

TNO / MARIN rapport**TNO 2019 R12156****Verkenning validatie methodieken voor de
transitie naar emissieloze zeevaart****Traffic & Transport**Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	15 december 2019
Auteur(s) / Contactpersoon	Ann Delahaye (TNO) / Christian Veldhuis (MARIN)
Exemplaarnummer	2019-STL-RAP-100330571
Aantal pagina's	32 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Ministerie van I&W
Projectnaam	GD230
Projectnummer	060.42025

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

Samenvatting

Met de op 19 juli 2019 gepubliceerde Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens is de invulling van het regeerakkoord van het kabinet Rutte III van 10 oktober 2019 verder vorm gegeven.

Binnen de Green Deal is er budget beschikbaar gesteld voor de periode 2020-2024 (max 1ME per jaar) waarmee de maritieme sector een breed scala aan duurzame maritieme oplossingen kan valideren. Aldus beschreven in de Green Deal CS203 Artikel 19, lid 8: "I&W is bereid om binnen de relevante wettelijke kaders en in overeenstemming met de toepasselijke mededingingsregels een financiële bijdrage van maximaal €1 miljoen per jaar gedurende de looptijd van de Green Deal voor de in artikel 23, vierde lid, genoemde beoordeling en validatie van technieken beschikbaar te stellen." Technologie-ontwikkelaars, oftewel partijen die duurzame maritiem oplossingen hebben ontwikkeld, kunnen aanspraak maken op een deel van het budget door middel van het indienen van een validatieverzoek voor een innovatieve duurzame oplossing. Om tot een correcte evaluatie en onderlinge waardering van de voorgestelde oplossingen te komen, hebben MARIN en TNO voor de beoordeling een inventarisatie opgesteld van bestaande validatiemethodieken, hun toepassingsgebied en nog benodigde vervolgstappen voor aanwezige blinde vlekken. De validatiemethodiek is, waar mogelijk, gebaseerd op de maritieme sector bestaande methodes die op een effectieve wijze met elkaar gekoppeld zijn. Het kan resulteren in een methodiek die over de individuele kennisgebieden van MARIN en TNO rijkt, hetgeen onderlinge afstemming des te belangrijker maakt.

Om de openstelling van de subsidie in 2020 voor te bereiden is er in 2019 vanuit het ministerie van I&W aan MARIN en TNO gevraagd op dit vlak vooronderzoek te doen. Het werk binnen die studie is in dit rapport gerapporteerd.

De inhoudelijke scope van de studie beperkt zich tot:

- Emissiereductietechnieken die relevant zijn binnen de kaders van de validatieregeling: naast een lijst van mogelijke emissiereductietechnieken, wordt ook een voorstel voor groepering gegeven
- Validatiemethodieken, die relevant zijn voor de hierboven benoemde emissiereductietechnieken, die beschikbaar zijn bij (gerenommeerde) kennisinstellingen: beschikbare validatiemethodieken binnen MARIN en TNO en daarbuiten (waar nodig en voor zover bekend) worden in kaart gebracht.
- De technische criteria die gekoppeld zijn aan de emissiereductietechnieken om de potentiële impact te bepalen. Dit sluit andere criteria uit, zoals de kredietwaardigheid van een indiener.

Tenslotte worden eventuele verdere ontwikkelstappen die nodig zijn om de gewenste oplossingsrichtingen voldoende te kunnen beoordelen en valideren, bepaald door middel van 'blinde vlekken'. Daarnaast is geconcludeerd, dat er technologieën zijn die moeilijk te valideren zijn binnen deze regeling door de benodigde uitgebreidheid, en daarmee kosten.

Inhoudsopgave

	Samenvatting.....	2
1	Inleiding.....	4
1.1	Doel van de studie	4
1.2	Scope van de studie	5
1.3	Werkzaamheden en rapportstructuur	5
1.4	Definities.....	6
1.5	Leeswijzer	6
2	Mogelijke emissiereductietechnieken.....	7
2.1	Alternatieve energiedragers en -opwekkers:.....	8
2.2	Energie-efficiëntie	9
2.3	Operaties ten behoeve van energie efficiëntie	10
3	Procesbeschrijving en beoordelingsmethode	12
4	Validatiemethodieken.....	13
4.1	Globale indeling van de validatiemethodieken	13
4.2	Validatiestappen	14
4.3	Referentievaartuigen en vaarprofielen.....	15
4.4	Toelichting validatiemethodieken.....	16
5	Plan van aanpak voor noodzakelijke ontwikkelstappen.....	27
5.1	Blinde vlek: Operationele vaarprofielen per scheepstype	27
5.2	Blinde vlek: Referentiepunt voor de emissiereductie	28
5.3	Uitzonderingen	28
6	Conclusies & Aanbevelingen.....	29
6.1	Conclusies	29
6.2	Aanbevelingen.....	30
7	Ondertekening	32

1 Inleiding

Met de op 19 juli 2019 gepubliceerde Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens is de invulling van het regeerakkoord van het kabinet Rutte III van 10 oktober 2019 verder vorm gegeven.

Binnen de Green Deal is er budget beschikbaar gesteld voor de periode 2020-2024 (max 1ME per jaar) waarmee de maritieme sector een breed scala aan duurzame maritieme oplossingen kan valideren. Aldus beschreven in de Green Deal CS203 Artikel 19, lid 8: "I&W is bereid om binnen de relevante wettelijke kaders en in overeenstemming met de toepasselijke mededingingsregels een financiële bijdrage van maximaal €1 miljoen per jaar gedurende de looptijd van de Green Deal voor de in artikel 23, vierde lid, genoemde beoordeling en validatie van technieken beschikbaar te stellen." Technologie-ontwikkelaars, oftewel partijen die duurzame maritiem oplossingen hebben ontwikkeld, kunnen aanspraak maken op een deel van het budget door middel van het indienen van een validatieverzoek voor een innovatieve duurzame oplossing. Om tot een correcte evaluatie en onderlinge waardering van de voorgestelde oplossingen te komen, hebben MARIN en TNO voor de beoordeling een inventarisatie opgesteld van bestaande validatiemethodieken, hun toepassingsgebied en nog benodigde vervolgstappen voor aanwezige blinde vlekken. De validatiemethodiek is, waar mogelijk, gebaseerd op de maritieme sector bestaande methodes die op een effectieve wijze met elkaar gekoppeld zijn. Het kan resulteren in een methodiek die over de individuele kennisgebieden van MARIN en TNO rijkt, hetgeen onderlinge afstemming des te belangrijker maakt.

Om de openstelling van de subsidie in 2020 voor te bereiden is er in 2019 vanuit het ministerie van I&W aan MARIN en TNO gevraagd op dit vlak vooronderzoek te doen. Het werk binnen die studie is in dit rapport gerapporteerd.

Naast het werk van TNO en MARIN heeft er gedurende deze periode een aantal werksessies met het ministerie I&W, RVO, NMT, KVR, TNO en MARIN, hierna de *betrokken partijen* genoemd, plaatsgevonden. De uitkomsten daarvan zijn waar mogelijk verwerkt in dit rapport.

1.1 Doel van de studie

De Green Deal Validatie heeft als doel nieuwe en beschikbare emissiereductietechnieken te valideren op hun geclaimde emissiereductie binnen de (zee)scheepvaart. De emissies worden gedefinieerd als CO_{2eq}, NO_x, SO_x en PM en zullen hierna *emissies* genoemd worden in het rapport.

Binnen deze studie zijn de volgende doelen gesteld:

- Het in kaart brengen van bestaande (inter)nationale validatie methodieken waarmee de effecten van duurzame maritieme oplossingen op emissiereductie van een schip en/ of vloot bepaald kunnen worden.
- Het inzichtelijk maken van het toepassingsgebied van deze methodieken in het mogelijk brede veld aan oplossingsrichtingen voor de verduurzaming van de scheepvaart.
- Het bepalen van de eventuele ontwikkelstappen die nodig zijn om de gewenste oplossingsrichtingen voldoende te kunnen beoordelen en valideren.

- Het opstellen van een inhoudelijke beoordelingsmethodiek voor emissiereductietechnieken, die in de Green Deal aangedragen gaan worden. Hiermee wordt een keuzeprocedure voor het in behandeling nemen van de Green Deal validatie-aanvragen gecreëerd waarna een verdere validatie kan plaatsvinden. Een concept van de bijbehorende criteria, opzet en voorbeelden zijn te vinden in de separate memo 'Validatieregeling Dashboard'. Op basis hiervan kunnen de verschillende toekomstige aanvragen objectief worden beoordeeld, of deze passen binnen de Green Deal context en dus als zodanig gebruik kunnen maken van de Green Deal validatiesteun.
- Het bepalen van de relevante (technische) scope van de validatie methodieken. M.a.w.: het bepalen welke emissiereductietechnieken relevant geacht worden binnen de Green Deal validatieregeling.

1.2 Scope van de studie

De inhoudelijke scope van de studie beperkt zich tot:

- Emissiereductietechnieken die relevant zijn binnen de kaders van de validatieregeling.
- Validatiemethodieken, die relevant zijn voor de hierboven benoemde emissiereductietechnieken, die beschikbaar zijn bij (gerenommeerde) kennisinstellingen.
- De technische criteria die gekoppeld zijn aan de emissiereductietechnieken om de potentiële impact te bepalen. Dit sluit andere criteria uit, zoals de kredietwaardigheid van een indiener.

1.3 Werkzaamheden en rapportstructuur

De werkzaamheden in dit project zijn als volgt methodisch opgezet:

1. In kaart brengen van mogelijk te valideren emissiereductietechnieken;
2. Opstellen voorstel procesbeschrijving (van een subsidie aanvraag binnen Green Deal) en het voorstel voor een beoordelingsmethode op basis van een set criteria waarop een emissiereductietechniek wordt beoordeeld (apart memo).
3. In kaart brengen van beschikbare (inter)nationale validatie methodieken (waar nodig en voor zover bekend).
4. Identificatie 'blinde vlekken' in validatietechnieken en opstellen plan van aanpak voor invulling.

De werkzaamheden zijn uitgevoerd in een nauwe samenwerking tussen MARIN en TNO. Hiervoor is een aantal workshops georganiseerd tussen MARIN en TNO en daarnaast waren er verschillende besprekingen met andere betrokken stakeholders, waaronder het Ministerie, RVO, KVMR en NMT. Het uiteindelijke rapport is een gezamenlijk product van TNO en MARIN.

1.4 Definities

Ter verduidelijking volgt hieronder een aantal in het rapport veelgebruikte termen met hun definities.

Validatie:	Een onafhankelijke toetsing van het realiteitsgehalte van door aanvrager geclaimde emissiereductie en toepasbaarheid van zijn technologie.
Validatieproces:	Het gehele proces vanaf indiening van de subsidie-aanvraag tot en met de uitvoering van de validatie.
Validatiemethode:	Het geheel aan validatietechnieken om tot de validatie van een ingediend voorstel te komen.
Validatietechniek:	Specifieke validatietesten en -berekeningen (simulaties) die uitgevoerd moeten worden.
Beoordelingsmethode:	Een stap in het validatieproces voor de daadwerkelijke validatie. Deze stap kan uit één of twee trappen bestaan.

Zoals eerder benoemd in de introductie:

Betrokken partijen:	Ministerie I&W, RVO, NMT, KVNR, TNO en MARIN
Emissies:	CO ₂ eq, NO _x , SO _x en PM

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gepresenteerd van de emissiereductietechnieken. Hierna volgt een procesbeschrijving en het voorstel voor een beoordelingsmethode in hoofdstuk 3. Per type emissiereductietechniek is in hoofdstuk 4 een gedetailleerdere beschrijving van de validatiemethode gepresenteerd. Het bepalen van de noodzakelijke ontwikkelstappen (witte vlekken) wordt besproken in hoofdstuk 5. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 6).

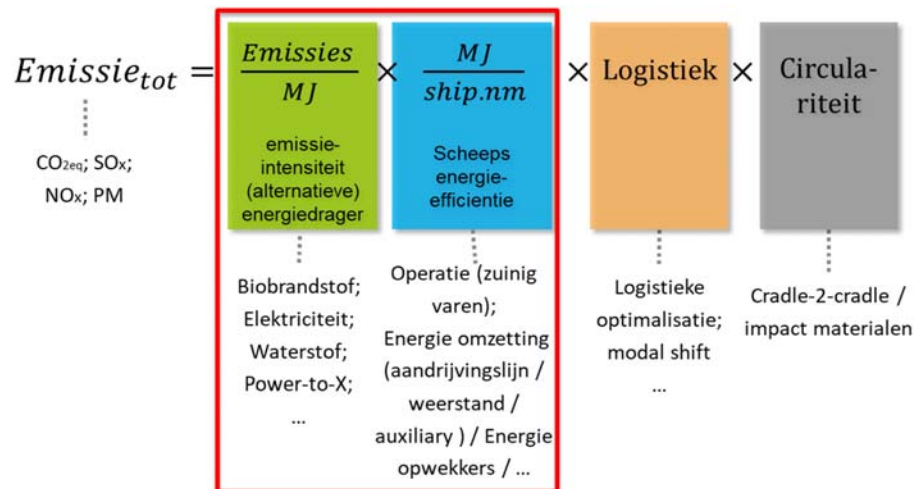
2 Mogelijke emissiereductietechnieken

Het doel van hoofdstuk 2 is het in kaart brengen van mogelijk te valideren emissiereductietechnieken.

In dit hoofdstuk wordt naast een lijst van mogelijke emissiereductietechnieken, ook een voorstel voor groepering gegeven. Figuur 1 laat de integrale aanpak voor het behalen van de doelen van de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens (CS230) zien. Er zijn in hoofdlijnen vier gebieden voor emissie reducerende maatregelen. Deze vier groepen zijn alternatieve energie dragers, energie (omzetting) efficiëntie, logistiek en circulariteit.

De scope van de validatieregeling is met de betrokken partijen als volgt gedefinieerd: "Projecten zijn subsidiabel indien deze gericht zijn op het gebruik van alternatieve brandstoffen, alternatief motorgebruik, voor- of nabehandelingstechnieken of motormanagement, ontwerp, inrichting en gebruik van het schip ten behoeve van de reductie van CO_{2eq}, NO_x, SO_x, en PM bij de voortstuwing van voor de scheepvaart gebruikte schepen", waarbij de techniek fysiek aan het schip dient te zitten.

Vanuit deze scope worden de groepen van mogelijke emissiereductietechnieken initieel opgedeeld in twee categorieën: *Alternatieve Energiedragers*, *Energie-efficiëntie*. De groep energie-efficiency is breed, en omvat zowel efficiëntere aandrijving binnen en buiten het schip, inclusief opwekkers als additionele wind voortstuwing, als ook maatregelen om de scheepsweerstand te verlagen. Daarnaast omvat energie-efficiëntie ook operationele technieken die het zuinig varen ondersteunen. Oftewel, het rood omlijnde gebied in Figuur 1.



Figuur 1: Geïntegreerde aanpak maritieme energie transitie.

Logistiek en Circulariteit vormen als zodanig geen onderdeel van de Green Deal Validatie, want dit wordt in andere regelingen afgevangen. Echter, als emissiereductiegebied blijven ze natuurlijk bestaan.

In de volgende paragrafen worden de categorieën emissiereductietechnieken achtereenvolgens uitgebreid toegelicht. De lijst vormt een leidraad om technieken op te nemen of juist uit te sluiten in de validatieregeling.

2.1 Alternatieve energiedragers en -opwekkers:

Deze categorie wordt onderverdeeld in de volgende subgroepen:

1. Alternatieve brandstoffen in een verbrandingsmotor.
Hieronder wordt verstaan duurzame brandstof, die wel al dan niet in aangepaste verbrandingsmotoren gebruikt kan worden.
2. Alternatieve energiedragers met een andere energieomzetter:
Deze groep omvat nieuwe energiedragers zoals elektrisch (via accu's) en waterstof, waarvoor ook nieuwe energieconvector naar mechanische energie nodig is (bv. brandstofcellen en elektromotoren).
3. Energie-opwekkers en restwarmte terugwinning:
Deze groep omvat bijvoorbeeld zonnecellen als energieopwekker en het gebruik van restwarmte van bijvoorbeeld koelwater en uitlaatgas. Dit kan dan gebruikt worden om een energieomzetter aan te drijven of om direct te gebruiken als verwarming voor ruimtes of lading.

Onderstaande tabel presenteert een aantal voorbeeld emissiereductietechnieken per subgroep.

Tabel 1: Gecategoriseerde emissiereductie technieken.

Alternatieve energie dragers en opwekkers subgroepen	Voorbeelden reductietechnieken
Alternatieve brandstoffen in een verbrandingsmotor	Toepassing van biodiesel, HVO, (bio)LNG, methanol, ethanol, LPG, NH3, H2, DME, GTL etc. in een nieuwe motor of als retrofit (incl. ombouw naar dual-fuel)
Alternatieve energiedragers met een andere energieomzetter	Als hoofdaandrijving of als hulpvermogen, voorbeelden: - batterij-elektrisch, flow batterij - waterstof brandstofcel- NH3, MeOH in brandstofcel - ijzerpoeder - waterstofdragers (NaBH4, LOHC)
Energie-opwekkers en rest warmte terugwinning	- zonne-energie, zonnecellen - windenergie naar elektrisch - restwarmte terugwinning: uitlaatgas, koelwater, etc.

2.2 Energie-efficiëntie

Deze categorie wordt onderverdeeld in de volgende 5 subgroepen:

1. Aanpassing aandrijfsystemen en energie distributie aan boord via systeemintegratie:
Bijvoorbeeld het vervangen van conventionele verbrandingsmotoren met een directe schroefas naar een aandrijving via elektrische systemen.
2. Aanpassingen aan motoren en generator sets:
Hierbij betreft het aanpassingen of vervanging van motoren gericht op het verbeteren van de energie-efficiëntie. Ook kan dit gericht zijn op alleen een verbetering van de besturing van de motoren in relatie tot het totale energiesysteem.
3. Emissiebehandelingssystemen:
Bijvoorbeeld Selective Catalytic Reduction (SCR) deNOx katalysatoren en roetfilters, maar ook CO₂ afvangen (CCUS, carbon capture, utilisation and storage) kan hieronder vallen.
4. Scheepsweerstand:
Dit omvat een breed gebied variërend van technieken die (lokaal) de stroming beïnvloeden (zoals wrijvingsreducerende coatings en oppervlakte-behandelingen) tot hydrodynamische aanpassingen aan de romp en anhangsels.
5. Scheepsvootstuwung:
Deze groep richt zich enerzijds op de voortstuwur met bijvoorbeeld vergroot oppervlak, of combinaties met schroefinstroomverbeterende anhangsels en anderzijds op maatregelen zoals additionele wind voortstuwung (WASP, Wind Assisted Ship Propulsion).

Het item “operaties (ten behoeve van energie efficiëntie)” wordt ten behoeve van structuur en leesbaarheid apart besproken en onderverdeeld.

Onderstaand volgt een meer gedetailleerd overzicht per subgroep.

Tabel 2: Subgroepen emissiereductietechnieken van energie-efficiëntie.

Energie-efficiëntie subgroepen	Voorbeelden reductietechnieken
Aanpassing aandrijfsystemen en energie distributie aan boord via systeemintegratie	- Vervanging conventionele aandrijving door dieselelektrische of parallel hybride aandrijving - Toepassing as-generatoren, als onderdeel voortstuwungssysteem. - Toevoeging accu als energiebuffer - Verbetering besturing van hybride aandrijfsystemen
Aanpassingen aan motoren en generator sets	- Vervanging van motoren door zuinigere motoren of generator sets - Her-optimalisatie van motoren voor lager verbruik - Simpele aanpassing generator sets, hulpvermogen

Energie-efficiëntie subgroepen	Voorbeelden reductietechnieken
	- Verbetering besturing van motoren en generators sets - Optimalisatie van besturing van hulpvermogen en/of hoofdaandrijving - Verbeterde elektrische distributienetwerken aan boord
Emissie nabehandelingssystemen	- Toepassing SCR (selectieve katalytische reductie) oftewel, NOx nabehandeling - Innovatieve (deNOx) nabehandeling - Toepassing roetfilters Overige emissiereductie technieken: - Brandstofwater-emulsie, EGR (uitlaatgasrecirculatie) - Additieven - CO₂ afvangen (CCUS, carbon capture, utilisation and storage)
Scheepsweerstand	- Luchtsmering - Wrijvingsreductie (coatings, grenslaag manipulatie) - Anti-aangroei: coatings, ultrasound, Ultra Violet licht - Hydrodynamische verbeteringen t.b.v. weerstand - Aerodynamische verbeteringen, o.a. opbouw schip
Scheepsvoortstuwing	- Hydrodynamische verbeteringen t.b.v. voortstuwing (zogenaamde Energy Saving Devices (zoals stroombuis, vin,), groot oppervlak voorstuwers) - Alternatieve voortstuwing, zoals vin-voortstuwing - Additionele wind voortstuwing: dynarig, wingsails, suction sail, flettner, etc)

2.3 Operaties ten behoeve van energie efficiëntie

Dit wordt onderverdeeld in de volgende technieken:

1. Reis- en route-optimalisatie;
2. Monitoring tools: Dit betreft vooral tools welke parameters voor brandstofverbruik en energieprestatie aan boord monitoren en vervolgens advies aan de bemanning geven over de mogelijkheden om energie te besparen. Dit kan zowel direct zijn via prestatie en/of adviezen op een display in het schip, als ook indirect via post-processing van data en rapportage of opleiding.

Onderstaand volgt een meer gedetailleerd overzicht van reductietechnieken per subgroep.

Tabel 3: Subgroepen emissiereductietechnieken aangaande operaties ten behoeve van energie efficiëntie.

Operaties	Voorbeelden reductietechnieken
Reis- en routeoptimalisatie	- Weer routing - Vaarprofiel – ETA (Estimated Time of Arrival) - Hydrostatische verbeteringen (gewichtsbeparing, beladingsoptimalisatie, etc.)
Monitoring tools	- Brandstofverbruik monitoring tools (met dashboard) - Monitoring emissiecontrole systeem - Advies tools voor betere bediening energiesystemen - Koppel en stuwkracht meting - Torsietrilling (verbetering onderhoud)

3 Procesbeschrijving en beoordelingsmethode

Het doel van hoofdstuk 3, is het opstellen van een procesadvies voor de validatie van de emissiereductietechnieken. Binnen dit proces advies vallen de criteria waaraan de impact van de emissiereductietechnieken getoetst kunnen worden.

Dit heeft geresulteerd in een procesoverzicht, een set aan criteria en een voorbeeld dashboard dat gebruikt kan worden in de beoordelingsmethode. De specifieke weging van specifieke criteria, en vaststelling van de exacte criteria zijn geen onderdeel van de scope van deze studie, en dient mede door de betrokken partijen bepaald te worden.

De aangeboden emissiereductietechnieken kunnen worden beoordeeld op een viertal criteria. De criteria omvatten: emissiereductie (zoals geclaimd door de indiener), generieke toepasbaarheid, economie en toekomstperspectief. De validatie die daarna volgt is een technische analyse om de reductie in energieverbruik en emissies te kwantificeren en daarmee de verwachte reductie te kunnen bevestigen of niet. Over het algemeen zal dit gedaan worden voor verschillende referentievaartuigen, met een bijbehorend vaarprofiel.

Omwille van de losstaande afronding van dit advies, zijn de resultaten hiervan terug te vinden in de memo "Validatieregeling dashboard - Beoordelingsmethode emissiereductie technieken voor de (zee)scheepvaart".

4 Validatiemethodieken

Het doel van Hoofdstuk 4 is het in kaart brengen van beschikbare validatiemethodieken binnen MARIN en TNO en daarbuiten (waar nodig en voor zover bekend). In het aangeleverde Excel bestand staan onderstaande zaken in een tabel samengevat waarbij is aangegeven of de expertise (de inzet van een validatietechniek) specifiek ligt bij een kennispartij of dat er gedeelde expertise is.

4.1 Globale indeling van de validatiemethodieken

De validatiemethode is het geheel aan validatietechnieken om tot de validatie van een ingediend voorstel te komen. De validatietechnieken bestaan bijvoorbeeld uit metingen in een laboratorium of op een schip of uit modelsimulaties. Hierbij kunnen meestal maar een beperkt aantal situaties nagebootst worden, maar er moet wel een uitspraak gedaan worden over de efficiëntie van de emissiereductietechniek in de praktijk. Dit betekent dat er pre- en postprocessing stappen nodig zijn. Preprocessing om te bepalen welke condities representatief zijn voor de praktijk. Postprocessing om de resultaten te vertalen naar de praktijk.

De volgende validatietechnieken zijn gecategoriseerd in de volgende validatiemethodes:

- Modelleren (hoofdzakelijk via computermodellen):
 - o Scheepsweerstand en/of voortstuwingmodelleren
 - o Energiesysteem modelleren
 - o Geavanceerde berekeningen (bijvoorbeeld viskeuze omstromingsberekeningen (RANS CFD))
- Testopstelling (hoofdzakelijk via bestaande testfaciliteiten):
 - o Metingen in een sleeptank of windtunnel
 - o Metingen op motor/vermogenssysteem proefstand
 - o Metingen op een schip
- Dataregressie (hoofdzakelijk als praktijk bewijsvoering):

Tijdens de regeling zal de specifieke emissiereductietechniek worden gekoppeld aan de benodigde validatiemethode, om de gemaakte technische claim te kunnen valideren. Twee voorbeelden met emissiereductietechnieken zijn te zien in Tabel 4. Meer detail over alle voorziene emissiereducties en beoogde validatiemethodes is beschikbaar bij de betrokken partijen.

Daarnaast worden de emissiereductie technieken en de bijbehorende validatiemethode in meer detail toegelicht in Sectie 4.4.

Tabel 4: Voorbeelden van de koppeling van validatie methodes met een tweetal emissiereductietechnieken.

Emissie reductie technieken			Validatie methodes			
Hoofdcategorie	Subgroep	Verwachte emissiereductietechnieken	Validatiemethode match	(+/-) Budget in k€	(+/-) Doorlooptijd in weken	(primaire) Kennisinstelling
Alternatieve energiedragers en opwekking	Subgroep 1: Alternatieve brandstoffen in een verbrandingsmotor	Toepassing van biodiesel, HVO, (bio)LNG, methanol, ethanol, LPG, NH3, H2, DME, GTL etc. in een nieuwe motor of als retrofit (incl. ombouw naar dual-fuel)	Testopstelling emissie- en efficiëntie metingen op de proefstand (motor < 650 kW)	30 - 60	12	TNO (Powertrains Test Center)
			Buitenlandse labs: proefstanden incl. > 1MW	onbekend	onbekend	VTT, U. Rostock, NTNU, U. Graz (LEC), FEV, AVL, Recardo, U. Gent, DTI
Energie efficiëntie	Subgroep 1: Hybride aandrijfsystemen en energie distributie aan boord	Vervanging conventionele aandrijving door dieselelektrische of parallel hybride aandrijving. Toepassing as-generatoren, Toevoeging accu als energiebuffer, Verbetering besturing van bestaande hybride aandrijfsystemen	Testopstelling waarin machinekamer configuraties kunnen worden getest op onderlinge afhankelijkheid inclusief schroefbelasting	50	12	MARIN (Zero Emission Lab)

4.2 Validatiestappen

Om de stappen van de validatiemethode verder te kunnen toelichten, is het goed om het validatieproces op te splitsen in de volgende onderdelen:

1. Het bepalen van de uitgangspunten;
2. Het bepalen van het gedetailleerde meet en/of simulatieprogramma;
3. Het uitvoeren van het meet- en/of simulatieprogramma;
4. Het analyseren van de resultaten; en
5. Het schriftelijk rapporteren.

Stap 1 en een groot deel van stap 2 zijn onderdeel van een voorfase die nodig is om te komen tot een projectbeschrijving en kostenberekening van het validatieprogramma. In die fase wordt ook bepaald of de validatietechniek in Nederland beschikbaar is. Het kan zijn dat voor bepaalde technieken, uitgeweken moet worden naar het buitenland.

Onderstaand volgt een verdere toelichting op de stappen in de validatie:

1. Het bepalen van de uitgangspunten:
 - a. Definitie precieze doelstelling en resultaat
 - b. Bepalen referentie: Geschiktheid referentieschepen, eventueel keuze additioneel referentieschip, zie ook witte vlekken in §4.3.
 - c. Bepalen vereiste nauwkeurigheid van het resultaat
2. Het bepalen van het gedetailleerde meet en/of simulatieprogramma:
 - a. Validatietechniek opties vergelijken en het bepalen van de referentiepunten voor de simulaties of metingen.
 - b. Keuze maken welke fysica meegenomen moet worden in de validatie en welke zaken als secundair beschouwd kunnen worden.
 - c. Overleg met partijen zoals leverancier, eindgebruiker, etc..
 - d. Het kostenmatig doorrekenen van de opties.

- e. Nagaan of referentieschipinformatie in voldoende detail beschikbaar is. Zo niet dan moet deze ook gemeten of doorgerekend worden. In veel gevallen bestaat een validatie uit een directe vergelijking tussen de referentiesituatie en de nieuwe situatie (reductietechniek toegepast). Als het niet nodig is, dan is dat vaak kostenbesparend.
- 3. Het uitvoeren van het meet- en/of simulatieprogramma:
 - a. Voorbereiding zoals het laten maken of uitbesteden van bepaalde onderdelen voor de validatie of voor een meting. Precieze afspraken maken met de deelnemende partijen.
 - b. Uitvoeren van metingen en/of simulaties
 - c. Het vertalen van de resultaten naar de resultaten in de praktijk, namelijk de referentieschepen met referentie vaarprofiel.
- 4. Het analyseren van de resultaten:
 - a. Nagaan of resultaten aan nauwkeurigheds- en kwaliteitseisen voldoen en theoretisch of praktisch onderbouwd kunnen worden. Vergelijking met publicaties of eerder uitgevoerde metingen of simulaties.
- 5. Het schriftelijk rapporteren:
 - a. Het schriftelijk rapporteren van de resultaten. Gestreefd wordt naar een standaard rapportage waarbij de reductietechniek beoordeeld wordt aan de hand van twee of drie referentiescheepstypen met standaard vaarprofiel.

4.3 Referentievoertuigen en vaarprofielen

Het referentievoertuig en -vaarprofiel zijn belangrijk voor het bepalen van de emissiereductie voor een reductietechniek. Een reductietechniek werkt meestal beter op het ene vaartuigtype en vaarprofiel dan op het andere. Daarnaast kan dat ook gelden voor de grootte van het vaartuig of van de motor of het vermogenssysteem.

Het voorstel is om voor de Green Deal Validatie projecten een set referentie voertuigen met bijbehorend vaarprofiel te ontwikkelen in overleg met NMT en KNVR en deze als uitgangspunt te gebruiken (zie ook H5). Het aandrijftype van de referentie (bijvoorbeeld directe aandrijving, diesel / elektrisch) zal moeten aansluiten bij de standaard voor recente nieuwe schepen. Voor het energieverbruik en de emissieklasse wordt voorgesteld uit te gaan van vlootgemiddelde en gemiddelde vaarsnelheden van 2018 en emissieklasse Tier II, met MGO 0,1%S als standaard brandstof voor de zeevaart en EU Stage V voor de binnenvaart. Het kan zijn dat afwijkingen op de referentie schepen belangrijk zijn, bijvoorbeeld in de volgende gevallen:

- Een alternatieve brandstof met lage emissies (bijvoorbeeld Tier III NOx): in dat geval is het goed om extra referentie schepen te definiëren met Tier III nabehandeling i.c.m. diesel.
- Een reductietechniek is speciaal ontwikkeld voor een type of grootte schip dat duidelijk buiten de standaard typen valt.

Waarschijnlijk zijn met betrekking tot de gedetailleerdheid, twee vaarprofielen nodig om de totale breedte van de reductietechnieken goed te kunnen bedienen:

- A. Een relatief eenvoudig vaarprofiel op basis van tijdsgemiddelden: Dit bestaat uit een matrix met ca 5 tot 10 vaarcondities met daarbij weegfactoren voor het aandeel in de tijd (aantal vaaruren per conditie per jaar).

De benodigde parameters zijn: vaarsnelheid, brandstofgebruik, motorvermogen, hulp-motorvermogen en eventueel cargo-lading. De vaarprofielen voor de zeevaart kunnen waarschijnlijk afgeleid worden van de recent geïntroduceerde EU MRV rapportages (Monitoring, Reporting and Verification of CO₂ emissions).

B. Een meer gedetailleerd vaarprofiel:

Dit kan een gestileerd energieprofiel zijn met het energieverbruik voor alle gebruikers per uur, of een daadwerkelijk registratie van een schip gedurende een route welke past bij het referentievaarprofiel. Alle gebruikers omvatten met name hoofdaandrijving, energie voor hotelfunctie, eventuele verwarming/koeling van lading en (eventueel) boegschroeven. Desgewenst kan het gedetailleerde vaarprofiel ook pas in een concreet validatieproject geconfigureerd of opgenomen worden.

Het meer gedetailleerde vaarprofiel is waarschijnlijk nodig voor het beoordelen van hybride aandrijfsystemen, additionele wind voortstuwing en aanpassingen aan de besturing en/of configuratie van conventionele aandrijfsystemen.

De referentievaartuigen zullen in nauw overleg met de betrokken partijen gekozen worden. Desgewenst kan gebruik gemaakt worden van eerdere projecten waarin referentievaartuigen gedefinieerd zijn, bijvoorbeeld het MIIP project alternatieve brandstoffen (2019) waarin een vijftal typische schepen zijn gedefinieerd voor Nederlandse reders.

Het voorstel is om de emissiereductietechniek steeds te evalueren over drie relevante scheepstypen (met 1 standaard vaarprofiel).

Nadat de referentieschepen en vaarprofielen gedefinieerd zijn, zal ook een eenvoudig aandrijflijn-energiemodel gemaakt worden. Dit bestaat uit de componenten i.e. motoren, tandwielkast, generatorsets met daarbij de rendementen en uitstoot bij de verschillende vaarsnelheden.

Bovenstaande zal voor de start van de Green Deal Validatie in Werksessies met de betrokken partijen moeten worden vastgesteld en uitgewerkt.

4.4 Toelichting validatiemethodieken

In dit hoofdstuk worden per emissiereductie (sub)gebied, zoals gedefinieerd in hoofdstuk 2, mogelijke validatiemethodieken besproken.

4.4.1 *Alternatieve energiedragers en opwekking*

Ten eerste wordt het energiesysteem op een eenvoudige manier gemodelleerd (stationaire energiebalans) om te kunnen bepalen in hoeverre de energiedrager en de opwekkingsmethodiek het scheepsontwerp beïnvloedt. Een effect op het scheepsontwerp kan weer invloed hebben op de emissies, door bijvoorbeeld een grotere energiebehoefte door toegenomen scheepsgewicht.

De fysische eigenschappen van de energiedragers en de opslagmethodiek zullen in een rekenmodel geplaatst worden dat kijkt naar energiebalansen, gewicht en volume verdelingen. Daarbij zal ook rekening gehouden worden met de energieomzetting en de eventueel benodigde voorbehandeling van de energiedrager om toegepast te kunnen worden in de energieomzetter.

Daarna volgt de daadwerkelijke validatie waarin drie subgroepen worden onderscheiden:

- Alternatieve brandstoffen in een verbrandingsmotor (biodiesel, (bio)LNG, methanol, ethanol, NH₃, H₂, E-brandstoffen, metaalverbranding)
- Alternatieve energiedragers met een andere energieomzetter (batterij-elektrisch, brandstofcel)
- Energie-opwekkers zoals zonne- en windenergie

4.4.1.1 *Alternatieve brandstoffen in een verbrandingsmotor*

Bij een motor op alternatieve brandstof zijn over het algemeen de volgende prestaties van belang:

- Emissies over het belastinggebied van de motor
- Brandstofverbruik of energie efficiëntie over het belastinggebied
- Specifiek vermogen en dynamische responsie

Test op motorproefstand:

Deze parameters zijn het beste te meten op een motorproefstand. Dit is kostbaar, en vraagt daarmee afdoende (financiële) toezeggingen van een indiener. Er moet ook een motor en een proefstand voor de juiste motorgrootte beschikbaar zijn. Bij grote motoren (groter dan ca 1,5 MW) zal naar het buitenland moeten worden uitgeweken of kan worden gewerkt met opschaling indien mogelijk.

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Het meten van de motor op de proefstand over het normale belastinggebied van de motor, met name t.a.v. brandstofverbruik en emissies. Dit kunnen stationaire metingen zijn eventueel aangevuld met enkele veel gebruikte motorbelastingen.
2. Het beschikbaar krijgen van emissies en brandstofverbruik van een diesel referentie motor (indien in voldoende detail beschikbaar). Indien niet beschikbaar dan moet ook de dieselmotor op de proefstand of in een schip gemeten worden).
3. Controleren of de resultaten logisch zijn en in overeenstemming met typekeuring en/of specificaties leverancier.
4. Berekening van de resultaten in de praktijk aan de hand van een of meerdere vaarprofielen.
5. Optioneel. Beoordeling nieuwe motor op dynamische aspecten i.v.m. operationeel gedrag en veiligheid. Over het algemeen kan volstaan worden met aanleveren van bewijsmateriaal door de leverancier. Ook kan het gecombineerd worden met de proefstandmeting onder punt 1, mits de proefstand hier geschikt voor is.
6. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
7. Het rapporteren van de resultaten.

Test op een schip:

Dit kan alleen onder bepaalde voorwaarden. Het meten van sommige emissies is goed te doen, omdat dat ook wel kan zonder een nauwkeurige vermogensbepaling van de motor. De invloed van de alternatieve brandstof op energieverbruik en CO₂ emissie is echter moeilijk nauwkeurig te bepalen.

Als de claim alleen betrekking heeft op reductie van NO_x, PM:

1. Het meten van NO_x, PM concentraties en brandstofgebruik over het belastinggebied van de motor (tijdens een representatief vaartraject).
2. Het meten of beschikbaar krijgen van dezelfde resultaten van een referentie dieselmotor (dat kan op een vergelijkbaar zusterschip of op hetzelfde schip voor ombouw naar de alternatieve brandstof).
3. Controleren of de resultaten logisch zijn en in overeenstemming met typekeuring en/of specificaties leverancier.
4. Berekening van de resultaten in de praktijk aan de hand van een of meerdere vaarprofielen.
5. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
6. Het rapporteren van de resultaten.

Als de claim zowel betrekking heeft op reductie van CO₂ als van NO_x en PM dan zullen in de stappen 1 en 2 tevens motor- of schroefkoppel en eventueel stuwkracht nauwkeurig gemeten moeten worden. Dat is een behoorlijke extra complexiteit omdat maar weinig schepen daarmee uitgerust zijn.

4.4.1.2 *Alternatieve energiedragers met een andere energieomzetter*

Deze categorie omvat batterij-elektrische en brandstofcel elektrisch energie-omzetters als hoofdaandrijving voor het schip. Dit kunnen sterk uiteenlopende batterij en brandstofcel technologieën zijn (e.g. Li-ion, redox flow batterij, H₂, NH₃, etc.). Er wordt vanuit gegaan dat de nieuwe aandrijving vergeleken moet worden met een dieselmotoraandrijving. De focus zal over het algemeen volledig liggen op de analyse van het energieverbruik en de praktische gebruiksomstandigheden zoals range (autonomie / bunkerfrequentie) en ruimte-inname.

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Het bepalen van het gedetailleerde meet- en simulatieprogramma.
2. Het bepalen van het belastingprofiel van de energie-omzetter voor een of meerdere referentieschepen.
3. Het meten van de energieomzetter op een proefstand over het normale belastinggebied, met name t.a.v. het energieverbruik.
4. Het beschikbaar krijgen van emissies en brandstofverbruik van een diesel referentie schip.
5. Het modelleren van het energieverbruik met de nieuwe energie-omzetter en een diesel referentieschip aan de hand van een of meerdere referentieschepen.
6. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
7. Het rapporteren van de resultaten.

4.4.1.3 *Energie-opwekkers en restwarmteterugwinning*

Deze groep omvat twee delen:

- alternatieve energie-opwekkers waarbij de energie direct wordt toegevoegd aan het binnenboord energiesysteem, zoals fotonvoltaïsche zonne-energie en wind naar elektrische energie.

- Restwarmteterugwinning: het gebruik van restwarmte uit energiesystemen, met name uit de uitlaatgassen en het koelwater van de motor. Deze warmte kan vervolgens gebruikt worden voor van mechanische of elektrische energie, of het kan gebruikt worden voor interieur of lading verwarming of koeling.

Alternatieve energie-opwekkers

De validatie voor alternatieve energie opwekkers richt zich op twee vlakken:

1. Het bepalen van de effectiviteit van de omzetter in verschillende stationaire dienstomstandigheden in een gecontroleerde omgeving (lab, wind windtunnel, ...)
2. Het modelleren van de energieopwekking aan de hand van een of meerdere vaarprofielen gekoppeld aan weersdata.

Restwarmteterugwinning

Restwarmteterugwinning is een breed gebied, waarbij in sommige gevallen volstaan kan worden met een eenvoudige berekening of simulatie, terwijl in andere gevallen een uitvoerig meetprogramma nodig is of een combinatie van metingen aan boord en simulaties. Een uitvoerig programma zal vaak nodig zijn als claims voor verschillende referentieschepen onderzocht moeten worden. Onderstaand wordt volstaan met een korte toelichting op een validatie aan de hand van simulaties en een validatie aan de hand van metingen aan boord.

Validatie aan de hand van simulaties

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Bepaling van de uitgangspunten; nagaan of een gedetailleerde simulatie nodig is aan de hand van een dynamisch belastingsprofiel, of dat volstaan kan worden met een eenvoudig belastingsprofiel aan de hand van tijdsgemiddelden van 5 tot 10 vaarcondities. Afhankelijk van de inzet van de restwarmte kunnen de energiebehoefte voor hotelfunctie, en verwarming/koeling van lading belangrijk zijn.
2. Het doorrekenen van de conventionele (referentie) aandrijving en de nieuwe aandrijving met een aandrijflijnmodel, en aan de hand van een of verschillende referentie schepen met bijbehorend vaarprofiel.
3. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
4. Het rapporteren van de resultaten.

Validatie aan de hand van metingen aan boord van een schip

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Bepaling van de uitgangspunten; precieze doelstelling, scope, vereiste nauwkeurigheid.
2. Het opstellen van het meetprogramma. Het specificeren van de manier waarop de energiestromen gemeten kunnen worden, inclusief de restwarmte-energie en het totale energieverbruik van het schip.
3. Het uitvoeren van de metingen. Bij de metingen zullen de belangrijke parameters over het algemeen continue gelogd worden. Dit omvat vooral de vaarprestatie en het energieverbruik.
4. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
5. Het rapporteren van de resultaten.

4.4.2 *Energie-efficiëntie (en emissiereductie)*

Hieronder vallen de volgende reductietechnieken:

- Hybride aandrijfsystemen en energiedistributie aan boord
- Aanpassingen aan motoren en generator sets en besturing
- Emissiecontrole systemen
- Scheepsweerstand
- Scheepsvootstuw

De eerste twee groepen reductietechnieken kunnen voor de validatiemethode samengevoegd worden.

4.4.2.1 *Hybride aandrijfsystemen en energie distributie aan boord en aanpassingen aan motoren en generator sets en besturing*

Dit zijn bijvoorbeeld:

- aanpassingen aan motoren en generator sets en besturing
- apart DC netwerk voor LED verlichting en andere laagspanning verbruikers

Validatie aan de hand van simulaties

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Bepaling van de uitgangspunten; precieze doelstelling, scope, vereiste nauwkeurigheid en referentievaartuigen. Voor een simulatieonderzoek van deze reductietechnieken is een vrij gedetailleerd vaar- en belastingsprofiel nodig. Dit kan een gestileerd energieprofiel zijn met het energieverbruik voor alle gebruikers per uur, of een daadwerkelijk recording van een schip gedurende een route welke past bij het referentievaarprofiel. Alle gebruikers omvatten met name hoofdaandrijving, energie voor hotelfunctie, eventuele verwarming/koeling van lading en (eventueel) boegschroeven.
2. Het doorrekenen van de conventionele (referentie) aandrijving en de nieuwe aandrijving met een aandrijflijnmodel, en aan de hand van een of verschillende referentie schepen met bijbehorend vaarprofiel. Over het algemeen zullen de specificaties van de componenten zoals efficiëntie en verliezen bekend zijn en ter beschikking gesteld worden. Als dat niet het geval is, dan zullen daar metingen voor gedaan moeten worden. Het zo nodig uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse.
3. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
4. Het rapporteren van de resultaten.

Validatie aan de hand van metingen in het lab op laag vermogen.

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Zoals hierboven bij simulaties gedefinieerd
2. Het meten van de dynamische response van het systeem en het energieverbruik. Indien gewenst kunnen ook emissiemetingen gedaan worden.
3. Het vertalen van de resultaten naar het ware grootte systeem (opschalen).
4. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe vergelijk het met andere resultaten indien beschikbaar.
5. Het rapporteren van de resultaten.

Validatie aan de hand van metingen aan boord van een schip

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Bepaling van de uitgangspunten; precieze doelstelling, scope, vereiste nauwkeurigheid.
2. Het beoordelen van het beschikbare schip of schepen voor het uitvoeren van de metingen en het bepalen van de meetmethode. Dit kan een gedetailleerde meting zijn van de belangrijke energiestromen, of het kan een meer globale metingen zijn die over langere tijd wordt uitgevoerd (statistische meting). In beiden gevallen is het nodig om een basis/referentie meting te doen en een meting met het nieuwe systeem (hybride componenten, aangepaste besturing, etc.). Dit kan op hetzelfde schip gedaan worden, dat omgebouwd wordt, of zo nodig op twee zusterschepen.
3. Het uitvoeren van de metingen. Bij de metingen zullen de belangrijke parameters over het algemeen continue gelogd worden. Dit omvat altijd de vaarprestatie en het energieverbruik, en indien gewenst ook de verontreinigende uitstoot.
4. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
5. Het rapporteren van de resultaten.

4.4.2.2 *Emissie nabehandelingssystemen*

Hieronder vallen:

- emissienabehandelingssystemen zoals Selective Catalytic Reduction (SCR) nabehandeling, roetfilters brandstofwateremulsie, EGR systemen.
- CCUS: Carbon Capture, Utilisation and Storage

Er wordt vanuit gegaan dat de claim betrekking heeft op de verontreinigende emissies (NO_x, PM) via nabehandelingssystemen en niet op energie-efficiency. Bij een combinatie van reductie van verontreinigende uitstoot en CO₂ uitstoot, wordt de variant met een meting op de proefstand aanbevolen.

Test op motorproefstand of op een schip:

Deze parameters zijn het beste te meten op een motorproefstand. Dit is wel behoorlijk kostbaar en er moet ook een motor en een proefstand voor de juiste motorgrootte beschikbaar zijn. Bij grote motoren (groter dan ca 1,5 MW) zal naar het buitenland moeten worden uitgeweken of kan worden gewerkt met opschaling van resultaten indien mogelijk Zie 4.4.1.1 voor de validatiemethode.

4.4.2.3 *Scheepsweerstand*

Hieronder vallen o.a.:

- Hydrodynamische verbeteringen (scheepsvorm en aanhangsels);
- Aerodynamische verbeteringen, o.a. opbouw schip; en
- Luchtsmering, wrijvingsreductie (coatings, grenslaag manipulatie), anti-aangroei (het tegengaan van aangroei, door bijvoorbeeld coatings, ultrasound, Ultra Violet licht).

Hydrodynamische (en aerodynamische) verbeteringen door vorm en aanhangsels kan op volgende manieren gedaan worden:

Validatie aan de hand van simulaties

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Bepalen van het schip en vaarcondities en de locatie/geometrie van de weerstandsreductie techniek.
2. Het genereren van een numerieke representatie van het schip en de weerstandsreductie techniek.
3. Berekeningen op meerdere condities waarin de weerstand wordt bepaald met en zonder weerstandsreductie techniek
4. Op basis van een operationeel profiel bepalen van de totale weerstandsreductie en omrekenen naar vermogensreductie, brandstofverbruikreductie en daarmee emissiereductie.
5. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
6. Het rapporteren van de resultaten

Validatie aan de hand van metingen in het lab.

De validatie in het lab is nagenoeg gelijk aan de berekeningen waarbij er in plaats van een numeriek model een fysiek model van het schip en de weerstandsreductie techniek wordt gemaakt.

Validatie aan de hand van metingen aan boord van een schip

Voor validatie aan boord moet het mogelijk zijn om de weerstandsreductietechniek 'eenvoudig' te verwijderen of uit te schakelen. Dit zal bij grote wijzigingen (denk aan rompwijzigingen, of grote aanhangsels aan het schip) niet altijd eenvoudig zijn. Tevens moeten de metingen gedaan worden op een beschikbaar schip waarbij er een referentie meting gedaan moet worden zonder weerstandsreductietechniek.

Aandachtspunt

Als een weerstandreductietechniek zich richt op een verbetering van de prestatie in bijvoorbeeld zwaar weer (denk aan specifieke rompvormen) dan zal dat in het operationele profiel naar voren moeten komen. Tevens is het bepalen van weerstandsreductie in golven een statistisch gedomineerd probleem waarmee de emissiereductie niet eenvoudig is vast te stellen.

Discussie aangaande luchtsmering, en anti-aangroei

Voor luchtsmering, wrijvingsreductie en anti-aangroei ligt een daadwerkelijke validatie iets complexer dan voor aero- en hydrodynamische verbeteringen. Een typisch validatie stappenplan zoals hierboven gegevens voor aero- en hydrodynamische verbeteringen wordt dan ook niet gegeven. De validatiemethodiek wordt algemener omschreven. Indien een emissiereductietechniek op dit vlak zich in de Green Deal Validatie aandient dan zal per geval bekeken moeten worden of een validatie kan worden uitgevoerd binnen budget en tijd.

Voor luchtsmering zijn de rekentechnieken (ook buiten Nederland) nog niet goed in staat een accurate uitkomst te geven voor de weerstandsreductie. Daarnaast zullen labtesten (op model schaal) niet altijd even goed matchen met ware grootte. Een validatie zal dan gedaan moeten worden op ware grootte waarbij met het luchtsmeringssysteem aan en uit het vermogen gemeten moet worden. Hierbij dient ook rekening gehouden te worden met het vermogen benodigd voor het verpompen van lucht. De winsten kunnen relatief klein zijn en sterk afhankelijk van de vaarcondities. Literatuur laat zien dat een effect op het brandstofverbruik vaak

alleen kan worden aangetoond over een langere periode (orde grootte maanden tot een jaar). Het is sterk afhankelijk van een beschikbaar schip en de operator of dit soort monitoring campagnes goed uitgevoerd kunnen worden in het dagelijkse gebruik van het schip.

Voor andere soorten wrijvingsreductie zijn berekeningsmethoden in sommige gevallen geschikt. Voor micro- tot macro aanpassingen (bijvoorbeeld kleine spoilers en ribbels) kan een validatie op basis van simulaties een goede manier zijn om de weerstandsreductie te bepalen. Echter, voor aanpassingen op nano- tot microschaal (bijvoorbeeld nano oppervlakte structuren of 'gladde' coatings) zal een validatie op basis van een labtest of een ware grootte meting moeten worden uitgevoerd.

Voor emissiereductietechnieken op het vlak van anti-aangroei zal het referentieschip moeten worden "uitgebreid" naar een gemiddelde aangegroeide toestand in de praktijk. Hiervan moet de vermogensvraag worden bepaald in een vaarprofiel en vergeleken met die van het schone schip. Daarnaast moet de effectiviteit van de anti-aangroei techniek worden bepaald (hoe goed gaat het aangroei tegen?). Dit wordt in Nederland gedaan met aangroei testen op kleine platen en objecten (typisch geplaatst in havens bij kades) met en zonder de anti-aangroei techniek. De testen duren enkele weken tot maanden waarna in een lab de weerstandstoename wordt bepaald ten opzichte van een schone plaat of object. De praktijk wijst uit dat meerdere testen met meerdere platen gedaan moeten worden om een bruikbare gemiddelde weerstandstoename te bepalen voor een specifieke coating. De indirecte invloed op emissie van de anti-aangroei technieken, de mogelijke complicaties bij het aangroeien (verschil in aangroei door temperatuur, stroming, e.d.) en het goed bepalen van de weerstandstoename maakt dat een goede validatie van de uiteindelijke emissiereductie zeer moeilijk is.

4.4.2.4 *Scheepsvootstuwung*

Hieronder vallen o.a.:

- Hydrodynamische vormverbeteringen t.b.v. voortstuwing;
- Groot oppervlak voorstuwers (bijvoorbeeld grote schroefdiameter, veel voorstuwers naast elkaar);
- Alternatieve voortstuwing, zoals vinvoortstuwing;
- WASP (Wind Assisted Ship Propulsion), kite, dynarig, wingsails, suction sail, Flettner, etc); en
- Energie besparende middelen, zogenaamde Energy Saving Devices (stroombuis, vin,).

De validatiemethodiek zal per techniek enigszins verschillen; een voortstuwingsverbetering op basis van een lokale aanpassing bij de schroef zal andere berekeningen en testen opleveren dan bijvoorbeeld de installatie van een Flettner rotor voor wind assisterende voortstuwing. Echter, in het algemeen kunnen onderstaande stappen gevolg worden.

Validatie aan de hand van simulaties

De validatie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Bepalen van het schip en vaarcondities
2. Het genereren van een numerieke representatie van het schip en de voortstuwingsverbeteringstechniek.

3. Berekeningen op meerdere condities waarin het vermogen wordt bepaald met en zonder verbeteringstechniek
4. Op basis van een operationeel profiel bepalen van de totale vermogensreductie en omrekenen naar brandstofverbruiksreductie en daarmee emissiereductie.
5. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
6. Het rapporteren van de resultaten

Validatie aan de hand van metingen in het lab.

De validatie in het lab is nagenoeg gelijk aan de berekeningen waarbij er in plaats van een numeriek model een fysiek model van het schip wordt gemaakt.

Validatie aan de hand van metingen aan boord van een schip

Voor validatie aan boord moet het mogelijk zijn om de vermogensreductietechniek 'eenvoudig' te verwijderen of uit te schakelen. Dit zal bij grote wijzigingen (denk bijvoorbeeld aan windvoortstuwars met een grote tuigage, of grote aanhangsels aan het schip) niet altijd eenvoudig zijn.

Als dat niet mogelijk is moeten er referentie metingen gedaan worden op het schip voordat de techniek is geïnstalleerd of op een vergelijkbaar schip. In beide gevallen is het een uitdaging om te corrigeren voor de andere staat en vaarcondities van de twee aparte metingen.

Aandachtspunt

Als een vermogensreductietechniek zich richt op een verbetering van de prestatie in bijvoorbeeld zwaar weer dan zal dat in het operationele profiel naar voren moeten komen. Tevens is het bepalen van vermogensreductie in golven een statistisch gedomineerd probleem waarmee de emissiereductie niet eenvoudig is vast te stellen.

4.4.3 Operaties (ten behoeve van energie efficiëntie)

Hieronder vallen de volgende reductietechnieken

- Reis- en routeoptimalisatie;
- Aan boord monitoring tools; en

4.4.3.1 Reis- en route-optimalisatie

Hieronder kunnen meerdere zaken vallen waaronder:

- Weer routing;
- Vaarprofiel – ETA (Estimated Time of Arrival); en
- Hydrostatische verbeteringen (gewichtbesparing, beladingsoptimalisatie, etc.).

De eerste twee zijn gerelateerd en liggen op het voorspellende vlak. Op ware grootte is dit niet eenvoudig te bepalen omdat de situatie zonder de operationele actie er niet meer is. De voorgestelde aanpak is er een op basis van simulaties:

1. Bepaal de operationele conditie, het eindpunt en het weer.
2. Bepaal de normale route die gevaren zou worden.
3. Bepaal de 'optimale' route (op basis van scenario simulaties)
4. Bepaal de vermogensvraag en emissies op de route met en zonder operationele actie
5. Het analyseren van de resultaten: zijn de resultaten logisch en verklaarbaar en hoe verhoudt het zich tot andere resultaten indien beschikbaar?
6. Het rapporteren van de resultaten.

Hydrostatische verbeteringen resulteren in principe in weerstands- en vermogensreducties. De validatie methodologie zoals daar voorgesteld kan gevolgd worden.

4.4.3.2 *Monitoring tools*

Monitoring tools registreren hoe de voortstuwing en het energiesysteem van het schip bediend worden en tevens hoe het vaarprofiel van het schip er exact uitziet. Daarmee heeft het mogelijk overlap met reis- en routeoptimalisatie systemen. Het monitort daarmee de keuzes van de bemanning en/of het besturingssysteem ten aanzien van de bediening van de motoren en andere systemen zoals lading verwarming en koeling en huishoudelijk energieverbruik. Er kan soms energie bespaard worden door motoren of systemen af te schakelen, welke niet strikt nodig zijn. Monitoring systemen registreren en kunnen online of offline advies geven of en hoe het beter kan. Bij online is er bijvoorbeeld een display voor de stuurman, welke aangeeft hoe efficiënt de systemen draaien. Bij offline, zal over het algemeen een specialist de data-analyseren en een rapport opmaken wat er eventueel beter kan. Dat kan middels instructies voor de bemanning of middels een betere inregeling van het besturingssysteem.

Bij de validatie is het raadzaam de volgende punten te onderzoeken:

- Wordt er correct gemonitord? Is de data vrij van fouten en verlopen berekeningen correct.
- Heeft het systeem tot gevolg dat er werkelijk energie bespaard wordt en emissies gereduceerd worden ?

De resultaten van een monitoringsysteem zullen sterk afhankelijk zijn van scheepstype, aandrijflijn en bemanning. Vandaar dat het belangrijk is om resultaten te onderzoeken op meerdere schepen van verschillende reders.

Onderstaand volgt een verdere toelichting op de stappen in de validatie:

1. Het bepalen van de uitgangspunten:
 - a. Afstemming precieze scope en doelstelling van het monitoring systeem
 - b. Nagaan wat voor soort programma geschikt is om de claims te onderzoeken, en tot welke uitspraken en conclusies dat zou kan leiden (projectie van specifieke resultaten voor een case naar verwachting voor nieuwe cases).
2. Het bepalen van het gedetailleerde monitoringprogramma:

Overleg met leveranciers en scheepseigenaar over mogelijk invulling van het onderzoek, dat over het algemeen zal bestaan uit de volgende stappen:

 - a. Referentiesituatie monitoring: monitoring op verschillende schepen zonder gebruik van het systeem of zonder feedback naar de bemanning
 - b. Onderzoek effect tool: monitoring op dezelfde schepen met feedback naar de bemanning.
3. Het uitvoeren van het monitoringprogramma:
 - a. Monitoring van de referentiesituatie
 - b. Evaluatie kwaliteit van de data en eventuele correcties uitvoeren
 - c. Monitoring inclusief inzetten van de verbetering (opvolging advies van de tool).
 - d. Interviewen van de gebruikers
 - e. Statistische data-analyses: het effect van de tool aantonen door statistische data analyses

- f. Het vertalen van de resultaten naar de resultaten in de praktijk, namelijk de referentieschepen met referentie vaarprofiel.
- 4. Het analyseren van de resultaten:
 - a. Nagaan of resultaten aan nauwkeurigheid en kwaliteitseisen voldoen en theoretisch of praktisch onderbouwd kunnen worden.
 - b. Het vertalen van de resultaten op de testschepen (test cases) naar een verwachting op potentie naar andere schepen.
- 5. Het schriftelijk rapporteren.

5 Plan van aanpak voor noodzakelijke ontwikkelstappen

Het doel van hoofdstuk 5 is het bepalen van de eventuele ontwikkelstappen die nodig zijn om de gewenste oplossingsrichtingen voldoende te kunnen beoordelen en valideren. Dit wordt gedaan door het bepalen van 'blinde vlekken'.

Vanuit de analyse zijn er een drietal blinde vlekken gedefinieerd. Daarnaast is geconcludeerd, dat er technologieën zijn die moeilijk te valideren zijn binnen deze regeling door de benodigde uitgebreidheid, en daarmee kosten. Gezien de tijdsspanne van de Green Deal Validatie wordt hieronder ingegaan op de witte vlekken die met een redelijke inspanning aan het begin van de Green Deal Validatie in 2020 opgepakt en voltooid kunnen worden.

5.1 Blinde vlek: Operationele vaarprofielen per scheepstype

De impact van emissiereductietechnieken is zeer sterk afhankelijk van de inzetbaarheid voor verschillende scheepstypen (bijv. containervaart, baggervaart, visserij, etc.), en de daarbij behorende vlootgrootte. Bij deze scheepstypen horen referentie operationele vaarprofielen (route/vermogen). Dit gaat primair over de procentuele vermogensvraag van de systemen, over een specifieke periode, zijnde meestal één jaar. Met scheepstype en operationeel vaarprofiel kan de totale emissiereductie bepaald worden.

De witte vlek is de kennis van de operationele vaarprofielen voor een nog te definiëren aantal (ordegrootte +/-10) scheepstypen, en het bepalen van de bijbehorende vlootgrootte om de potentiële impact van emissiereductie technieken in te kunnen schatten (nationaal en wereldwijd). Bij het bepalen van operationele vaarprofielen moet ook rekening gehouden worden met de behoefte om in de validatie te kunnen kijken naar langdurige gemiddelden en tijdsafhankelijke situaties. Zie ook hoofdstuk 4.3. In het vaarprofiel moet ook rekening gehouden worden met weercondities; niet alleen voor de hogere vermogensvraag, maar ook om de wind assisterende optie goed mee te kunnen nemen in de validatie.

Voorbeeld van scheepstypes met een (potentieel) verschillend operationeel profiel zijn:

1. Droge lading
2. Vloeibare lading
3. Passagiers
4. Marine
5. Visserij
6. Bagger
7. Werk
8. Hulpvaartuigen
9. Jachten
10. Snelle vaartuigen
11. Offshore specials (boorplatformen, drijvende productie, etc).

Planning:

Afronding 2020 Q3 - Studie gedurende twee kwartalen

Advies:

In afstemming met de betrokken partijen een beslissing maken over de benodigde vervolgstap aangaande deze blinde vlek.

5.2 Blinde vlek: Referentiepunt voor de emissiereductie

Het bepalen van de impact moet gebeuren tegenover een referentiewaarde voor de specifieke schepen. Het huidige IMO referentie punt is de Energy Efficiency Design Index, welke binnen (en buiten) de IMO al ter discussie staat. Dit referentie punt is niet altijd toe te passen, omdat onder andere:

- Het niet alle scheepstypen adequaat meeneemt omdat dit geen 'standaard' goederenvervoer schepen zijn (e.g. luxejachten, baggerschepen); en
- Het niet alle type emissiereductietechnieken mee kan nemen (bijvoorbeeld wind assistentie).

Om deze reden, dient er een robuuster referentiepunt te zijn waarmee een adequaat vergelijk gemaakt kan worden voor validatie van de daadwerkelijke emissie reductie.

Enkele opties hierbij zijn:

- Het gebruiken van MRV emissie referentiedata, alhoewel dat beperkt is tot CO₂ en schepen groter dan 5000GT.
- Het zelf bepalen van een referentiewaarde op basis van de eerder genoemde operationele profielen.
- Het toepassen van de EEDI waar mogelijk, en aanvullen met een case-by-case inschatting indien nodig.

Planning:

Afronding 2020 Q3 - Studie gedurende twee kwartalen

Advies:

In afstemming met de betrokken partijen een beslissing nemen over de benodigde vervolgstap aangaande deze blinde vlek.

5.3 Uitzonderingen

Uit de eerdere analyse zijn er emissiereductietechnologieën benoemd, waarvan de validatie dusdanig complex is, dat deze zeer moeilijk te valideren zijn. De kosten en tijd die bij zo'n validatie komen kijken, overschrijden wellicht de scope van de validatieregeling. Voor deze onderwerpen worden geadviseerd om validatie via een alternatieve regeling uit te laten zoeken, indien het wel significante potentie heeft. Het wordt geadviseerd, dat deze potentiële uitzondering als knock-out criterium wordt meegenomen, zodat het als zodanig afgedekt is in de daadwerkelijke validatieregeling.

Daarnaast kan het zijn dat er emissiereductietechnieken worden aangedragen waarvoor de validatiemethodieken nog niet beschikbaar zijn bij MARIN of TNO, maar wel belangrijk geacht worden. Voor deze technieken wordt geadviseerd om dit uit te zetten bij andere kennispartijen indien mogelijk. Anders wordt hier geadviseerd, om dit via een andere regeling op te pakken. Mocht dit niet kunnen, dan kan gekeken worden of deze kennis parallel is op te bouwen met een uitgebreider project, om dit type technieken ook in het volgende jaar te kunnen valideren.

6 Conclusies & Aanbevelingen

6.1 Conclusies

Deze studie omvat primair een onderzoek naar beoordelings- en validatiemethoden voor technieken die de uitstoot van broeikasgassen ($\text{CO}_2 \text{ eq}$) en verontreinigende gassen (NO_x , PM , SO_x) verminderen.

Om dit te kunnen doen is eerst een overzicht en indeling gemaakt voor de te verwachten emissie-reductietechnieken, welke zijn onderverdeeld in drie hoofdgroepen:

1. Alternatieve energiedragers en opwekking;
 - a. Alternatieve brandstoffen in een verbrandingsmotor
 - b. Alternatieve energiedragers met een andere energieomzetter
 - c. Energie-opwekkers en waste-heat recovery
2. Energie-efficiëntie; en daarbij behorende operationele maatregelen.
 - a. Energie-efficiëntie
 - i. Aanpassing aandrijfsystemen en energie distributie aan boord via systeemintegratie
 - ii. Aanpassingen aan motoren en generator sets
 - iii. Emissie nabehandelingssystemen
 - iv. Scheepsweerstand
 - v. Scheepsvoortstuwing
 - b. Operationele maatregelen
 - i. Reis- en routeoptimalisatie
 - ii. Monitoring tools

Daarnaast is er een voorstel voor het validatieproces gemaakt. Allereerst een set van criteria ter ondersteuning van het initiële beoordelingsproces (zie Memo “Validatieregeling Dashboard”). De detail uitwerking van het proces zal buiten deze opdracht gedaan worden in de verdere samenwerking met de betrokken partijen van de Green Deal Validatie regeling.

De aangeboden emissie reductietechnieken kunnen worden beoordeeld op een viertal criteria. De criteria omvatten: emissiereductie (zoals geclaimd door de indiener), generieke toepasbaarheid, economie en toekomstperspectief. De validatie die daarna volgt is een technische analyse om de reductie in energieverbruik en emissies te kwantificeren en daarmee de verwachte reductie te kunnen bevestigen of niet. Over het algemeen zal dit gedaan worden voor verschillende referentievaartuigen, met een standaard vaarprofiel.

De uiteindelijke validatie bestaat globaal uit de volgende onderdelen:

1. Het bepalen van de uitgangspunten
2. Het bepalen van het gedetailleerde meet en/of simulatieprogramma
3. Het uitvoeren van het meet- en/of simulatieprogramma
4. Het analyseren van de resultaten
5. Het schriftelijk rapporteren

Binnen deze stappen wordt vervolgens, afhankelijk van de emissiereductietechniek gebruik gemaakt van een of meerdere van de volgende validatietechnieken:

1. Modelling (hoofdzakelijk via computermodellen):
 - a. Scheepsweerstand en/of voortstuwingmodellering
 - b. Energiesysteem modellering
 - c. Geavanceerde berekeningen (bijvoorbeeld viskeuze omstromingsberekeningen (RANS CFD))
2. Testopstelling (hoofdzakelijk via bestaande testfaciliteiten):
 - a. Metingen in een sleeptank of windtunnel
 - b. Metingen op motor/vermogenssysteem proefstand
 - c. Metingen op een schip
3. Dataregressie (hoofdzakelijk als praktijk bewijsvoering):
 - a. Statistische data analyse (scheepsmonitoring data)

In het rapport is de validatiemethode per hoofd- en subgroep van de reductietechnieken beschreven.

Tenslotte is een plan van aanpak gedefinieerd, waarin ook enkele witte vlekken zijn gedefinieerd:

- Het beschikbaar krijgen van een aantal (max 10) referentievaartuigen met operationele vaarprofiel, waarop reductietechnologieën getoetst kunnen worden.
- Het daarbij behorend referentie-energieverbruik, al dan niet gebaseerd op de EEDI.

6.2 Aanbevelingen

Geadviseerd wordt om deze witte vlekken aan te pakken voordat de daadwerkelijke Green Deal Validatie van start gaat.

Het is van belang om aan te geven dat de Green Deal validatie zich richt op validatie van een emissiereductie claim van een indiener. Zijdelings wordt gekeken naar o.a. toepasbaarheid, economische impact en toekomstbestendigheid. De praktijk wijst uit dat ook veiligheid, levensduur en technische en logistieke betrouwbaarheid juist bij het integreren van innovatieve systemen van groot belang zijn. In de praktijk zijn dit vaak show-stoppers. Deze aspecten zullen buiten de Green Deal Validatie serieuze aandacht moeten krijgen om het effect van de emissiereductietechnieken te maximaliseren.

Verbinding met de Green Deal en de Maritieme Energie Transitie

In dit rapport is de Green Deal Validatie besproken, een onderdeel van de grotere Green Deal en de overkoepelende Maritieme Energie Transitie.

Validatie van specifieke emissiereductietechnieken moet bijdragen aan een versnelde inzet van deze technieken en de daarbij behorende emissiereductie. Zoals uit de witte vlekken naar voren komt is het goed en eerlijk bepalen van de emissiereductie niet mogelijk zonder een juiste referentiewaarde. Dit is ook onderdeel van de discussie bij o.a. de IMO. De huidige EEDI voor het bepalen van de energie efficiëntie van een schip is niet meer houdbaar en men denkt o.a. aan het breder opzetten van operationele profielen en schip reissimulaties om zo een realistischer beeld te krijgen van de daadwerkelijke emissies.

Deze kleinere studie in de Green Deal Validatie sluit daarmee goed aan bij de overkoepelende discussies en toekomstige stappen. Het kan gebruikt worden als startpunt om bij te dragen aan de discussies.

Kijkend naar de Maritieme Energie Transitie is er nog veel onduidelijk over de te volgen paden: welke energiebronnen worden leidend en waar moet de maritieme ontwikkeling in de sector zich op richten? Als vervolg op de Green Deal Validatie is het verstandig om vanuit de beschikbare kennis bij de kennisinstellingen TNO en MARIN en de marktpartijen te komen tot een Nederlandse visie op de Maritieme Energie Transitie. TNO en MARIN hebben de energietransitie en de stap naar emissieloos varen opgenomen (als één van de hoofdthema's) in hun onderzoeksagenda's en zouden leidend kunnen zijn om de gezamenlijke strategie vast te stellen.

7 Ondertekening

Den Haag, 15 december 2019

TNO



Chantal Stroek
Research Manager STL



Ann Delahaye
Auteur