen te ontwerpen en te testen in de praktijk. Vervolgens zal die informatie in voldoende detail beschikbaar moeten komen, zodat andere reders en scheepseigenaren een mening kunnen vormen. Om voldoende duidelijkheid te verschaffen over punt 3, de infrastructuur, zal er een centraal onderzoek en sturing nodig zijn. Zo'n onderzoek zou in nauwe samenwerking met de branche uitgevoerd moeten worden.



Figuur 3.2. Aanbeveling voor de focus van schone aandrijftechnologie voor de Amsterdamse commerciële vloot.

## 4 Conclusies en aanbevelingen.

Met betrekking tot het schoner maken van de Amsterdamse commerciële vloot van passagiersschepen, kan het volgende geconcludeerd worden:

- De afgelopen 20 jaar is al veel ervaring op gedaan met een groot aantal technologieën om de luchtverontreinigende emissies te reduceren.
- Er is daarbij al een vrij duidelijk beeld ontstaan over welke technologieën goed bruikbaar zijn.
- Het ontbreekt echter wel aan een duidelijke kwantificering van de effecten op het milieu en de kosten versus de baten.
- De uitstootvrije volledig elektrische aandrijving (met accu's) heeft reeds een groot aandeel bij salonboten en sloepen en een beperkt aandeel bij de rondvaartboten.
- De toepassing van aardgas wordt zeker als succesvol ervaren. Deze optie wordt echter minder belangrijk vanwege de toenemende beschikbaarheid van elektrische aandrijvingen en af-fabriek schone dieselmotoren.
- De toepassing van waterstof met brandstofcelaandrijving wordt nog als te experimenteel gezien, mede vanwege veiligheidsvoorzieningen en een moeilijk te realiseren tank infrastructuur.

Voor bestaande schepen worden met name de volgende opties voor het verlagen van de uitstoot aanbevolen:

- Vervanging van de bestaande dieselmotoren door, zo mogelijk kleinere, Stage IIIB, Stage IV of CCR4 motoren of zo mogelijk door een volledig elektrische aandrijving (met accu's).
- Toepassen van GTL of HVO synthetische dieselbrandstof.

Voor nieuwe schepen wordt aanbevolen om zoveel mogelijk gebruik te maken van de volledig elektrische aandrijving (met accu's). Voor de intensieve rondvaart kan een hybride elektrische aandrijving overwogen worden, waarbij naast accu's een kleine dieselmotor het schip van extra energie voorziet.

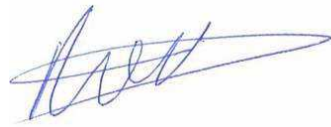
Voorgesteld wordt om, in nauwe samenwerking met de rondvaart branche, de volgende werkzaamheden uit te voeren:

- Het meten van de uitstoot van NOx en fijnstof van de schone dieselmotoren in de praktijk.
- Het opzetten van een kwantitatieve analyse, waarbij per scheepstype en per technologie de vermindering van de uitstoot in kaart gebracht wordt in relatie tot de kosten (investering + gebruik).
- Het toetsen van de roadmap waarin per scheepstype de beste opties voor de middellange en lange termijn in beeld worden gebracht (zie Figuur 3.2). Met daarin tevens:
  - het in kaart brengen van eventuele eisen aan de infrastructuur (walvoorzieningen)
  - het kwantificeren van het aantal bestaande en nieuwe schepen, dat van een schone aandrijving voorzien kan worden (of reeds is voorzien).
- Het in kaart brengen van gewenste stimuleringsregelingen.

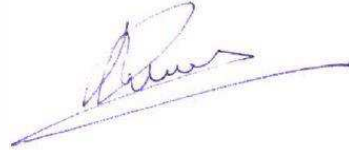


## 5 Ondertekening

Delft, 30 oktober 2012

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Pim van Mensch', with a long horizontal stroke extending to the right.

Pim van Mensch  
Projectleider

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ruud Verbeek', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ruud Verbeek  
Auteur

## A Overzicht praktijkervaring nieuwe technologieën in bij rondvaarrederijen

Bron: Notulen M. Kok: Verslag overleg met enkele grote rondvaartrederijen en met wethouder Eric Wiebes over verschoning van de rondvaart. Datum 25 april 2012.

Canal Companie	<p>Totaal 42 schepen, waarvan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 13 rondvaartschepen op aardgas</li> <li>- 3 rondvaartschepen diesel-elektrisch</li> <li>- 9 sloepen volledig elektrisch</li> <li>- Enkele boten met CCR2 motor</li> </ul> <p>In ontwikkeling:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rondvaartschip met roetfilter</li> <li>- Diesel-elektrisch met Stage IIIB motor</li> </ul>
Kooij groep	<p>Totaal 19 schepen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alle schepen op GTL</li> <li>- Ervaring in het verleden met biodiesel</li> </ul>
Lovers	<p>Totaal 13 rondvaartschepen, waarvan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 op brandstofcelboot op waterstof</li> <li>- 1 elektrische plonsboot</li> <li>- Recent verschillende motoren vervangen door CCR2 motoren</li> </ul>
Blue Boot Company	<p>Totaal 15 rondvaartboten, waarvan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 volledig elektrisch</li> <li>- 4 met CCR2 motor</li> </ul> <p>In ontwikkeling:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diesel elektrisch rondvaartschip met Stage IIIB motor ('CCR3')</li> </ul>