

DUURZAAMHEID KUSTVERDEDIGING

Kosteneffectiviteit van duurzaamheidsmaatregelen en monitoringsplan

| S. de Vos, L. Kootstra en R. Verbeek

Datum: 03-01-2018

TNO innovation
for life

COLOFON

Projectnaam: Duurzame kustverdediging. Kosteneffectiviteit van duurzaamheidsmaatregelen en monitoring van brandstoffen en Emissies

Datum: 03-01-2019

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Grote Projecten en Onderhoud, afd. Innovatie en Markt

Opdrachtnemer: TNO

Projectnummer TNO: 060 36475

Versienummer: Definitief 2019

INHOUD

- › Aanleiding
- › Deel A: [Kosteneffectiviteit van investeringsmaatregelen](#)
 - › Aanpak: maatregelen en beoordelingscriteria
 - › Resultaten
 - › Samenvatting en conclusies
- › Deel B: [Doelen op duurzaamheid](#)
- › Deel C: [Monitoringsplan](#)
 - › Doel – inleiding
 - › Brandstofverbruik monitoring
 - › Monitoring luchtverontreinigende emissies
 - › Conclusies
- › Deel D: [Bijlagen](#)

AANLEIDING EN DOEL

- › In de Beslisnota 'Duurzaam inkopen kustlijnzorg' wordt de ambitie omschreven om EMVI criterium op duurzaamheid te introduceren binnen kustlijnzorg en daarin wordt omschreven, dat:
 - › “..de markt is verdeeld over de te behalen brandstof reductie,
 - › ..er mist nog een langjarig perspectief op doelstelling duurzaamheid,
 - › ..er is onvoldoende inzicht in effect op kosten van duurzaamheidsmaatregelen.”
- › **Doel RWS 2018:** sector gedragen, middellange termijn aanpak (innovaties kustlijnzorg; IKZ) voor kosteneffectief behalen van duurzaamheidsdoelstelling, waarvan aanpak toepasbaar is op korte termijn (regulier kustonderhoud).
- › Daarvoor is:
 - › inzicht in kosteneffectiviteit van verschillende maatregelen nodig om investeringen te sturen;
 - › betrouwbaar meten van brandstofgebruik een cruciale randvoorwaarde.
- › **Onderzoek TNO: inzicht in kosteneffectiviteit en monitoring brandstofgebruik**

DEZE PRESENTATIE

- › *Deze presentatie* geeft de resultaten van:
 - › De kosteneffectiviteit van verschillende duurzaamheidsmaatregelen toepasbaar op baggerschepen (deel A) en vergeleken met referentie MDO.
 - › Maatregelen gericht op nabehandeling van emissies of duurzame brandstoffen.
 - › Een kwalitatieve verkenning naar elektrificatie (incl. inzet waterstof).
 - › De opzet van een monitoringsplan dat kan worden ingezet in de ontwikkeling van gedragen methode om duurzaamheid voor kustverdediging te monitoren (deel B).

- › *Brongegevens:* De resultaten over milieuprestatie zijn gebaseerd op al bestaande studie van TNO uit 2016 en aangevuld voor kosten, nabehandeling, GTL en (bio)-LNG met expert judgement van TNO. Zie bijlage voor bronvermelding van de gebruikte gegevens.

DEEL A KOSTENEFFECTIVITEIT AANPAK

KOSTENEFFECTIVITEIT

- › *Wat is kosteneffectiviteit?*
 - › De beste ratio tussen milieuwinst en extra kosten voor duurzaamheidsmaatregelen gezien over periode van 20 jaar. ($\Delta MKI / \Delta \text{€}$, t.o.v. MDO referentie)
- › Motivatie om maatregelen te vergelijken voor een periode van 20 jaar
 - › Maatregelen hebben betrekking op de motoren. De levensduur van een motor is 20 jaar.
 - › uitgangspunt als terugverdientijd voor innovaties die aansluiten bij het programma Innovaties in de Kustlijn zorg (IKZ).

DUURZAAMHEIDSMATREGELEN

- › **Referentie situatie:** gebruik van MDO (Marine Diesel Oil), zie bijlage voor referentie beschrijving.
- › **Duurzaamheidsmaatregelen:**
 - › *Nabehandelingstechnieken* voor reduceren van schadelijke luchtverontreinigingsemissies
 - › **SCR** (selective catalytic reduction; leidt tot reductie van NO_x-emissies)
 - › **SCR + DPF + EN590 ULSF**: combinatie van SCR, roetfilter en gebruik van ultra-low-sulfur diesel (EN 590 ULSD)
 - › *Duurzame brandstoffen*
 - › **HVO** (hydrotreated vegetable oil; grotendeels op basis van 2^{de} generatie feedstocks)
 - › **HVO 30 (80% 2^{de} gen.)**: As-is situatie (worst case): o.b.v. 80% 2^{de} generatie feedstocks en 30% bijgemengd bij MDO
 - › **HVO 50 (100% 2^{de} gen.)**: Toekomst visie (best case): o.b.v. 100% 2^{de} generatie feedstocks en 50% bijgemengd bij MDO
 - › **GTL 100** (gas-to-liquid; synthetische diesel o.b.v. aardgas toegepast in pure samenstelling)
 - › **GTL 100 (aangepast)** Gevoeligheidsanalyse op basis van recentere berekening GTL voor mobiele werktuigen
 - › **LNG** (liquid natural gas; vloeibaar gekoeld (-160°C) aardgas)
 - › **LNG (worst case)** Gevoeligheidsanalyse op methaanemissie tijdens productie en extra emissies in de gebruiksfase
 - › **Bio-LNG** (LNG o.b.v. biomassastromen)
 - › **Bio-LNG (worst case)** Gevoeligheidsanalyse op extra emissies in gebruiksfase

(DIESEL-)ELEKTRISCHE KUSTSUPPLETIE

- › In het IKZ-traject worden elektrische innovaties verwacht die (tenminste een deel) van de brandstof vervangen.
- › De kosten van dergelijke maatregelen zijn niet bekend, maar worden uitgevraagd in de IKZ tender (beoordeling op LCC en MKI).
- › Verschillende mogelijkheden voor elektrificatie verkend, te weten:
 - › **Hybride (dieselelektrisch) varen**
 - › **Volledig elektrisch met accu's**
 - › **Elektrisch opgewekt uit waterstof** (opslag in waterstoftanks)
 - › **Elektrisch opgewekt middels duurzame energie-opwekking op zee**

Aanvullend op de andere duurzaamheidsmaatregelen kwalitatieve aanpak voor aannemelijke (diesel)elektrische oplossingen:

- Indicatief inzicht in de potentiële milieu-impact
- Geen inzicht in kosten

INDICATOREN: MILIEU EN KOSTEN

› Milieu-impact over periode van 20 jaar:

- › Brandstofproductie, transport en verbranding
- › Toerekening van gebruik van infrastructuur, schip, motoren en hardware benodigd voor maatregelen
- › De milieu-impact wordt uitgedrukt in de milieukosten indicator (MKI) en is een gewogen som van schade aan verschillende milieuaspecten.
- › In resultaten wordt de MKI opgedeeld in MKI gerelateerd aan:
 - › **Klimaatverandering /broeikas**effect, uitgedrukt in CO₂- equivalenten. Dit is de embedded broeikasgasemissies over de gehele levenscyclus.
 - › **NO_x, SO_x en fijnstof (PM) emissies** vrijkomend bij de verbranding. Deze emissies dragen bij aan de ondergenoemde onderstreepte milieueffectcategorieën
 - › en de **overige milieueffectcategorieën**:
 - › Uitputting abiotische grondstoffen
 - › Uitputting fossiele energie dragers
 - › Aantasting ozonlaag
 - › Fotochemische oxidantvorming
 - › Verzuring
 - › Vermesting
 - › Humane toxiciteit
 - › Ecotoxiciteit (terrestisch, zoet- en zoutwater aquatisch)

› Kosten binnen tijdsvlak van 20 jaar:

› Investerings

- › **Initiële investeringen** voor toepassen van maatregel t.o.v. referentie. Zowel toepasbaar voor een nieuw als gebruikt schip.
- › **Vervangingen** van de extra installaties

› Operationele kosten

- › **Brandstofkosten** (zonder accijns)
- › **Extra variabele kosten** maatregel (gebruik Adblue of vergelijkbaar) en **extra onderhoudskosten** per kWh t.o.v. referentie.

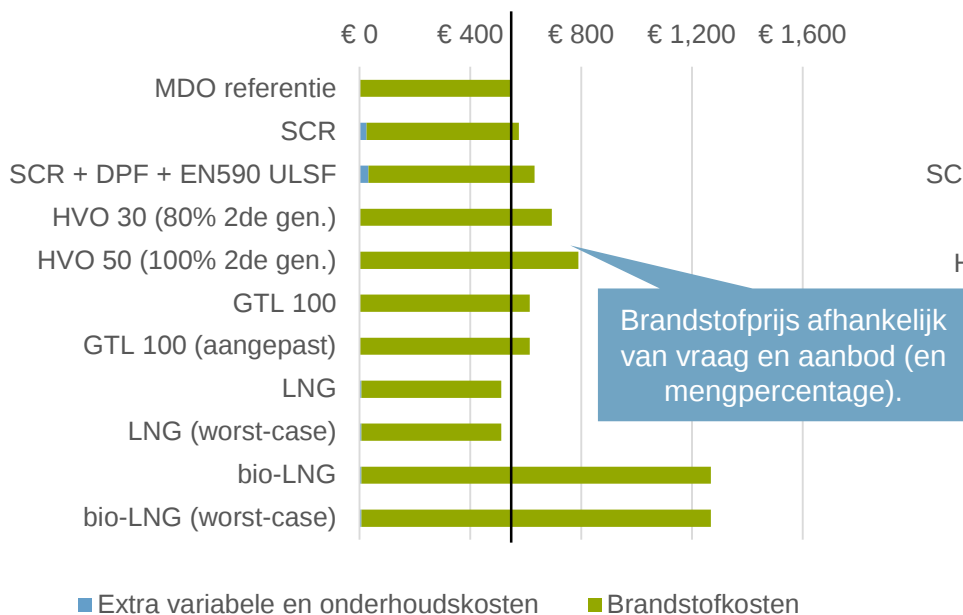
INDICATOR KOSTENEFFECTIVITEIT

- › Kosteneffectiviteit is de beste ratio tussen milieuwinst (ΔMKI) en extra kosten ($\Delta\text{€}$) ten opzichte van de referentie MDO, over periode van 20 jaar: $\Delta\text{MKI} / \Delta\text{€}$, t.o.v. MDO referentie)

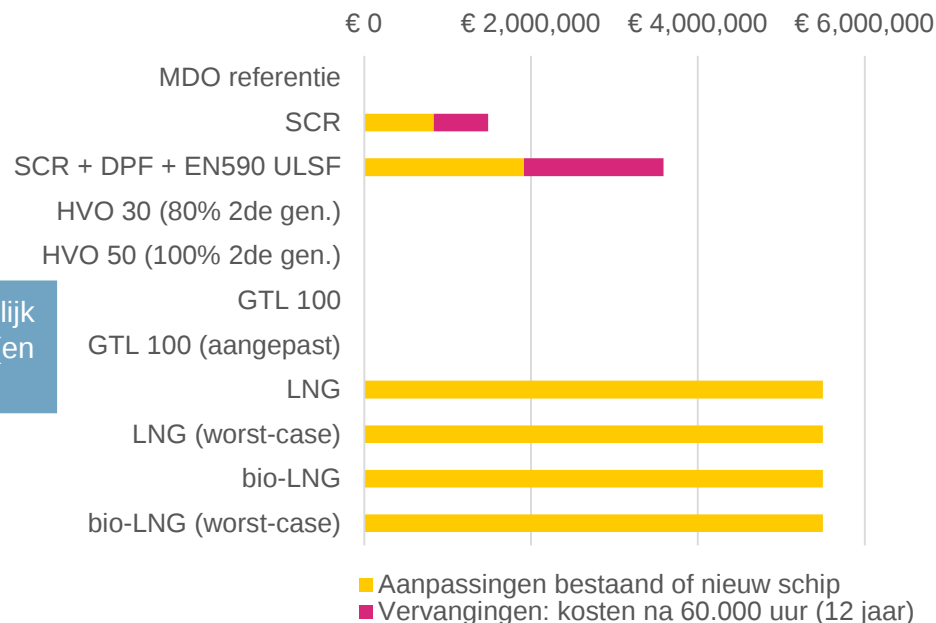
DEEL A KOSTENEFFECTIVITEIT RESULTATEN

OPERATIONELE KOSTEN EN INVESTERINGEN

Operationele kosten per ton brandstof
(€/ton)



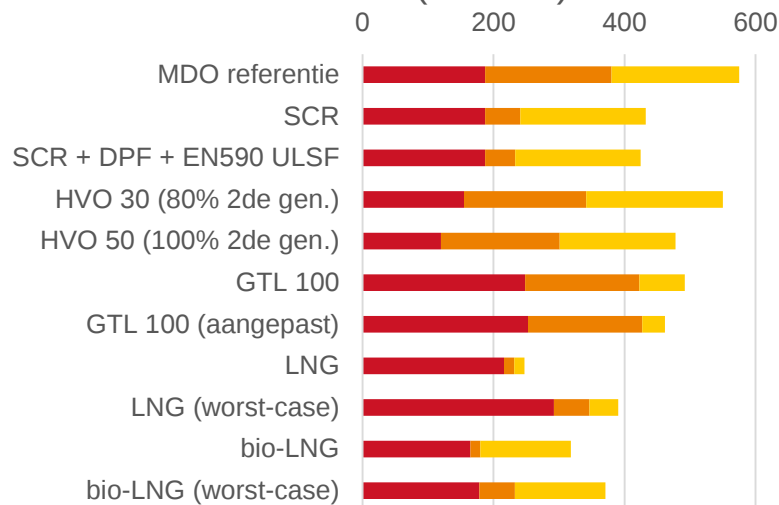
Investeringsen aan schip over 20 jaar (€)



Voor eerlijke onderlinge vergelijking moeten de maatregelen per MJ brandstof worden vergeleken.
Zie bijlage voor omrekenfactor per brandstof.

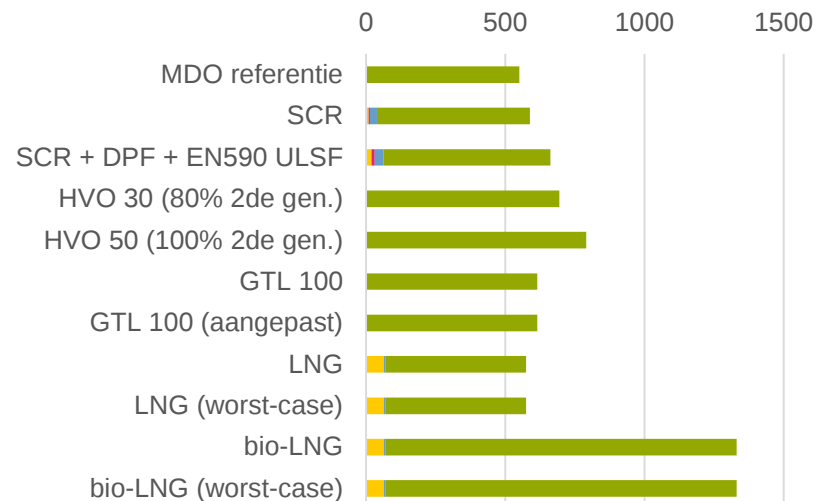
MILIEU-IMPACT EN KOSTEN PER TON BRANDSTOF

Milieu-impact per ton brandstof
(MKI/ton)



- MKI gerelateerd aan klimaatverandering
- MKI gerelateerd aan NOx, SOx en PM verbrandingsemissies
- MKI gerelateerd aan overige milieueffecten

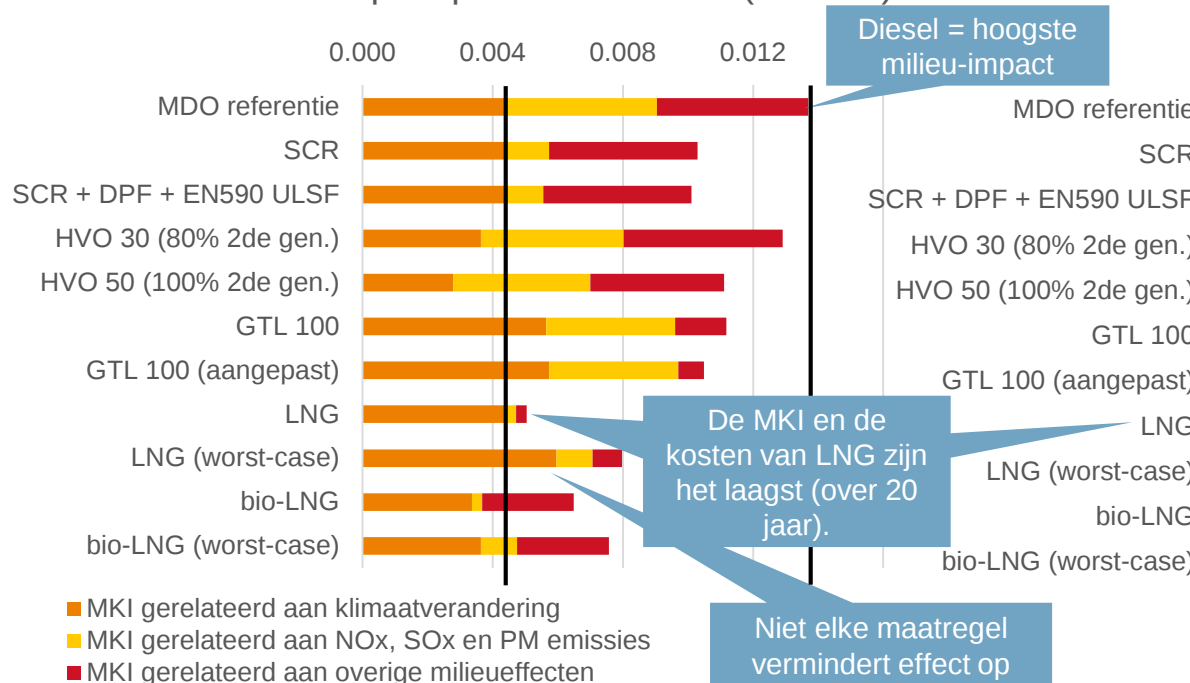
Kosten per ton brandstof (€/ton)



- Initiele investeringskosten
- Vervangingsinvesteringskosten
- Extra variabele en onderhoudskosten
- Brandstofkosten

MILIEU-IMPACT EN KOSTEN PER MJ BRANDSTOF

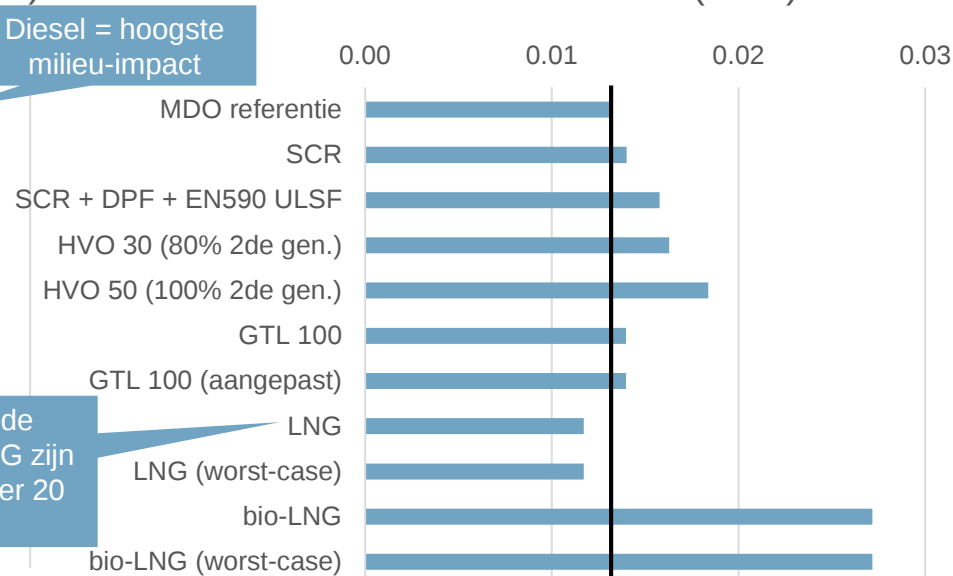
Milieu-impact per MJ brandstof (MKI/MJ)



De MKI en de kosten van LNG zijn het laagst (over 20 jaar).

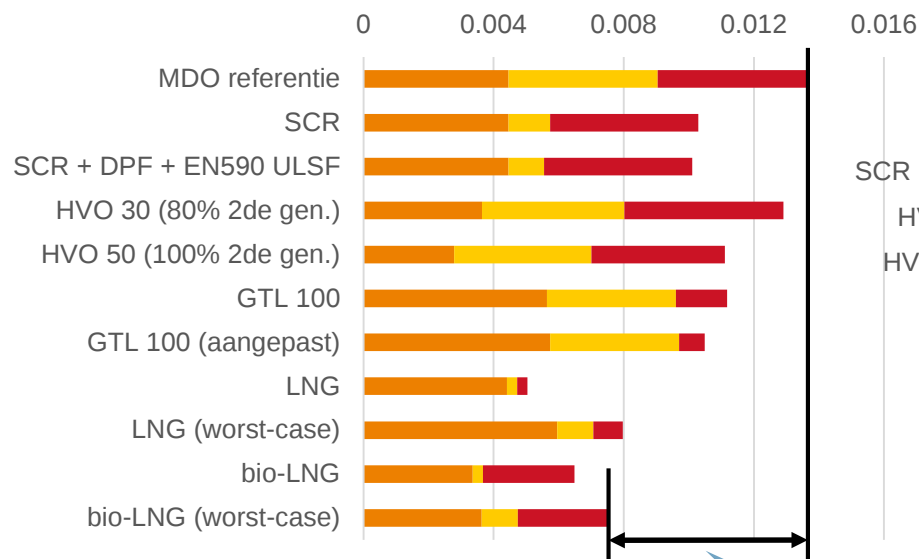
Niet elke maatregel vermindert effect op klimaatverandering.

Totale kosten (€/MJ)



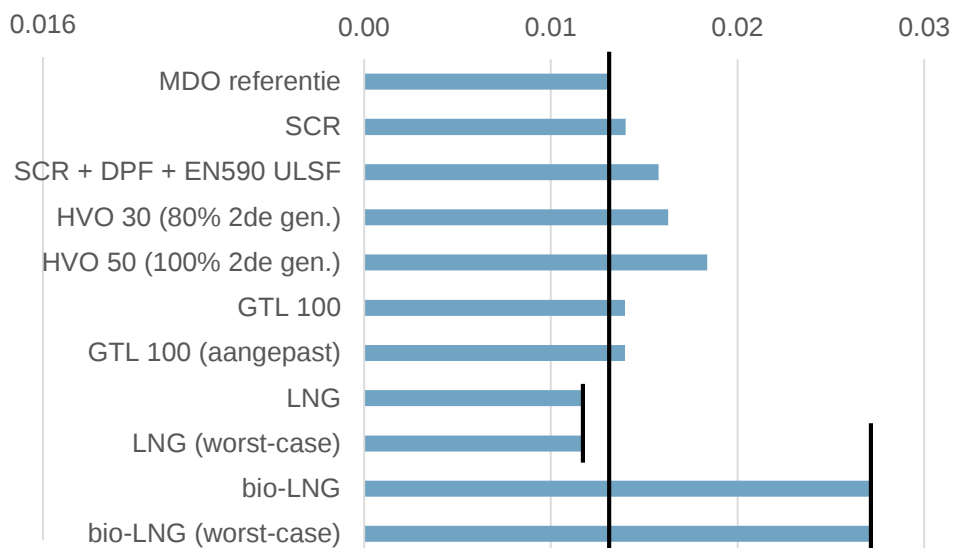
MILIEU-IMPACT EN KOSTEN PER MJ BRANDSTOF

Milieu-impact per MJ brandstof (MKI/MJ)



- MKI gerelateerd aan klimaatverandering
- MKI gerelateerd aan NOx, SOx en PM emissies
- MKI gerelateerd aan overige milieueffecten

Totale kosten (€/MJ)



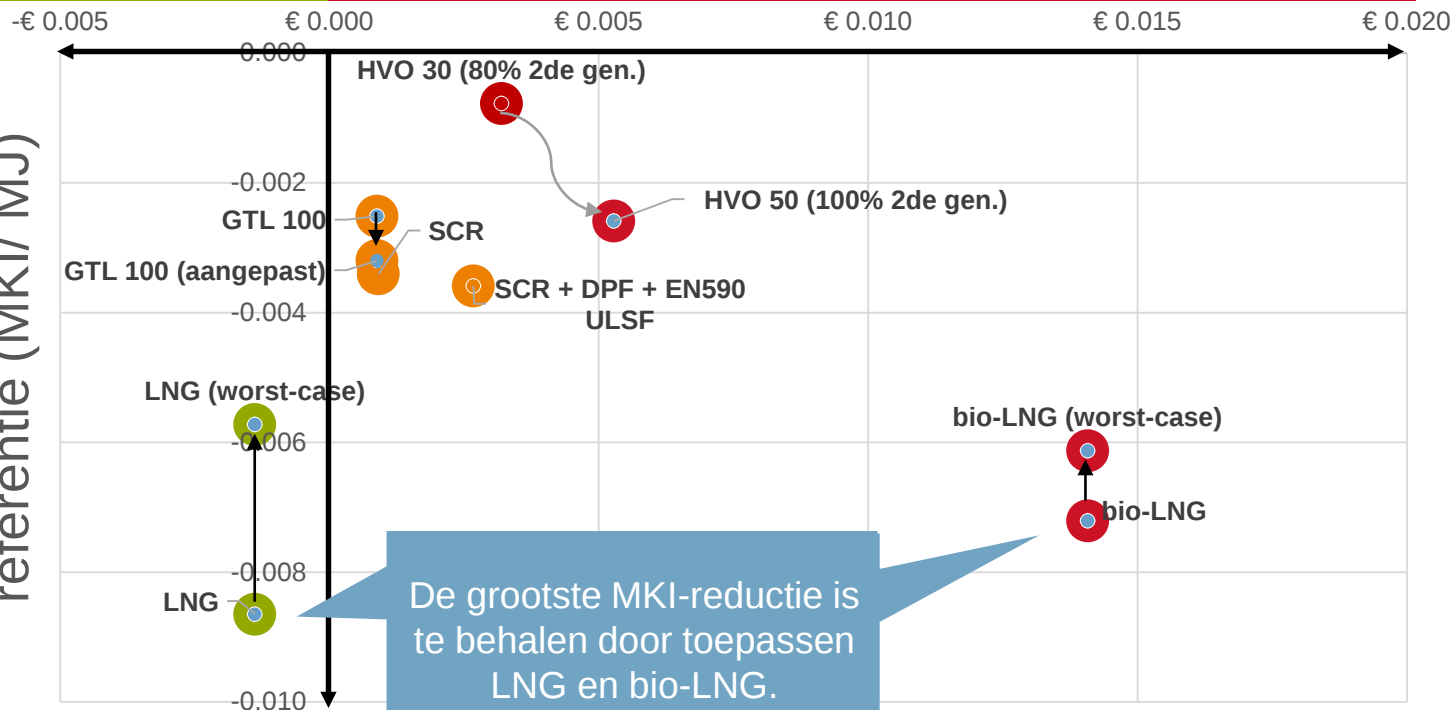
Kosteneffectiviteit ($\Delta\text{MKI} / \Delta\text{€}$): reductie in MKI t.o.v. verandering in kosten, dus vanaf volgende slide kijken we naar verschil t.o.v. referentie.

Verandering kosten t.o.v. referentie (€/MJ)

goedkoper dan MDO referentie

duurder dan MDO referentie

Verandering MKI t.o.v.
referentie (MKI/ MJ)

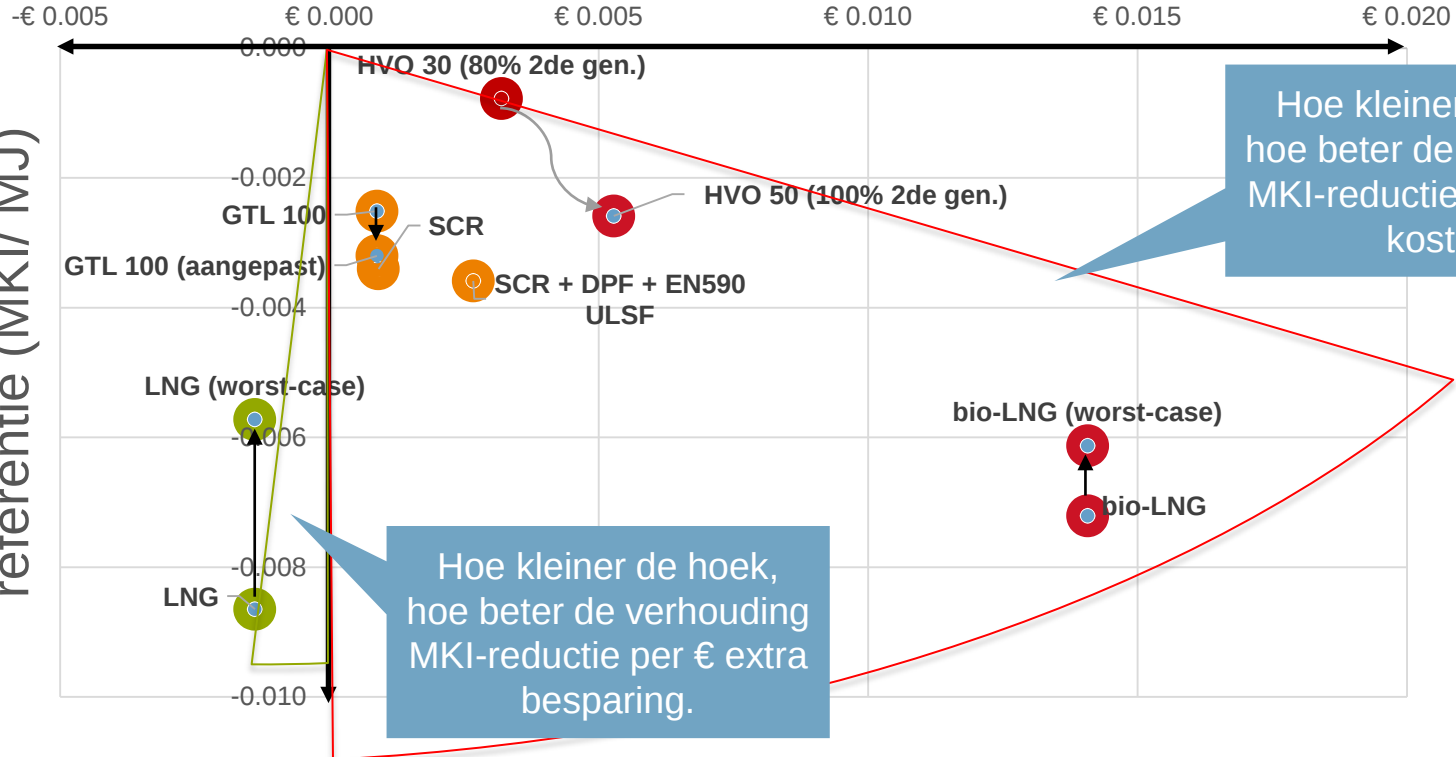


Verandering kosten t.o.v. referentie (€/MJ)

goedkoper dan MDO referentie

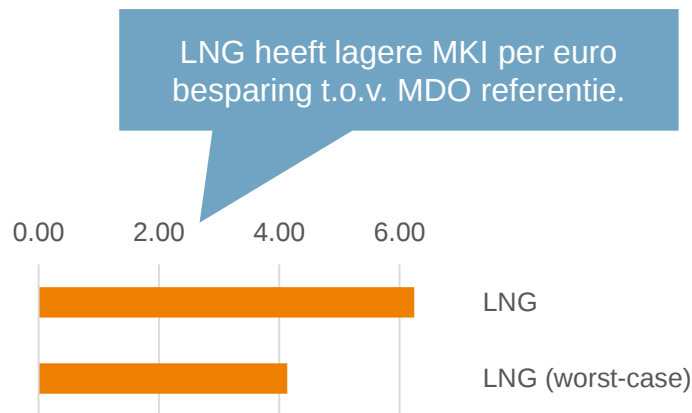
duurder dan MDO referentie

Verandering MKI t.o.v.
referentie (MKI/ MJ)



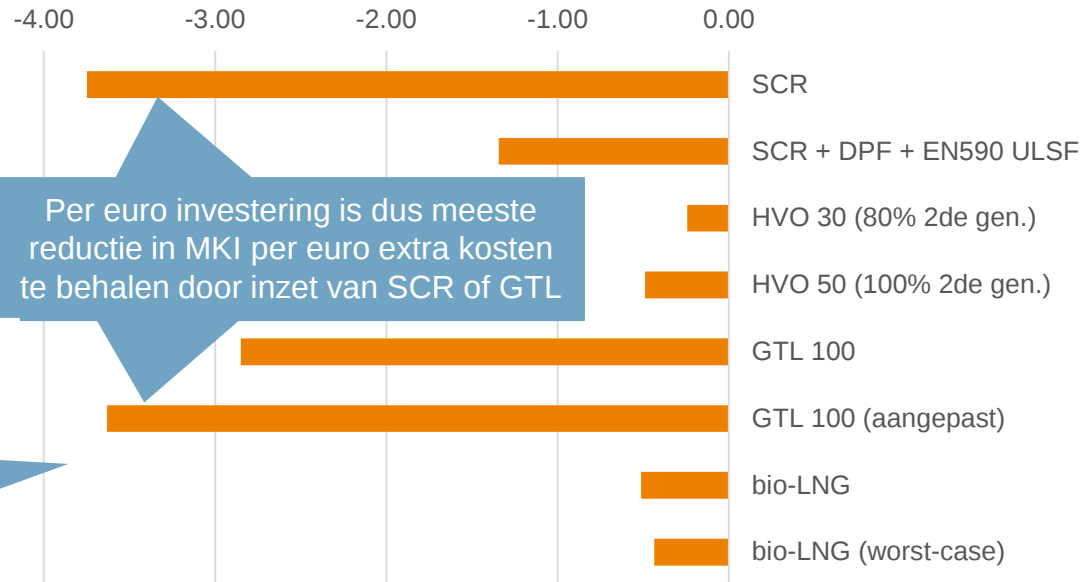
KOSTENEFFECTIVITEIT: MKI PER EURO

Reductie MKI per euro besparing



Om inzicht te krijgen hoe MKI zich verhoudt tot klimaatverandering splitsen we de effecten op in de grafieken die volgen

Reductie MKI per euro extra kosten



KOSTENEFFECTIVITEIT: MKI UITGESPLITST VOOR KLIMAATVERANDERING

Reductie MKI per euro besparing

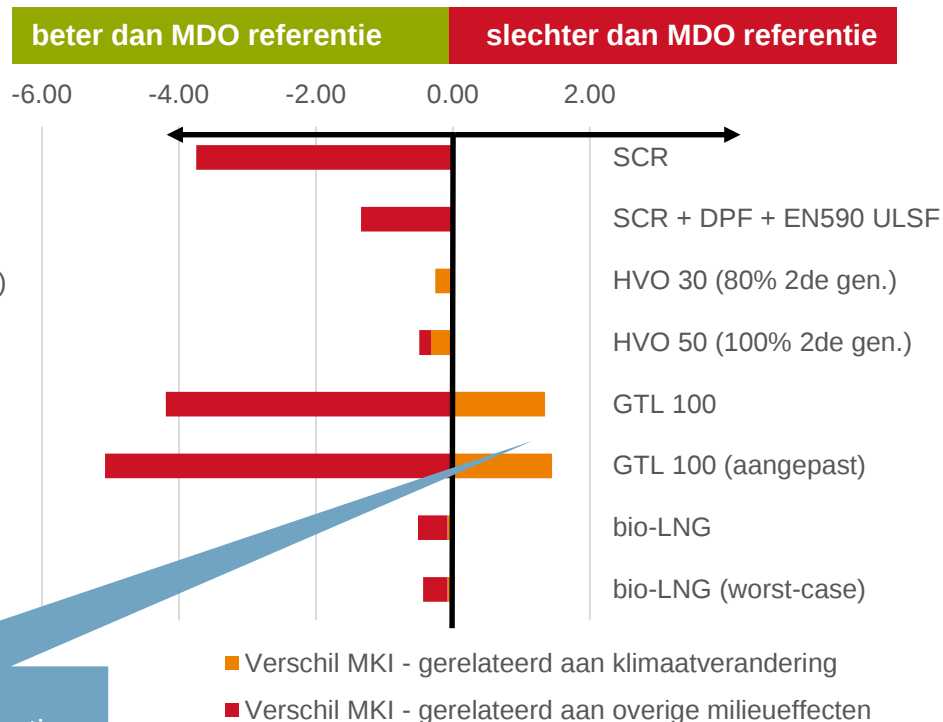


Qua MKI-reductie is LNG dus de beste optie,

maar op gebied van klimaatverandering scoort LNG slechter dan de MDO referentie.

Ook GTL geeft meer klimaatverandering dan de referentie.

Reductie MKI per euro extra investering

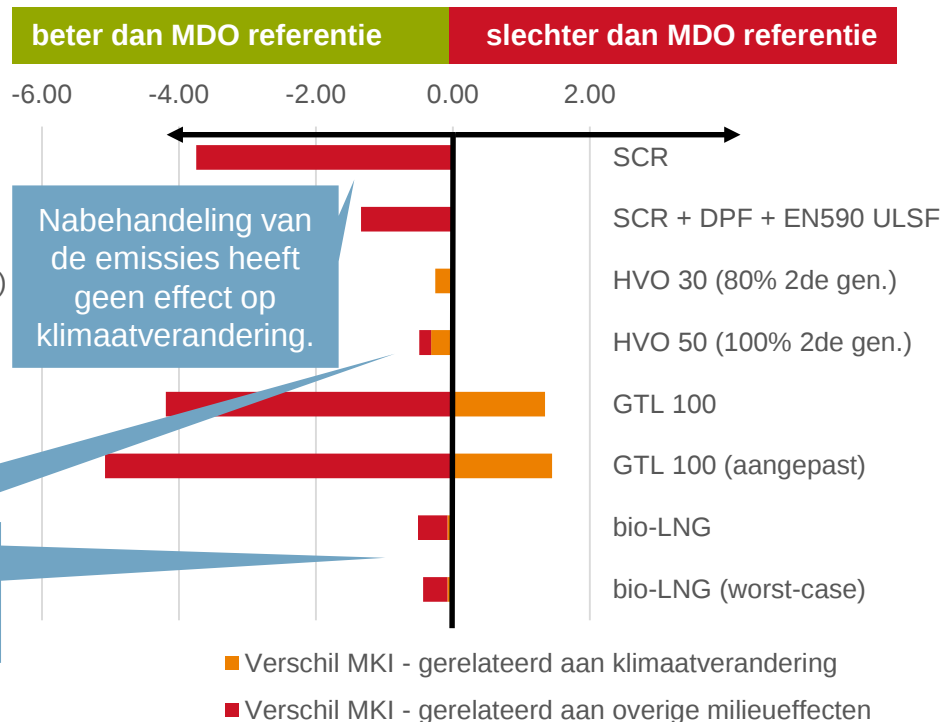


KOSTENEFFECTIVITEIT: MKI UITGESPLITST VOOR KLIMAATVERANDERING

Reductie MKI per euro besparing



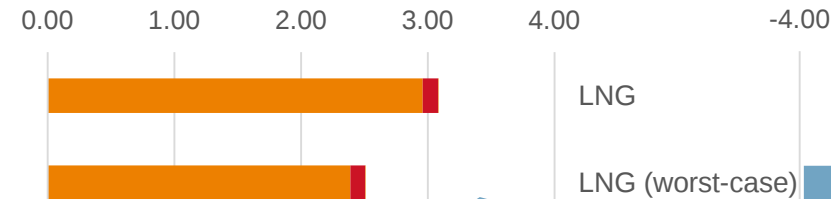
Reductie MKI per euro extra investering



Nabehandeling van de emissies heeft geen effect op klimaatverandering.

“Biobrandstoffen” reduceren impact op klimaatverandering, HVO 50 ook op MKI.

Reductie emissies gerelateerd aan lokale luchtkwaliteit (MKI per euro besparing)

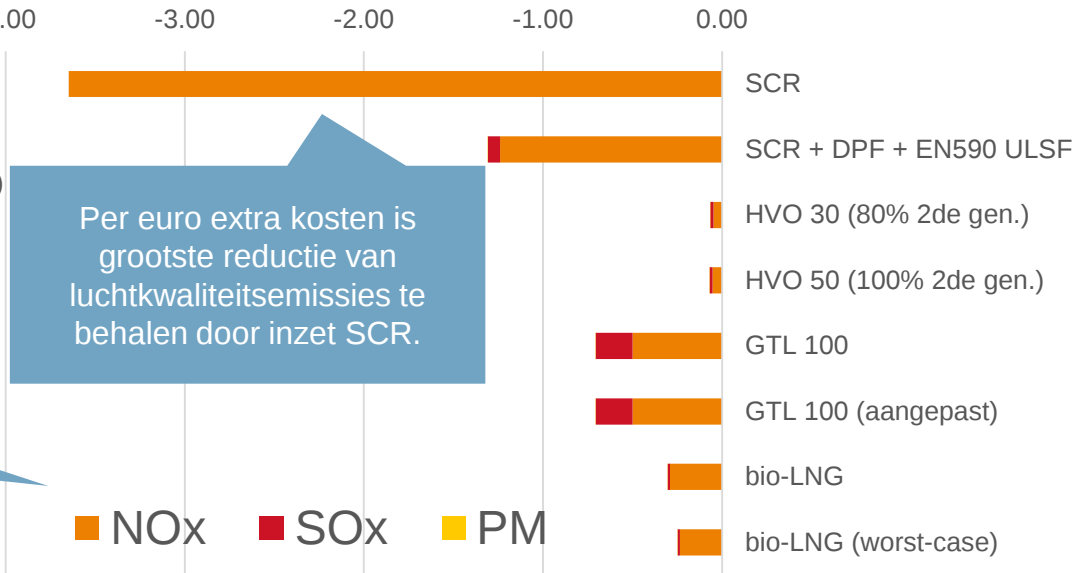


LNG verbetert luchtkwaliteit en is het meest kosteneffectief

Effect van NO_x is dominant in optelling van NO_x, SO_x en PM tot de MKI.

PM wordt niet zichtbaar in MKI, maar is relevante emissie voor luchtkwaliteit.

Reductie emissies gerelateerd aan lokale luchtkwaliteit (MKI per euro extra kosten)



TABEL PROCENTUELE RESULTATEN KOSTENEFFECTIVITEIT DUURZAAMHEIDSMaatregelen

Maatregel	Milieukosten indicator (MKI)		Broeikasgas-emissies (kg CO ₂ -equivalent)		Maximale MKI en broeikasgasemissie reductie inclusief 20% brandstofbesparing	
	MKI/MJ	Verandering t.o.v. referentie	kg CO ₂ -equivalent /MJ	Verandering t.o.v. referentie	Reductie MKI	Reductie CO ₂ -equivalent
MDO (referentie)	1.37E-02	-	0.09	-		
SCR	1.04E-02	-25%	0.09	0%	40%	20%
SCR + DPF + EN590 ULSF	1.02E-02	-26%	0.09	0%	41%	20%
HVO 30 (80% 2de gen.)	1.29E-02	-6%	0.07	-18%	25%	35%
HVO 50 (100% 2de gen.)	1.11E-02	-19%	0.06	-38%	35%	50%
GTL	1.12E-02	-18%	0.11	+27%	35%	-1%
GTL (aangepast)	1.05E-02	-23%	0.11	+29%	39%	-3%
LNG	5.04E-03	-63%	0.09	-1%	71%	21%
LNG (worst-case)	7.97E-03	-42%	0.12	+34%	53%	-7%
bio-LNG	6.48E-03	-53%	0.07	-25%	62%	40%
bio LNG (worst-case)	7.56E-03	-45%	0.07	-25%	56%	35%

DEEL A

KOSTENEFFECTIVITEIT

KWALITATIEVE AANVULLING
(DIESEL)ELEKTRISCH

(DIESEL-)ELEKTRISCHE KUSTSUPPLETIE

- › Verschillende mogelijkheden voor elektrificatie verkend, te weten:
 - › hybride (dieselektrisch) varen;
 - › volledig elektrisch met accu's;
 - › (elektrisch opgewekt uit) waterstof (opslag in waterstoftanks);
 - › elektrisch opgewekt middels duurzame energie-opwekking op zee.

- › Aanvullend op de andere duurzaamheidsmaatregelen kwalitatieve aanpak voor aannemelijke (diesel)elektrische oplossingen:
 - › indicatief inzicht in de potentiële milieu-impact;
 - › geen inzicht in kosten.

KWALITATIEVE AANVULLING: (DIESEL-)ELEKTRISCHE KUSTSUPPLETIE

- › Deselelektrisch...
 - › ...houdt in dat er gebruik wordt gemaakt van elektrische motoren, waarbij er diesel wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken.
 - › Afhankelijk van de inzet van de motor kan er sprake zijn van brandstofvermindering
 - › Om hoeveel brandstofvermindering het gaat in het geval van kustsuppletie is nog niet duidelijk en zal uit de IKZ-tender moeten blijken (als met deze oplossing wordt ingediend)
 - › Gezien het belastingsprofiel van deselelektrisch varen is er een 0 tot 10% brandstofvermindering mogelijk

KWALITATIEVE AANVULLING: VOLLEDIG ELEKTRISCHE KUSTSUPPLETIE



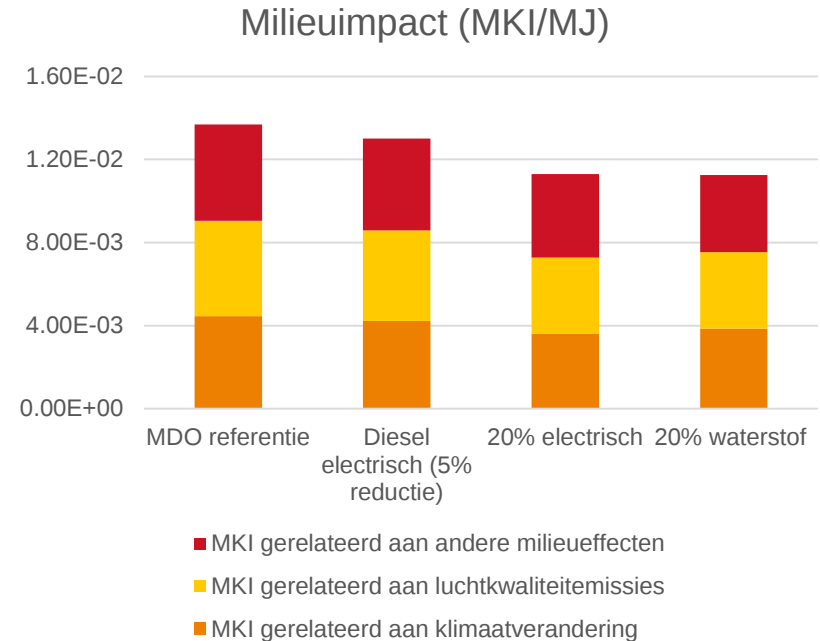
- › De binnenvaart experimenteert met *full-electric* schepen waarbij alle benodigde energie aan boord opgeslagen is in accu's.
 - › Accu-containers geven voor binnenvaart een vaartijd van 5 - 15 uur (met 2 tot 3 20ft containers van 1.5 MWh). Daarna worden accu-containers gewisseld voor opgeladen exemplaren.
 - › Is een dergelijke accu-oplossing ook haalbaar voor kustsuppletie?
- › Uitgaande van het soort baggerschepen zie nu ingezet worden voor kustsuppletie:
 - › zouden er 50-100 accu-containers per dag gewisseld moeten worden.
 - › Deze 50-100 containers nemen heel veel ruimte in; uitdagend om te plaatsen (aan boord/ in hulpschip)
 - › Daarnaast is laden via een kabel is op zee niet mogelijk; dus beperkt mogelijk om accucapaciteit te verminderen
- › Conclusie: Volledige elektrificatie is geen realistisch scenario voor baggerschepen.
- › *In IKZ andere kleinschaligere (deel) oplossingen?*

KWALITATIEVE AANVULLING: ELEKTRISCHE KUSTSUPPLETIE VIA WATERSTOF EN DUURZAME ELEKTRICITEIT OPGEWEEKT OP ZEE

- › Waterstof (H_2),
 - › is een brandstof die heel schoon verbrandt (geen CO_2 en alleen water bij gebruik in een brandstofcel);
 - › is een gas dat onder druk (350 of 700 bar) in containers kan worden opgeslagen.
- › Waterstof kan duurzaam geproduceerd worden met duurzame elektriciteit of via biomassa.
 - › *In IKZ: oplossingen die op zee elektriciteit genereren en opslaan in waterstof?*
 - › Waterstof fungeert dan als een tijdelijke opslag voor energie (in plaats van een accu).
- › Is het mogelijk om volledig op waterstof kust te suppleren?
 - › Uitgaande van de huidige baggerschepen:
 - › dagelijks verbruik van diesel is 24 ton, ofwel 28 m³ diesel per dag,
 - › in waterstof zou er 8 ton per dag nodig zijn (hogere energie-inhoud per ton), onder druk(350 bar) opgeslagen is dat 700 m³ waterstof per dag (volume is gelijk aan = voetbalveld, 1 meter hoog).
 - › *Conclusie: volledig op waterstof kust suppleren geeft een uitdaging in waterstofopslag*

INDICATIEVE MILIEU-IMPACT VAN (DIESEL) ELEKTRISCHE KUSTSUPPLETIE

- › Uitgaande van huidige baggerschepen verwachten we dat elektrificatie bij kan dragen aan reductie van het brandstofverbruik:
 - › Diesel elektrisch: efficiëntere omgang met diesel
 - › Deels elektrisch: deel oplossingen in een hybride aanpak
 - › opwekking d.m.v. windmolens op zee
 - › opslag in accu's of waterstof
- › Aannames om inzicht te geven in MKI reductie:
 - › Diesel elektrisch: 5% reductie MDO
 - › Elektriciteit op zee: 20% elektrisch op basis van windenergie, 80% MDO
 - › Waterstof: 20% waterstof (duurzaam opgewekt), 80% MDO
 - › *Geen correctie voor accu's, conversieverliezen etc.*



CONCLUSIES KOSTENEFFECTIVITEIT DUURZAAMHEIDSMATREGELEN

- › Reductie milieubelasting (MKI, CO₂ en luchtkwaliteit) is te behalen middels:
 - › transitie naar duurzame brandstoffen,
 - › en reductie van brandstofgebruik.
- › Potentiele milieuwinst ten opzichte van referentie MDO:
 - › *MKI*
 - › De grootste en meest kosteneffectieve reductie door inzet van LNG
 - › Hoge investeringskosten, maar lagere kosten over periode van 20 jaar
 - › Maximale potentiële MKI-reductie door inzet LNG i.c.m. 20% brandstof efficiency = **71%**
 - › *CO₂/broeikasgasreductie*
 - › De grootste en meest kosteneffectieve reductie door inzet HVO (o.b.v. 2de generatiefeedstocks en met 50% bijmenging).
 - › Maximale potentiële broeikasgasemissiereductie door inzet HVO 50 i.c.m. 20% brandstof efficiency = **50%**
- › Elektrificatie heeft de potentie om brandstofverbruik te verminderen en kan daarmee bijdragen aan verduurzaming van kustsuppletie. De kosteneffectiviteit is nader te onderzoeken in het IKZ traject

DEEL B DUURZAAMHEIDSAMBITIES

NOODZAAK TOT DUURZAAMHEIDSAMBITIES RWS

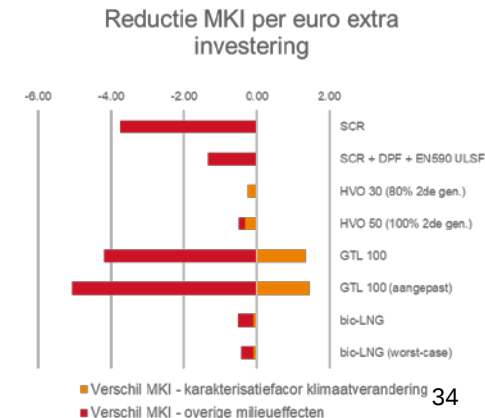
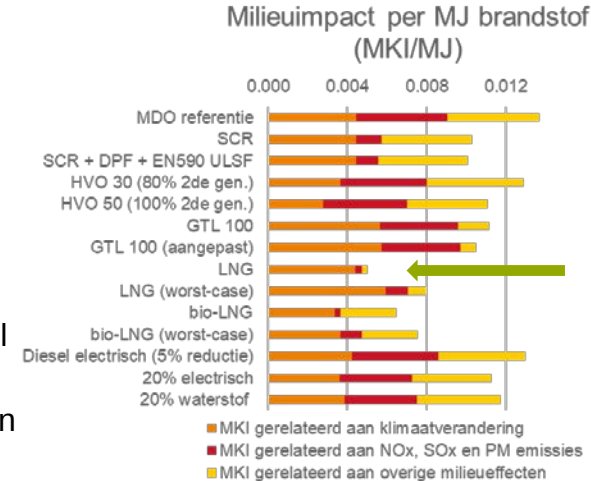
- › Inzet van LNG op is (gezien over 20 jaar) goedkoper, maar heeft grote investeringskosten aan het begin. De andere duurzaamheidsmaatregelen zijn bij gelijkblijvend energieverbruik duurder.
 - › Als gevolg worden duurzaamheidsmaatregelen niet vanzelf door de markt toegepast
- › *Onbekend wat er aan brandstofreductie te behalen is en welke kosteneffectiviteit brandstofbesparing heeft. Brandstofreductie is o.a. te behalen door;*
 - › *innovaties in de kustlijn zorg, bijvoorbeeld elektrificatie of waterstof;*
 - › *optimalisatie van projectontwerp (winlocatie, vaarafstanden);*
 - › *houding en gedrag -> zie monitoringsplan.*
- › Duurzaamheidsmaatregelen zijn (doorgaans) niet over een enkel project af te schrijven
 - › Het is dus nodig om voor een langere termijn (20 jaar) ambities vast leggen voor IKZ innovatie traject (beoordelen op LCC & MKI);
 - › En deze doorwerken naar reguliere aanbestedingen.

FORMULERING DUURZAAMHEIDSAMBITIES RWS

- › Onderzochte brandstofmachinecombinaties dragen verschillend bij aan reductie van:
 - › Broeikasgasemissies (CO₂, methaan, etc.)
 - › Emissies relevant voor lokale luchtkwaliteit (NO_x, SO_x en fijnstof)
 - › MKI (integrale milieu impact)
- › *Hoe RWS reductie milieubelasting gaat sturen gaat bepalend zijn welke maatregelen gestimuleerd zullen worden.*
- › **Advies:**
 - › RWS context: inzicht krijgen in consequenties van sturen op 1) MKI, 2) broeikasgasemissies en 3) CO₂ & MKI
 - › *Aanzet hiervan zal worden besproken in volgende slides*
 - › Luchtkwaliteit alleen als afzonderlijk thema meenemen als ambities andere opdrachtgevers van belang zijn.

MKI: MAATREGELEN EN REDUCTIEPOTENTIEEL

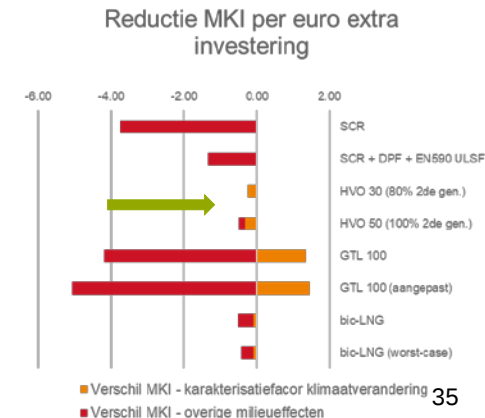
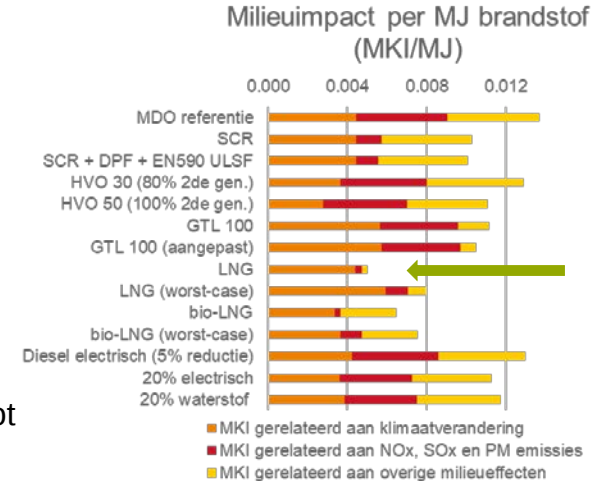
- › MKI = consistent met aanbestedingsbeleid RWS
- › LNG is de maatregel met de grootste MKI reductie indien methaan emissies in productie laag zijn, indien ze hoog zijn is bio-LNG de maatregel met de grootste MKI reductie.
- › Door LNG te gebruiken en 20% brandstof te reduceren (=aanname) is een 71% MKI-reductie t.o.v. MDO referentie mogelijk.
- › Meest kosteneffectieve duurzaamheidsmaatregelen op MKI:
 1. LNG (goedkoper dan referentie, maar broeikasgasemissies blijven gelijk of stijgen licht)
 2. SCR (extra kosten per MKI reductie, maar broeikasgasemissies blijven gelijk)
 3. GTL (minste extra kosten per MKI reductie, maar broeikasgasemissies stijgen)
- › Biobrandstoffen (HVO en bio-LNG) zijn minst kosteneffectieve maatregelen voor MKI reductie door hoge kosten per ton brandstof.



BROEIKASGASEMISSIES: MAATREGELEN EN REDUCTIEPOTENTIEEL

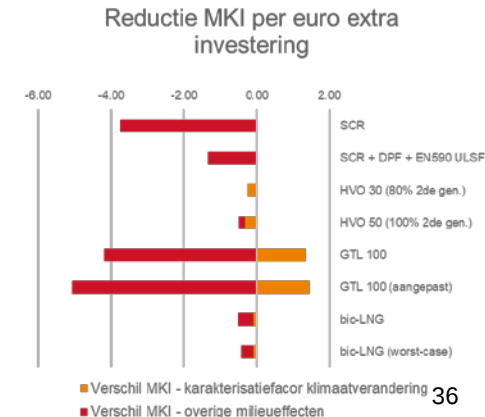
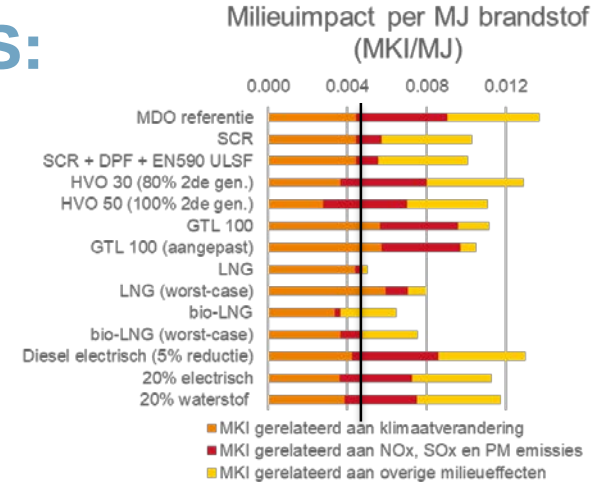
- › CO₂ eq.= Parijs / klimaatakkoord
- › HVO 50 (50% bijmenging o.b.v. 100% 2^e generatie feedstocks) heeft de grootste reductie in CO₂-eq.
- › Inzet van HVO 50 en 20% reductie in brandstofgebruik (=aanname) leidt tot 50% CO₂-eq reductie.
- › De meest *costeneffectieve* duurzaamheidsmaatregelen op CO₂-eq:
 1. Reductie brandstof (MDO) – *potentieel costeneffectief?*
 1. Korte termijn: per project optimalisatie van vaarroute etc.
 2. Lange termijn: investeringen/ innovaties die tot reductie brandstof leiden (zoals voor een deel elektrisch op waterstof of groene stroom etc.).
 2. HVO (dan daalt ook de MKI)
 3. Bio-LNG (dan daalt ook de MKI)

Alle andere maatregelen geven geen bijdrage aan reductie broeikasgasemissies



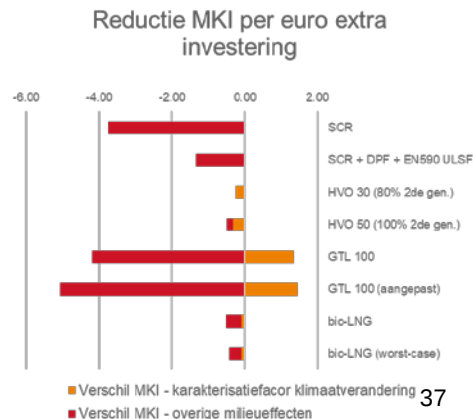
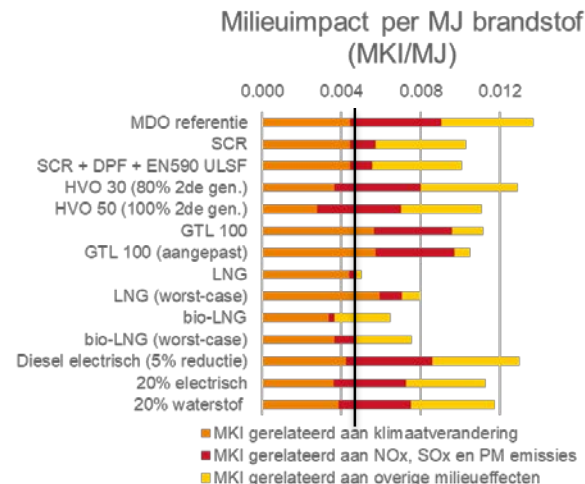
MKI EN BROEIKASGASEMISSIES: MAATREGELEN EN REDUCTIEPOTENTIEEL

- › Waarderen op CO₂ en MKI, omdat MKI alleen niet borgt dat broeikasgasemissies naar beneden gaan.
- › *Optie 1*: sturen op reductie MKI en eisen dat CO₂-eq minimaal gelijk blijven aan referentie (MDO), dan is;
 - › LNG de *meest effectieve en kostenefficiënte* maatregel voor MKI-reductie en gelijke CO₂-eq.
 - › maar is het wel benodigd om methaanemissies tijdens productie van LNG beter te gaan beheersen.
 - › Nabehandeling van emissies met SCR is op één na meest kostenefficiënt qua reductie van MKI terwijl CO₂ gelijk blijft.



MKI EN ROEIKASGASEMISSIES: MAATREGELEN EN REDUCTIEPOTENTIEEL

- › Waarderen op CO₂ en MKI, omdat MKI alleen niet borgt dat broeikasgasemissies naar beneden gaan.
- › Optie 2: MKI en CO₂ beide waarderen
 - › HVO 50 en bio-LNG reduceren zowel MKI als CO₂-eq.
 - › Met HVO 50 kan grootste CO₂-eq reductie worden behaald, met bio-LNG grootste MKI-reductie.
 - › Brandstofreductie en elektrificatie (Diesel elektrisch, 20% windenergie of waterstof) verlagen allen ook de MKI en CO₂.
- › In tenders (IKZ/ reguliere kustsuppletie) moeten wel onderlinge weegfactoren worden bepaald.
- › Schaduw prijzen aanpassen (per project) is geen optie
- › Op termijn stijgt naar verwachting de schaduw prijs voor CO₂-eq.



DEEL C MONITORINGSPLAN AANLEIDING

VERSCHILLENDE DOELEN VOOR MONITORING

- › Uit Beslisnota 'Duurzaam inkopen kustlijnzorg':
 - › Brandstofverbruik bepalend voor MKI
 - › Monitoring nodig om verbruik vast te stellen / te bepalen of beloofde MKI gehaald is
 - › Nu nog onduidelijk in hoeverre de aanbieders (door verandering houding en gedrag) onderscheidend kunnen zijn in brandstofverbruik
- › Reguliere kustsuppletie: stellen van doelen MKI en CO₂
 - › Inzicht nodig in brandstofhoeveelheid tot de zandsuppletieprestatie (want verschilt sterk per werk)
 - › RWS heeft te beperkt inzicht in relatie milieuprestatie & activiteiten om per project MKI/ CO₂ ambitie te kunnen bepalen
 - › Nu nog geen optimalisatie op MKI/ CO₂ (suppletiedieptes/ vaarafstanden etc.)
- › Monitoring luchtverontreiniging (NO_x, SO_x, PM):
 - › Emissies verschillen afhankelijk van de belasting van de motor (hoge belasting / lage belasting)
 - › Motor belasting is mede afhankelijk van houding/ gedrag
 - › Emissies verschillen per brandstof en zijn daarmee een indicatie of een duurzame brandstof is ingezet
 - › Emissie nabehandelingsmaatregelen zijn uit te schakelen: monitoring of nabehandeling goed werkt

FOCUS TNO IN MONITORINGPLAN: IKZ

- › Voor het stellen van duurzaamheidsdoelen (RWS) en voor inzicht in de potentiële brandstofreductie door houding en gedrag (analoog aan 'het nieuwe draaien ' voor mobiele werktuigen) is inzicht nodig in relatie tussen brandstofverbruik en werkprestatie
- › Dit inzicht kan alleen verkregen worden door nauwe samenwerking met de markt
 - › Een traject als IKZ leent zich er goed voor om samen met de markt aan monitoring van brandstofverbruik te werken
 - › Daarom ligt hier de focus op t.a.v. het inrichten van een monitoringsplan
 - › Aanvullend: monitoring luchtverontreinigende emissies
- › *Monitoring in tenders (reguliere kustsuppletie) zal waarschijnlijk een meer administratief karakter hebben, bijvoorbeeld*
 - › *Benutten van bunkerbonnen om vast te stellen welk type brandstof is gebruikt in welke hoeveelheid*
 - › *Registreren van motortypen (tiers, dual of single fuel etc.)*

DEEL C MONITORINGSPLAN BRANDSTOFMONITORING

BRANDSTOFVERBRUIK MONITORING – AAN BOORD

Brandstofverbruikmeter(s): is per schip verschillend – configuratie - inrichting

- › Schepen hebben flink aantal motoren: ca 3 tot 6 afhankelijk van de configuratie
- › Complex brandstofsysteem bij gebruik meerdere typen brandstof (afhankelijk milieueisen)
- › Configuratie per schip verschillend. Brandstofmeters vaak niet aanwezig.
- › Per schip een plan maken voor brandstofhoeveelheid monitoring - met onafhankelijke certificering

Combinatie van brandstofverbruik, motorparameters en scheepsbewegingen geeft relatie tussen verbruik en activiteiten

- | | |
|-----------------------------------|---|
| › Motortoerental van alle motoren | › Pompen aan/uit signaal |
| › Tijd en datum | › Lading hoeveelheid |
| › Locatie van het schip (GPS) | › Deining |
| | › Optioneel: windrichting, - snelheid, luchttemp. |

KOSTEN MONITORING

Investering per schip:

- › Brandstofverbruik - MKI:
 - › Brandstofverbruiksmeting: 15 - 30 KEUR
 - › Brandstofverbruiksmeting + motorparameters en activiteiten: 30 – 80 KEUR
 - › Uitgebreide monitoring inclusief koppel, vermogen, stuwkracht: 90 – 150 KEUR

- › Luchtverontreiniging (NOx, SOx, PM):
 - › High end systemen: 50 – 100 KEUR
 - › Sensor based systemen zijn in ontwikkeling: 15 – 25 KEUR

- › Jaarlijks onderhoud + eventueel hercertificering: 5-10% van de investeringskosten

BRANDSTOFVERBRUIK MONITORING

Systemen voor combinatie verbruik, emissie en vaarprestatie zijn niet uitontwikkeld. Standaardisatie nodig, incl. datatransmissie en automatisering

Ontwikkeling / pilot project: Monitoring in de praktijk met 1 of 2 schepen

- › In samenwerking met reders en leveranciers: Afspraken maken over
 - › Investerings voor monitoring
 - › *Soortgelijk project met vrachtwagens: investering in de hardware voor monitoring door de markt, overheid investeerde in de dataverwerking/ opstellen van protocollen*
 - › Delen van de data (met RWS, met andere marktpartijen)
 - › RWS heeft inzicht nodig in relatie met werkprestatie (vaarafstanden, diepte suppletie etc.) ten behoeve van vaststellen duurzaamheidsdoelen per project
- › Monitoringsprotocollen ontwikkelen
 - › Standaardisatie van data verwerking, transmissie en presentatie

DEEL C

MONITORINGSPLAN

› **LUCHTVERONTREINIGENDE EMISSIES**

LUCHTVERONTREINIGENDE & BROEIKASGASEMISSIES MONITOREN

- › De duurzaamheidsmaatregelen zijn van invloed op de luchtverontreinigende emissies, maar er zijn (afhankelijk van de maatregel) nog wel onzekerheden over die emissies
 - › [Monitoren of de ingeschatte emissies voor de MKI-berekening ook kloppen met de praktijk](#)
- › Nabehandeling:
 - › Nabehandeling is uitschakelbaar: [monitoren of de nabehandeling werkt](#)
 - › Hoe goed de nabehandeling luchtverontreinigende emissies vermindert, hangt mede af van de motorbelasting, en die is (beperkt) bekend: [monitoren hoe effectief de nabehandeling is](#)
- › GTL en HVO
 - › Kunnen in een 'gewone' dieselmotor worden gebruikt, maar geven veel minder SOx-emissies: [SOx monitoren om te zien hoe schoon de brandstof was](#)
- › LNG: [aan boord monitoring van methaan emissies](#)
 - › Methaanemissies zijn heel bepalend voor de prestatie op broeikasgassen en daarmee ook op de MKI
 - › Methaanemissies zijn mede afhankelijk van de motorbelasting

LUCHTVERONTREINIGENDE & BROEIKASGASEMISSIES OVERZICHT VAN MKI MAATREGEL IN RELATIE TOT EMISSIES

MKI maatregel	NOx	PM	SOx	CH4
SCR	Soms in bypass SCR uitschakelbaar, efficiency afhankelijk motorbelasting		Bepaald door brandstofkwaliteit (MDO of EN590 ULSF of andere duurzame brandstoffen) en indien aanwezig SOx-scrubber	Niet relevant
SCR + DPF				Niet relevant
HVO blend 30-50%	NOx slechts tot 10% lager → lastig voor monitoring			Niet relevant
GTL 100%				Niet relevant
LNG / bio-LNG	Afhankelijk type LNG-motor (en motorbelasting)			Methaan emissie afh. motorbelasting

LUCHTVERONTREINIGENDE & BROEIKASGASEMISSIES MONITOREN

- › Net als voor brandstofmonitoring: monitoringsprotocollen ontwikkelen om emissies aan boord te monitoren. Daarbij nog ontwikkelen:
 - › Standaardisatie van data verwerking, transmissie en presentatie van monitoringsgegevens van emissies
 - › Vaststellen welke emissie acceptabel/ te verwachten is
 - › Op termijn ook nodig wanneer monitoring ingezet wordt voor 'goedkeuring of afkeuring' (bijvoorbeeld ter verificatie in tenders: wordt emissie of MKI gehaald die is beloofd)
- › Monitoring: periodiek of continue
 - › Continue meting is een meting die continue wordt uitgevoerd wanneer de motor in bedrijf is
 - › Periodieke meting is een meting die in een tijdsinterval wordt uitgevoerd (niet continu)
 - › Volgende slide: advies per emissie/duurzaamheidsmaatregel
 - › Rekening houden met afkeur criteria / technische mogelijkheden

LUCHTVERONTREINIGENDE & BROEIKASGASEMISSIES AANBEVELING CONTINU OF PERIODIEK METEN

MKI-maatregel	NO _x	PM	SO _x	CH ₄
SCR-katalysator	Belangrijk- continu	-	-	
SCR + DPF	Belangrijk- continu	Periodiek + indirect continue (indirect = bijvoorbeeld op basis van de druk in de uitlaat)	-	
HVO blend 30-50%	-	-	Optioneel: brandstof of SO _x -sensor	
GTL 100%	Optioneel – continue	-		
LNG / bio-LNG	Belangrijk – continue eventueel periodiek	-	-	Periodiek

'belangrijk' = emissie is bepalend voor de milieuprestatie en kan variëren voor de genoemde maatregel (werkt de maatregel of niet)

'optioneel' = meting geeft aanvullende informatie, bijvoorbeeld of de genoemde duurzame brandstof is gebruikt in plaats van MDO

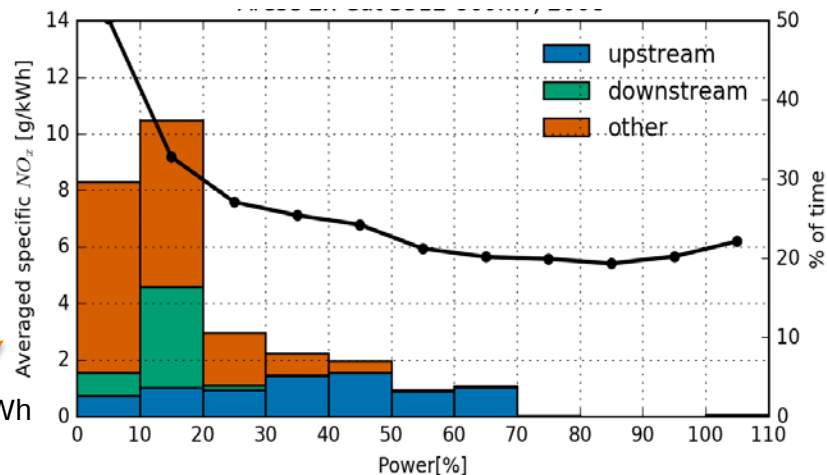
VOORBEELDEN

NO_x MONITORING BINNENVAART

Voorbeelden van resultaten uit emissie monitoring
[Prominent, 2015-2018].

Rechts boven: de NO_x emissie per kWh nemen af als de motor hoger belast wordt

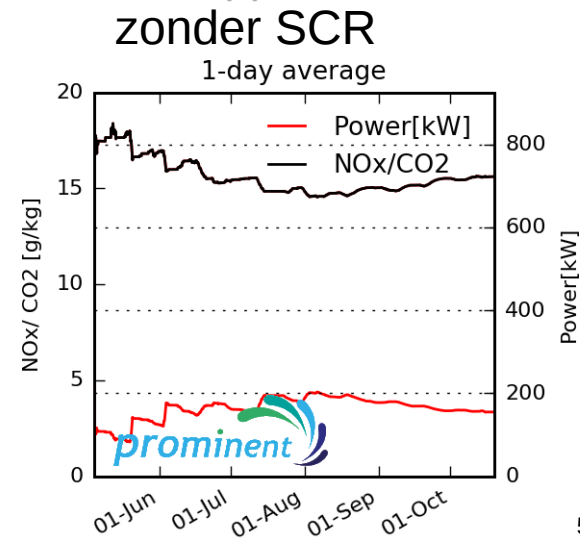
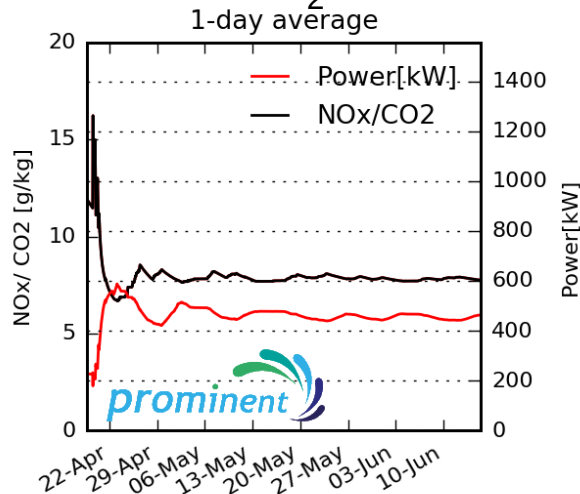
NO_x in g/Wh



Voortschrijdend gemiddelde NO_x/CO₂ met SCR

Links: met SCR (de NO_x/CO₂ ratio is veel lager (gunstiger) dan

Rechts: zonder SCR (de NO_x/CO₂ ratio is veel hoger (ongunstiger) dan de ratio met SCR (links)



CONCLUSIES

- › On board monitoring van brandstofverbruik, broeikasgasemissies en verontreinigende emissies:
 - › is technisch mogelijk, maar vraagt maatwerk per schip.
 - › geeft inzicht in relatie CO₂ en activiteiten voor kustsuppletie, waardoor deze in de toekomst geoptimaliseerd kunnen worden (inzicht in vrijheidsgraden).
- › De belangrijkste maatregelen voor MKI verbetering kunnen met on board monitoring van brandstofverbruik, broeikasgasemissies en verontreinigende emissies geverifieerd worden.
- › De kosten van continue monitoring: > 30 - 150 kEUR investering plus jaarlijks een extra 5 tot 10% van dit bedrag voor onderhoud.
- › On board monitoring vereist vervolg met overleg met de sector, ontwikkeling protocol, demonstratieproject, data-analyses, etc.



› **BEDANKT VOOR UW AANDACHT**

Voor meer inspiratie:
TIME.TNO.NL

TNO innovation
for life

DEEL D - BIJLAGE I: RESULTATEN KOSTENEFFECTIVITEIT

BRONGEGEVENS

- › In deze studie is gebruik gemaakt van resultaten uit eerdere studie waarin milieuprofielen van scheepsbrandstoffen t.b.v. opname in de NMD.
 - › J. Jochemse-Verstraeten, S.E. de Vos-Effting, E.E. Keijzer, S.N.C. Dellaert, A. van Horssen, R.N. van Gijlswijk, J.H.J. Hulskotte (2016) Milieuprofielen van scheepsbrandstoffen ten behoeve van opname in de Nationale Milieudatabase. TNO 2016 R10662
 - › Voor de berekeningen is in deze studie gebruik gemaakt van SBK-bepalingsmethode versie 1.8, SimaPro 7.3 en Ecoinvent database 2.2.
- › Tussen 2016 en 2018 zijn er verschillende verbeteringen doorgevoerd in deze methode, maar ook aan de data kant. Deze wijzigingen hebben invloed op de resultaten (MKI, CO₂, etc.). Gezien de aard van de opdracht hebben we niet al deze effecten in detail bestudeerd. Belangrijkste factoren die wel of niet zijn meegenomen zijn:
 - › *Wijzigingen in de methode:* Wanneer voor de analyse gebruik gemaakt zou worden van Ecoinvent 3.3 in plaats van Ecoinvent 2.2. (gebruikt voor het bepalen van de milieuprofielen scheepsbrandstoffen) zien we een gemiddelde toename in de MKI van 5%. We hebben geen update gedaan van de oude 2016 milieuprofiel met de nieuwe Ecoinvent database. De gebruikte milieuprofielen maken onderdeel uit van de NMD (Nationale Milieudatabase) en data in deze database zijn 5 jaar geldig. Bovendien valt een update van de milieuprofielen buiten de scope van de opdracht valt.
 - › *Nieuwe inzichten in verbrandingsemissies:* De emissies tijdens gebruiksfase uit scheepsbrandstoffen studie (TNO, 2016) zijn vergeleken met laatste inzichten van TNO experts. Dit resulteerde alleen voor LNG en bio-LNG een sterk afwijkend emissie profiel op. Dit hebben we in deze opdracht meegenomen door worst-case profiel voor LNG en bio-LNG profiel toe te voegen.
 - › *Nieuwe inzichten in emissie tijdens LNG productie:* Een nieuw verschenen onderzoek [link toevoegen](#) schat de methaan emissie tijdens productie van LNG op 1-9% **niet wetenschappelijk geverifieerd**. In scheepsbrandstoffen studie 2016 is deze met 0,3% dus waarschijnlijk onderschat. Ook deze nieuwe informatie is verwerkt in de LNG worst case variant. .

AANNAMES: KOSTENBEREKENING

- › De totale kosten zijn een som van:
 - › De aanschaf kosten van een nieuw schip, inclusief de extra investeringen van maatregelen
Bijvoorbeeld: aanschaf van GTL tank kost €3.000.000,- en heeft een levensduur van XX jaar
 - › Kosten van brandstofverbruik en eventuele variabele kosten van de maatregel (bijv. adblue)
Bijvoorbeeld: GTL kost 615 €/ton en verbruik is gemiddeld 482 ton/jaar
 - › Kosten voor regulier en extra onderhoud
Bijvoorbeeld: Elke 60.000 uur moet roetfilter worden vervangen (en kosten zijn €1.675.000,-)
- › De kosten zijn berekend over een periode van 20 jaar (=gemiddelde levensduur van een schip) en worden uiteindelijk weergegeven in de eenheid kosten/jaar en kosten/MJ.
 - › De kosten voor extra investeringen zijn afgeschreven over periode van 20 jaar vervanging na 12 jaar na rato over de overgebleven 8 jaar.
 - › Verdere aannames zijn bezetting van 5000 uur/jaar; verbruik van 994 kg diesel per uur en gemiddeld vermogen 4972 kW.
 - › De 20 jaar levensduur kunnen worden toegepast voor nieuw schip of voor aanpassingen aan schip dat dan nog 20 jaar mee gaat.
- › Alle kosten zijn gebaseerd op expert judgement van TNO.
 - › De brandstofprijzen zijn gebaseerd op brandstofvisie uit 2014 en afgestemd met de markt. Ze komen echter niet overeen met door RWS aangeleverde getallen.
- › Voor LNG is uit gegaan van een efficiëntieverlies van 3%.

RESULTATEN: KOSTEN

Maatregel	Energie-inhoud (MJ/kg)	€ / ton brandstof* (€/ton)	Extra investeringen t.o.v. referentie (€)	Extra onderhoudskosten t.o.v. referentie (€/kWh)	Totale kosten per ton brandstof (€/ton)	Totale kosten per jaar (€/jaar)	Totale kosten per MJ (€/MJ)
MDO (referentie)	42,7	550	-		550	2.733.500	0,013095
SCR	42,7	550	833.000 + 653.000 na 60.000 uur	1	588	2.922.989	0,014003
SCR + DPF+ MDO EN590 ULSF	42,7	600	1.915.000 + 1.675.000 na 60.000 uur	2.17	662	3.290.862	0,015765
HVO 30	44	694	-		694	3.400.600	0,016291
HVO 50	44	790	-		790	3.834.991	0,018372
GTL en GTL (aangepast)	43	615	-		615	2.917.616	0,013977
LNG en LNG (worst-case)	49	505	5.500.000	1	574	2.519.972	0,011710
bio-LNG en bio-LNG (worst-case)	49	1262		1	1331	5.846.185	0,027167

RELATIE EMISSIES EN MKI

- › In deze tabel staat de MKI gerelateerd aan emissie van 1kg CO₂, methaan, NO_x, SO_x en PM. De MKI is opgedeeld naar de verschillende milieueffectcategorieën.

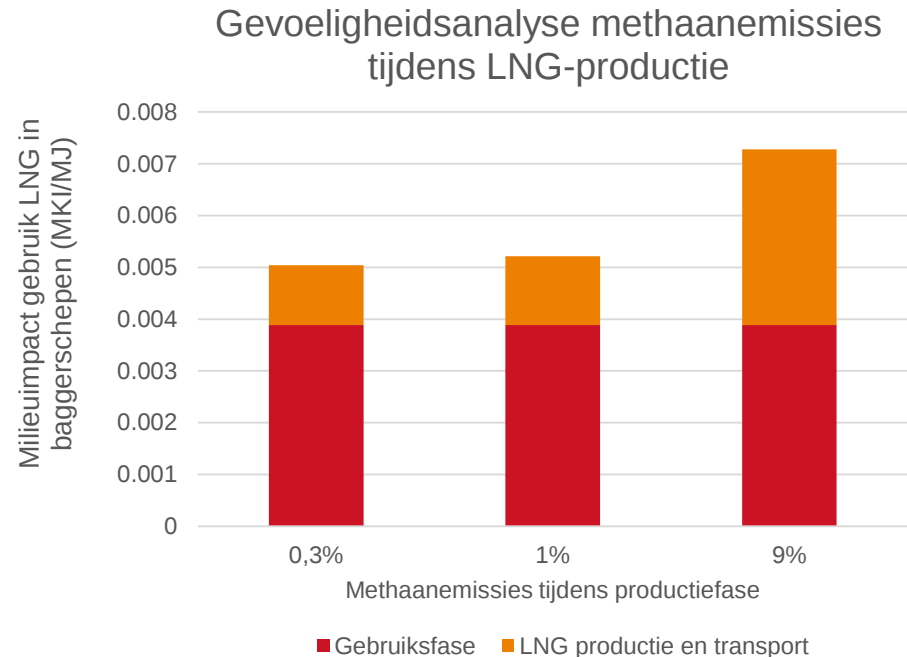
	MKI (schaduwkosten, €) per emissie van 1 kg emissiestof						
	CO ₂ (biogeen)	CO ₂ (fossiel)	Methaan (biogeen)	Methaan (fossiel)	NO _x	PM	SO _x
Klimaatverandering	-	0.05	1.00	1.25	-	-	-
Fotochemische oxidantvorming	-	-	-	-	-	-	0.096
Verzuring	-	-	-	-	2	-	4.8
Vermesting	-	-	-	-	1.17	-	-
Humane toxiciteit	-	-	-	-	0.108	0.0738	0.0086

GEVOELIGHEIDSANALYSE

- › Voor HVO zijn twee alternatieven weergegeven:
 - › HVO 30
 - › Momenteel is de mix van HVO gebaseerd op 80% 2^{de} generatie feedstocks (40% dierlijk vet, 40% afgewerkt frituurvet en 20% palmolie).
 - › Daarnaast zijn alle motoren geschikt voor een 30% bijmenging van HVO in MDO.
 - › Dit is dus de as-is situatie.
 - › HVO 50
 - › Aan andere kant wordt er gewerkt aan HVO o.b.v. 100% 2^{de} generatie feedstocks en zijn sommige motoren geschikt (en gekeurd) om tot 50% HVO bij te mengen.
 - › Dit wordt dus gezien als meest waarschijnlijke toekomst scenario, maar het is nog niet duidelijk of alle motoren geschikt zijn voor de specificaties van volledig 2^{de} generatie 50% HVO/MDO mengsel.
- › Beide alternatieven zijn meegenomen in de kosteneffectiviteitsanalyse

GEVOELIGHEIDSANALYSE LNG

- › In analyse uit 2016 is uitgegaan van een methaanemissie tijdens productie van 0,3%. Recente bron gaat echter uit van een emissie tussen de 1 en 9%.
- › Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om het effect van deze methaanemissies op MKI van LNG te duiden.
- › De MKI is 3% hoger bij 1% emissie en 44% bij 9% emissie. Effect van methaanemissie tijdens productiefase op MKI is dus significant, maar onzekerheid in emissie is tevens zeer groot.
- › Meetcampagne op verschillende LNG-plants kan uitsluitsel geven.
- › In deze opdracht zijn twee opties meegenomen:
 - › **LNG** = 0,3% methaanemissie
 - › **LNG (worst-case)** = 9% methaanemissie



Maatregel	Bron	MKI / MJ			Broeikasgassen	
		Brandstofproductie en transport	Gebruiksfase	Totaal	kg CO ₂ - equivalent /MJ	MKI / MJ
MDO (referentie)	Rapportage TNO 2016	3.62E-03	1.01E-02	1.37E-02	0.09	4.46E-03
SCR	Rapportage TNO 2016 & expert judgement TNO	3.62E-03	6.75E-03	1.03E-02	0.09	4.46E-03
SCR + DPF + EN590 ULSF	Rapportage TNO 2016 & expert judgement TNO	3.62E-03	6.57E-03	1.01E-02	0.09	4.46E-03
HVO 30 (80% 2de gen.)	Rapportage TNO 2016	4.53E-03	8.39E-03	1.29E-02	0.07	3.64E-03
HVO 50 (100% 2de gen.)	Rapportage TNO 2016 & expert judgement TNO	3.84E-03	7.26E-03	1.11E-02	0.06	2.79E-03
GTL	Rapportage TNO 2016	2.98E-03	8.19E-03	1.12E-02	0.11	5.64E-03
GTL (aangepast)	Rapportage TNO 2016 & expert judgement TNO	2.30E-03	8.19E-03	1.05E-02	0.11	5.74E-03
LNG	Rapportage TNO 2016	1.16E-03	3.89E-03	5.04E-03	0.09	4.41E-03
LNG (worst-case)	Rapportage TNO 2016 & expert judgement TNO	2.94E-03	5.03E-03	7.97E-03	0.12	5.96E-03
bio-LNG	Rapportage TNO 2016	5.48E-03	1.00E-03	6.48E-03	0.07	3.36E-03
bio LNG (worst-case)	Rapportage TNO 2016 & expert judgement TNO	5.48E-03	2.08E-03	7.56E-03	0.07	3.64E-03

RESULTATEN: LUCHTKWALITEIT

Maatregel	bron	NOx		SOx		PM <2.5	
		kg/MJ	g/KWh	kg/MJ	g/KWh	kg/MJ	g/KWh
MDO referentie	Expert judgement TNO	1.48E-03	11.60	3.75E-05	0.29	4.22E-05	0.33
SCR	Expert judgement TNO	3.32E-04	2.60	3.75E-05	0.29	4.22E-05	0.33
SCR + DPF + EN590 ULSF	Expert judgement TNO	3.32E-04	2.60	3.75E-07	0.00	2.56E-06	0.02
HVO B30 (as-is)	Rapportage TNO 2016 & Expert judgement TNO	1.30E-03	10.14	2.64E-05	0.21	3.65E-05	0.29
HVO B50 (toekomst)	Rapportage TNO 2016 & Expert judgement TNO	1.26E-03	9.84	1.89E-05	0.15	3.39E-05	0.27
GTL en GTL (aangepast)	Rapportage TNO 2016 & Expert judgement TNO	1.33E-03	10.44	3.75E-07	0.00	2.73E-05	0.21
LNG	Rapportage TNO 2016	9.18E-05	0.72	2.04E-06	0.03	1.63E-06	0.01
LNG (worst-case)	Expert judgement TNO	3.32E-04	2.60	3.85E-06	0.03	2.56E-05	0.20
bio-LNG	Rapportage TNO 2016	9.18E-05	0.72	2.04E-06	0.03	1.63E-06	0.01
bio LNG (worst-case)	Expert judgement TNO	3.32E-04	2.60	3.85E-06	0.03	2.56E-05	0.20

REFERENTIESCHIP

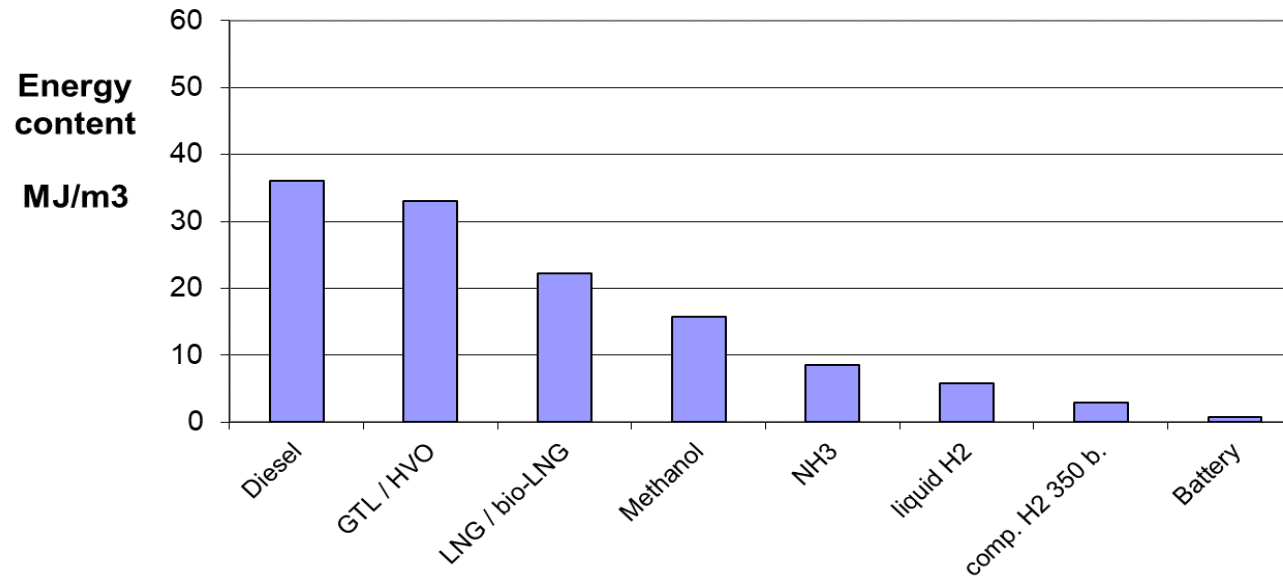
Referentieschip:	Geopotes 15
9TM410	2x Wartsila TM410
Total power	12445 kW
LxB	132 x 24 m
Hopper volume:	9962 m ³
Hopper mass:	15050 ton
Speed (loaded):	15.5 knts

Uitgangspunten MKI berekening	
Bezetting	5000 uur/jaar
Afschrijvingsperiode	20 jaar
verbruik MDO	994 kg/uur

Cyclus	
m3/cyclus	5,679
km/cyclus	24
duur (uur)	4.4
ton brandstof/cyclus	4.39
ton brandstof per uur	0.99
ton brandstof per dag	24
Gemiddelde motorbelasting	40%
Bunker frequentie	2 weken

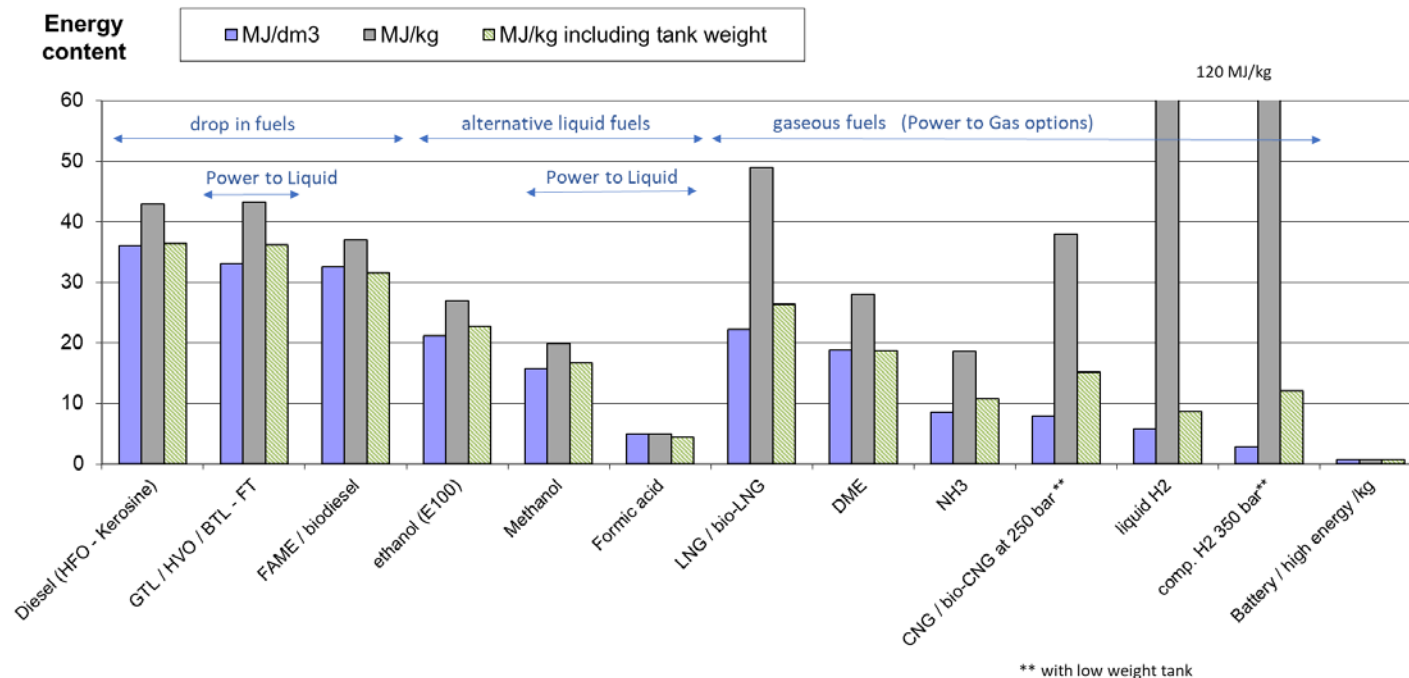
DEEL D – BIJLAGE II: ELECTRIFICATIE

ENERGIEDICHTHEID BRANDSTOFFEN



Exclusief packaging factor (voor cilindrische tanks)

ENERGIEDICHTHEID BRANDSTOFFEN



VAREN OP WATERSTOF

- › In studie van 2016 heeft TNO een inschatting gemaakt van de MKI en embedded CO₂-kentallen voor waterstofproductie en 'verbranding' in schip. In deze analyse is aangenomen dat er duurzame energie is gebruikt voor waterstofproductie:

	Lower Heating Value	Brandstof kosten	MKI		broeikasemissies	
	MJ/kg	€/ton	(€/ton)	(€/MJ)	(kg CO ₂ -eq /ton)	(kg CO ₂ -eq /MJ)
MDO (referentie)	42	550	575.1	0.0137	187.5	0.0893
H₂	120	2500 - 10000	468.7	0.0039	179.7	0.0300

- › Inzet van waterstof verlaagt zowel de MKI als CO₂ t.o.v. diesel.
- › Waterstof is 1.5 tot 6x duurder per MJ energie-inhoud.

DEEL D – BIJLAGE III: ACHTERGROND MONITORING

LUCHTVERONTREINIGENDE EMISSIES

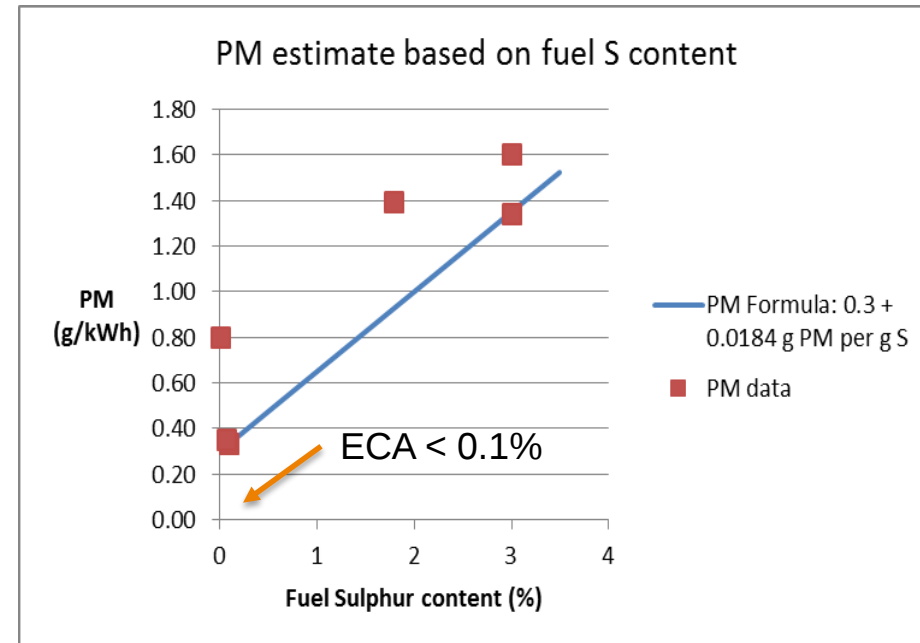
SO_x ALS MONITORING PARAMETER

SO_x-emissie kan gebruikt worden om onderscheid te maken tussen verschillende brandstoffen:

- › MGO – LS HFO (voldoet fuel aan S <0,1%)
- › HVO blend
- › GTL

Zwavelgehalte heeft ook een direct effect op de PM-emissie (binnen de Noordzee Emission Control area's (ECA's) waarvoor geldt dat het zwavelgehalte onder de 0,1% moet liggen)

Zie figuur



Bron: Natural gas in transport [2013]