

| Review Potamis+



Review Potamis+

Dit rapport is geschreven door:
Matthijs Otten en Peter Scholten

Delft, CE Delft, januari 2026

Publicatienummer: 2026.250295.014

Opdrachtgever: PBL

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn
verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Matthijs Otten (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft – Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	4
	Potamis+	4
	Compleetheid en geschiktheid voor het doel	4
	Kwaliteit van aannames en databronnen in Potamis+	5
	Toekomstontwikkelingen	6
	Aanbevelingen	6
1	Inleiding	10
	1.1 Achtergrond en aanleiding	10
	1.2 Doel en onderzoeksvragen	10
	1.3 Afbakening	11
	1.4 Leeswijzer	12
2	Methodiek	13
3	Analyse	14
	3.1 Inleiding	14
	3.2 Ons begrip van Potamis+	14
	3.3 Compleetheid en geschiktheid	17
	3.4 Kwaliteit van de aannames en databronnen	27
	3.5 Toekomstontwikkelingen	33
4	Conclusies en aanbevelingen	36
A	Interviews met experts	43
	Literatuur	44

Samenvatting

In het kader van de Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen (ERL) heeft PBL door TNO het model POTAMIS+ laten ontwikkelen. Dit model raamt, op basis van beleid en andere trends, hoe de luchtvervuilende emissies van de binnenvaart zich in Nederland ontwikkelen. PBL heeft CE Delft gevraagd een review uit te voeren van dit model. Voor deze review hebben we verschillende interviews gehouden met experts uit het veld en hebben we aanvullend literatuuronderzoek uitgevoerd.

Bij de beoordeling van het model staan drie hoofdvragen centraal:

1. Is het model compleet en geschikt voor het doel?
2. Wat is de kwaliteit van de aannames en de gebruikte data?
3. Welke beleidsmatige en exogene ontwikkelingen zijn van belang voor de verdere doorontwikkeling van het model?

Potamis+

Het POTAMIS+-model richt zich op het ramen van toekomstige luchtvervuilende emissies van de binnenvaart in Nederland. De emissies van het basisjaar worden buiten het model om berekend voor de Emissieregistratie (ER) en dienen als input voor de berekening van toekomstige emissies. In het POTAMIS+-model wordt enerzijds ingeschat hoeveel van de in Nederland varende schepen verdwijnen en worden vervangen door nieuwe schepen met nieuwe motoren. Anderzijds wordt ingeschat hoeveel motoren op bestaande schepen worden vervangen of gereviseerd. In beide gevallen wordt per schip het effect van motorvervanging bepaald door de relatieve emissies van de nieuwe motor ten opzichte van de oude motor toe te passen op de emissies in het basisjaar. Zo worden de emissies van het basisjaar geschaald naar de toekomst.

Compleetheid en geschiktheid voor het doel

Het hoofddoel van de ERL is het in kaart brengen van emissietrends op Nederlands grondgebied voor vijf luchtverontreinigende stoffen: stikstofoxiden (NO_x), ammoniak (NH₃), fijnstof (PM_{2,5}), zwaveldioxide (SO₂) en niet-methaan-vluchtige organische stoffen (NMVOS). Deze trends worden beïnvloed door onder andere beleid en technologische ontwikkelingen. De scope van POTAMIS+ sluit hier goed bij aan.

Een uitzondering vormen boilers en kachels aan boord van tankschepen; deze worden niet meegenomen in de emissieramingen van het model. Aangezien tankschepen circa 30% van de vervoerde lading vertegenwoordigen ([CBS Statline](#)) en er indicaties zijn dat ze mede door boilers en kachels een twee maal zo hoog brandstofverbruik hebben dan andere schepen, hebben deze bronnen naar verwachting een behoorlijk aandeel in de totale emissies.

Als we kijken naar de mogelijkheden om emissietrends goed door te rekenen, valt op dat motorvervanging, de belangrijkste component waarop beleid en technologische ontwikkelingen aangrijpen, centraal staat in het model. Daarmee worden de belangrijkste veranderingen die van invloed zijn op luchtkwaliteit goed meegenomen. Er zijn echter een paar andere ontwikkelingen die ook van belang zijn, die niet (goed) kunnen worden meegenomen in POTAMIS+:

- het effect van HVO en FAME bij CCRII of oudere motoren;
- de effecten van *right sizing* en de inzet van meerdere kleine motoren;
- de effecten van beleid, zoals walstroom, op de emissies van hulpmotoren;
- verbeteringen in scheepsontwerp en daarmee lager energiegebruik;
- aanpassingen in vaargedrag, zoals langzamer varen;
- effecten van laag water of aanpassingen in dimensies van vaarwegen;
- trends in schaalvergroting en inzet van andere scheepstypen vanwege ontwikkelingen in de goederenmarkt;
- specifieke ontwikkelingen in de passagiersvaart.

Kwaliteit van aannames en databronnen in Potamis+

POTAMIS+ modelleert op scheepsniveau in plaats van met aggregaties voor verschillende categorieën. Het voordeel hiervan is dat er goed rekening kan worden gehouden met verschillen tussen individuele schepen binnen de verschillende categorieën.

Op dit moment worden actuele transportbewegingen en vaarsnelheden wel meegenomen in het model, maar actuele belading, waterstanden en stroomsnelheden nog niet. Hierdoor is de modellering niet altijd consistent. Zo kan een schip bijvoorbeeld langzamer varen (gemeten) door een hogere belading, terwijl in de modellering wordt gerekend met een gemiddelde belading.

Het energiemodel dat gebruikt wordt voor het basisjaar speelt een belangrijke rol in zowel de huidige als toekomstige emissieramingen. Dit model is tot nu toe slechts beperkt gevalideerd, wat met name onzekerheid geeft in de uitkomsten van de lokale emissies, en in mindere mate van de totale emissies.

Daarnaast is de database met motorgegevens en historische data van motoren van groot belang. De data die worden gebruikt om huidige emissies en vervangingskansen van motoren te bepalen zijn gedateerd en kunnen worden geüpdatet met een analyse van recentere data. Op dit moment is de huidige vervangingskans niet altijd realistisch en is onder andere de vervangingskans van motoren van slechts één of twee jaar oud te hoog. Ook ontbreekt op dit moment een duidelijke onderbouwing van de toegepaste emissiefactoren in POTAMIS+ en is onduidelijk in hoeverre deze waarden zijn gebaseerd op praktijkmetingen.

Tot slot wordt in POTAMIS+, voor schepen die de motor gaan vernieuwen, de kans op een nieuwe techniek voor alle scheepstypen gelijk verondersteld, terwijl dit in de praktijk niet altijd realistisch is. Een batterij-elektrische aandrijving bijvoorbeeld, is kansrijker voor containerschepen met relatief korte reisafstanden. Ook de relatieve emissiereductie van overstappen van bijvoorbeeld een CCRII-motor naar een Stage Va4 diesel-elektrische motor, is voor alle scheepstypen gelijk verondersteld, terwijl dit afhankelijk is van het vaarprofiel en scheepstype.

Toekomstontwikkelingen

Voor nieuwe schepen en motorvervangingen zijn in POTAMIS+ vaste percentages opgenomen voor de kans op vervanging door technieken als Stage V, batterij-elektrisch of methanol. Beleidsontwikkelingen zoals ETS, ETD en de brandstoftransitieverplichting kunnen deze overstapkansen beïnvloeden door prijsverschillen tussen technieken te verkleinen. Deze effecten moeten op dit moment buiten het model om worden bepaald en vervolgens als input worden ingevoerd in POTAMIS+.

Aanbevelingen

Vanuit de review komen verschillende aanbevelingen naar voren. Een algemene aanbeveling betreft het actualiseren en uitbreiden van de rapportages van de emissie-registratie (EMS-protocol) en POTAMIS+. Om de berekeningen en toegepaste emissiefactoren goed te kunnen beoordelen, is het van belang dat de rapportages up-to-date zijn. Daarnaast is het van belang om te documenteren hoe de emissiefactoren tot stand zijn gekomen en welke bronnen daarbij zijn gebruikt. We bevelen aan om de documentatie over POTAMIS+ uit te breiden met een uitgebreidere beschrijving van de gebruikte inputwaarden. De huidige documentatie richt zich vooral op de technische functionaliteit van het model. Inputdata over onder andere emissiefactoren van verschillende technieken, zijn nu onvoldoende transparant en herleidbaar.

De overige aanbevelingen zijn opgesplitst in aanbevelingen gericht op het nauwkeurig inschatten van emissies, en aanbevelingen gericht op het doorrekenen van beleid en ontwikkelingen in POTAMIS+. Voor beide categorieën is een prioritering aangebracht en hebben de eerstgenoemde aanbevelingen een hogere prioriteit.

Aanbevelingen gericht op het nauwkeurig inschatten van emissies

1. **Onderzoek de bijdrage van kachels en boilers op de huidige en toekomstige emissies van tankschepen (ER en POTAMIS+).** Op dit onderwerp ontbreken bestaande onderzoeken, terwijl er aanwijzingen zijn dat het energieverbruik en de emissies van deze bronnen een behoorlijk aandeel hebben in het totaal.
2. **Onderbouwing emissiefactoren (ER en POTAMIS+).** We bevelen aan om het EMS-protocol te actualiseren met emissiefactoren van verschillende motoren en technieken, onderbouwd door praktijkmetingen. Dit is met name belangrijk voor Stage V-motoren, waarvoor significant strengere emissiestandaarden gelden, en die voor een belangrijk deel verantwoordelijk zijn voor de toekomstige emissiereducties. Hierbij is ook een goede onderbouwing nodig van de aannames over de mate van tampering (het omzeilen van het gebruik van emissiereductietechnieken) van Stage V-motoren.
3. **Voeg emissiefactoren toe voor het gebruik van HVO100 en FAME in oudere motoren.** Met name HVO100 kan een belangrijke rol gaan spelen bij het behalen van de RED-doelstellingen en kan daarbij ook luchtvervuilende emissies reduceren.
4. **Neem passagiersvaart apart mee in de modellering (POTAMIS+).** In de huidige emissies van het basisjaar is het aandeel van passagiersvaart substantieel (NO_x 10% en $\text{PM}_{2.5}$ 17%.) Neem daarom specifieke inschattingen op voor trends in passagiersvolumes en specificeer de kansen voor technieken naar typen passagiersschepen, omdat logische verduurzamingsoplossingen per type schip verschillen.
5. **Onderzoek en documenteer de invloed van hulpmotoren op emissies (ER en POTAMIS+).** Hulpmotoren worden momenteel meegenomen via een ophogingsfactor, maar het is onduidelijk hoe de effecten van hulpmotoren in het basisjaar precies worden bepaald. Dit lijkt een blinde vlek te zijn, waarvoor meer praktijkonderzoek nodig is. Daarbij kan het nodig zijn om in POTAMIS+ expliciet rekening te houden met verschoning van hulpmotoren, omdat deze niet dezelfde trends hoeven te volgen als hoofdmotoren.
6. **Verbeter motordata uit het basisjaar en gegevens over de autonome vervangingsnelheid (ER en POTAMIS+).** De gebruikte data voor motoren en vervangingskansen zijn onvoldoende inzichtelijk, waardoor we geen uitspraken kunnen doen over de compleetheid en kwaliteit van de gegevens. Wel hebben we vanuit de interviews begrepen dat er verschillende bronnen zijn (zie punt 7) die continu worden geüpdatet en verbeterd, maar die nu niet worden gebruikt.

De inschattingen voor het type motoren voor het basisjaar van ER kunnen dus worden verbeterd. Voor POTAMIS+ bevelen we aan om de vervangingskans van motoren te actualiseren. Dit kan worden gedaan door de database van motoren voor verschillende jaren te analyseren. Naast de IVR¹-database zijn mogelijk andere bronnen nodig om een volledig beeld te krijgen van motorvervanging.

7. **Zoek meer samenwerking op met andere initiatieven (ER en POTAMIS+).** In samenwerking met IVR kunnen de mogelijkheden onderzocht worden om de motorendatabase verder te verrijken met geïdentificeerde bronnen. Met de TU Delft kan samenwerking worden gezocht met betrekking tot het modelleren van het energiegebruik van de binnenvaart. Het open-source-model van de TU Delft levert inschattingen van energiegebruik en CO₂-emissies van de binnenvaart.
8. **Onderzoek de relatie en/of gebruik van actuele data voor de waterstand, de stroomsnelheid, de belading van schepen, de vaarsnelheid en het energieverbruik wat hieruit volgt (ER).** We verwachten dat deze aspecten de inschattingen van emissies significant kunnen verbeteren, met name lokaal. Ook kunnen aannames voor POTAMIS+ waarschijnlijk aangescherpt worden, doordat er meer kennis beschikbaar komt over de effecten van belading en waterstanden. Wel is het ontsluiten van de data lastig en daarom vooral relevant voor de langere termijn.
9. **Valideer het energiemodel (ER).** Het energiemodel van de ER (Bolt) is nog beperkt gevalideerd met praktijkdata. Door de toename van real-time CO₂-emissiemetingen nemen de validatiemogelijkheden toe, zowel voor het Bolt-model als voor alternatieve modellen.

Aanbevelingen gericht op het doorrekenen van beleid en ontwikkelingen in POTAMIS+.

1. **Integreer het energiemodel en de gedifferentieerde emissiefactoren in het POTAMIS+-model.**
Hiermee kunnen veel meer effecten beter worden ingeschat, zoals:
 - de effecten van nieuwe technieken op vaarprofielniveau;
 - de effecten van zuinigere scheepsmodellen en energiebesparing door autonoom varen;
 - right sizing en het toepassen van meerdere kleinere motoren;
 - de effecten van laag water en vaarwegaanpassingen.

¹ Internationale Vereniging voor de behartiging van de gemeenschappelijke belangen van de binnenvaart en de verzekering en voor het houden van het register van binnenschepen in Europa. IVR beheert een database van gegevens van binnenvaartschepen.

2. **Differentieer aannames voor technieken naar type schip en inzet.** Met name voor (gedeeltelijke) elektrificatie verschilt het (realistische) potentieel per type schip. Door in gesprek te gaan met belanghebbenden en aanbieders van technieken kunnen overstapkansen en emissiefactoren per type schip en inzet realistischer worden ingeschat. Houd hierbij ook bestaande ((Panteia, 2019), (CLINSH, 2021) (Dahlke-Wallat & Friedhoff, 2020)) en toekomstige rapportages in de gaten.
3. **Modelleer overstapgedrag door middel van een TCO-module.** Veranderende kosten door onder andere beleidsinstrumenten als ETS, de brandstoftransitieverplichting en subsidies hebben invloed op de keuze van scheepseigenaren voor een nieuwe motortechniek. Om komende jaren de kansen goed in te schatten dient een aparte module ontwikkeld te worden, die rekening houdt met de kosten voor verschillende technieken en brandstoffen, beleidsaspecten en het overstapgedrag van scheepseigenaren. Vanuit de literatuur zijn er verschillende aanknopingspunten voor de kosten (Dahlke-Wallat & Friedhoff, 2020) en het modelleren van overstapgedrag (CE Delft, 2022) (DST et al., 2020) (Panteia, 2019).
4. **Voeg modules toe voor bredere ontwikkelingen in de binnenvaartvloot.**
Dit betreft onder andere:
 - De samenstelling van de vloot wordt als constant verondersteld en schepen die verdwijnen worden door een vergelijkbaar nieuw schip vervangen. Veranderingen in vervoersvraag hebben echter effecten op de vlootomvang en samenstelling. Hoewel BasGoed al gedeeltelijk rekening houdt met veranderingen in goederenstromen, wordt dit nog niet vertaald naar een andere vlootomvang of samenstelling. Dit zou nader onderzocht kunnen worden. Het model zou in- en uitstroom moeten loskoppelen en niet moeten uitgaan van één-op-één-vervanging van schepen door een gelijk scheeptype.
 - De trend van een afname van kleine schepen en een groei van grote scheepsklassen. Deze trend kan bepaald worden op basis van verschillende bestaande databronnen en onderzoeken, waaronder (CBS, z.d.; CCNR & EC, Ongoing; UPT, 2023).
 - Vergrijzing en personeelstekorten. Deze trend kan met behulp van specifieke experts worden ingeschat.
 - Toename in laagwaterdagen. Deze trend kan met behulp van specifieke experts worden ingeschat.
5. **Houd rekening met verschoning van schepen door beleid van omliggende landen.** De beleidsafhankelijke ingroei van technieken richt zich in POTAMIS+ nu alleen op Nederlands beleid. Het zou goed zijn om verwachte ingroei vanuit omliggende landen ook mee te nemen. Dit kan op basis van de National Energy and Climate Plans (NEPCs), die bij de EU worden ingediend.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Nederland is op basis van internationale afspraken verplicht om jaarlijks de uitstoot te rapporteren van milieuverontreinigende stoffen en broeikasgassen op eigen grondgebied. Deze emissiecijfers worden jaarlijks berekend en vastgesteld door de Emissieregistratie (ER). Daarnaast worden door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) regelmatig emissieramingen van activiteiten in Nederland gemaakt. Voor luchtvervuilende stoffen staat de raming bekend onder de noemer Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen (ERL) (PBL, 2025). Voor de ramingen zijn verschillende modellen die op basis van veranderingen in activiteiten en technologie toekomstige emissies modelleren. Voor binnenvaart is door TNO het model POTAMIS ontwikkeld. In 2024 heeft TNO een nieuwe versie van dit model ontwikkeld: POTAMIS+ (Ruiter et al., 2025). PBL heeft CE Delft gevraagd een review op POTAMIS+ uit te voeren. Als onderdeel van deze review, heeft CE Delft met enkele experts in de sector interviews uitgevoerd en literatuur onderzocht, om de kwaliteit van de aanpak en de gehanteerde bronnen te verifiëren en te verkennen of er alternatieven zijn voor de gebruikte methoden en bronnen.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Bij de beoordeling van het model heeft PBL drie hoofdvragen meegegeven:

1. Is het model compleet en geschikt voor het doel?
2. Wat is de kwaliteit van de aannames en de gebruikte data? En;
3. welke beleids- en exogene ontwikkelingen zijn van belang voor de verdere doorontwikkeling van het model.

We lichten de vragen hieronder na nader toe.

1. Is het model compleet en geschikt?

Onderzocht wordt of het model de invloed van beleid en exogene ontwikkelingen goed kan meenemen om in kaart te brengen of de overheid op koers ligt met betrekking tot beleidsdoelstellingen op het gebied van uitstoot van luchtverontreinigende stoffen en stikstofdepositie.

- Allereerst wordt ingegaan op de vraag in welke mate het model compleet is qua scope. Dit betreft de vraag of alle relevante onderdelen zijn meegenomen die bepalend zijn voor het energiegebruik en de emissies in de binnenvaart. Daarbij wordt beoordeeld of het model de belangrijkste parameters en mechanismen bevat die van invloed zijn op veranderingen in energiegebruik, zoals technologische ontwikkelingen, gedragsveranderingen of beleidsmaatregelen.
- Daarnaast gaan we na of het model op juiste en consistente wijze de effecten van veranderingen in deze parameters berekent. Dit omvat zowel de interne samenhang tussen variabelen als de validiteit van de gebruikte berekeningsmethoden.

Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden kijken we vooral naar het ontwerp van het model en welke factoren worden meegenomen, maar niet naar de kwaliteit van de gebruikte bronnen of data, wat onderdeel is van volgende onderzoeksvraag.

2. Wat is de kwaliteit van de aannames en de gebruikte data?

Om deze vraag te beantwoorden wordt gekeken naar de onderliggende inputs van het model en de gebruikte bronnen en of er alternatieve databronnen zijn die de modellering kunnen verbeteren. We richten ons bij deze stap op de parameters en input data die onderdeel van POTAMIS+ zijn.

3. Welke beleidsontwikkelingen en exogene ontwikkelingen zijn van belang voor de verdere doorontwikkeling van het model?

In de beantwoording van deze vraag gaan we in op de toekomstbestendigheid van het model. We analyseren welke relevante beleidsontwikkelingen en exogene trends op de sector afkomen, zoals veranderingen in regelgeving, technologische innovaties of economische verschuivingen, die van invloed kunnen zijn op de modelresultaten. Op basis hiervan zullen we aanbevelingen doen over welke aanpassingen of uitbreidingen in de modelstructuur gewenst of noodzakelijk zijn om adequaat op deze ontwikkelingen in te spelen.

1.3 Afbakening

Voor het onderzoek baseren we ons op informatie over POTAMIS+ en inputdata die voor POTAMIS+ wordt gebruikt. POTAMIS+ gebruikt ook data die afkomstig is vanuit andere bronnen zoals Emissieregistratie en BasGoed. Deze modellen zijn buiten scope van dit onderzoek, maar we beoordelen wel de kwaliteit van de inputdata. Daarbij doen we in een aantal gevallen ook suggesties om deze andere brondata te verbeteren, omdat daarmee ook de kwaliteit van POTAMIS+ verbetert. We maken steeds duidelijk onderscheid tussen adviespunten voor POTAMIS+ en de gebruikte inputdata.

De review richt zich op het identificeren van grote onzekerheden in de modelering en het aandragen van mogelijke verbeteringen en/of aanvullingen in de modellering en gebruikte bronnen. De codering van het model zelf is niet geanalyseerd.

De focus bij de beoordeling ligt op het uitvoeren van baseline emissieramingen voor luchtvervuilende emissies (NO_x, PM_{2,5}). We nemen echter ook mee dat het model in de toekomst ook voor andere doeleinden ingezet kan worden zoals het bepalen van CO₂-emissies en het doorrekenen van specifieke beleidsmaatregelen.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 bespreken we de aanpak die we hebben gevolgd om POTAMIS+ te reviewen. In Hoofdstuk 3 presenteren we onze analyse waarbij we in de verschillende paragrafen, na een inleiding (Paragraaf 3.1), ingaan op ons begrip van POTAMIS+ (Paragraaf 3.2), de compleetheid en geschiktheid van het model (Paragraaf 3.3), de kwaliteit van de aannames en data (Paragraaf 3.4) en de toekomstontwikkelingen die relevant zijn voor Potamis+ (Paragraaf 3.5). In Hoofdstuk 4 sluiten we af met de conclusie en aanbevelingen.

2 Methodiek

In de eerste stap hebben de documentatie van POTAMIS+ en Emissieregistratie bestudeerd en de aanvullende informatie in Excel met gebruiker modelparameters. Deze bronnen zijn enerzijds publiekelijk beschikbaar en anderzijds (nog) niet gepubliceerd. De volgende bronnen zijn geanalyseerd:

- beschrijving van POTAMIS+ 1.0 (Conceptversie 08/06/25) (Ruiter et al., 2025);
- Excel-bestand met invoerdata over aannames van instroom van motoren in POTAMIS+ met laatst gewijzigde datum 24-4-2025;
- input data vanuit KEV 24 over tonkilometers en effecten subsidies waterstof en elektriciteit met laatst gewijzigde datum 9-9-2025;
- gebruikershandleiding POTAMIS v1.4, Prognosis Of Transport Air emissions Model of Inland Shipping (Hulskotte, 2021);
- EMS-protocol versie 2018 (Emissieregistratie, 2018).

Ter verduidelijking hebben we twee interviews uitgevoerd met TNO om verduidelijkende vragen te stellen. Eén interview was gericht op de methodiek van POTAMIS+. Omdat POTAMIS+ het basisjaar van de Emissieregistratie (ER) als uitgangspunt neemt hebben we het andere interview gericht op het EMS² protocol.

We hebben vervolgens de modellering van POTAMIS+ en het EMS-protocol besproken in interviews met een aantal experts uit het veld (zie Tabel 1).

Op basis van deze gesprekken aangevuld met onze eigen expertise en literatuur hebben we onze analyse gemaakt om de onderzoeksvragen te beantwoorden.

Tabel 1 - lijst met gesproken experts

Nummer	Naam	Expertise
1. IVR	Frouwke de Vries	Database schepen IVR
2. EICB	Khalid Tachi en Martin Quispel	Brede expertise binnenvaart
3. KBN	Cornelis van Dorsser	Wetenschappelijk onderzoek
4. TU Delft	Mark van Koningsveld en Alex Kirkich	Hydrodynamisch modeleren energieverbruik binnenvaart
5. N.v.t.	Jan Hulskotte	Voormalig verantwoordelijke TNO-model
6. Shipping Technology	David Woudenberg en Wallid Sahak	Realtime inzicht en emissierapportage, AI-navigatie

² EMS is de methodiek die in de ER wordt toegepast om de emissies van binnenvaart te berekenen.

3 Analyse

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk analyseren we de inhoud van POTAMIS+ en geven we suggesties om het model te verbeteren. In Paragraaf 3.2 gaan we in op ons begrip van het model, waarbij we uitleggen hoe het model in elkaar steekt. In Paragraaf 3.3 bespreken we de compleetheid van het model (Reviewvraag 1). Hierbij bespreken we of de scope van het model aansluit bij de eisen vanuit de ERL. Ook kijken we of de parameters die de (toekomstige) emissies van de binnenvaart beïnvloeden onderdeel zijn van het model. In Paragraaf 3.4 **Fout!** **Verwijzingsbron niet gevonden.** gaan we dieper in op de parameters en de aannames van het model (Reviewvraag 2). Hierbij beoordelen we of deze parameters en aannames goed aansluiten bij de praktijk en of er mogelijke verbeteringen zijn. Ten slotte gaan we in Paragraaf 3.5 in op (beleids)ontwikkelingen die naar verwachting op de binnenvaart afkomen (Reviewvraag 3). Hierbij beoordelen we of het model geschikt is om deze ontwikkelingen mee te nemen.

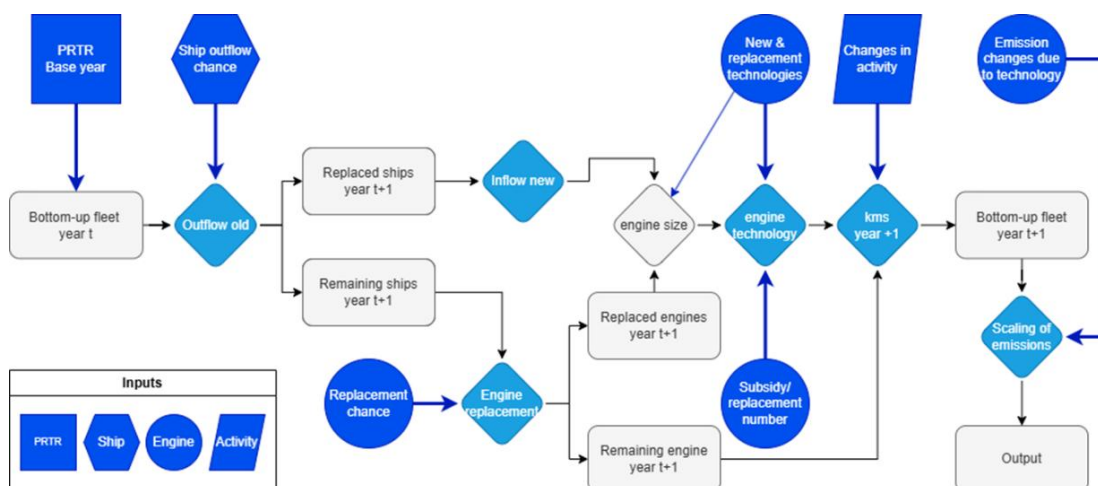
3.2 Ons begrip van Potamis+

De architectuur van het model is weergegeven in Figuur 1. Het model richt zich op de berekening van toekomstige emissies. De emissies van het basisjaar worden buiten het model om berekend en als input gebruikt om toekomstige emissies te berekenen. Enerzijds wordt in het model ingeschat hoeveel schepen verdwijnen uit de vloot en worden vervangen door nieuwe schepen met nieuwe motoren. Anderzijds wordt ingeschat hoeveel motoren op bestaande schepen worden vervangen door nieuwe motoren of worden gereviseerd. In beide gevallen wordt het effect berekend van het vervangen van oude motoren door nieuwe motoren. Het relatieve verschil per schip (emissies nieuwe motor/oude motor) wordt gebruikt om de emissies van het basisjaar te schalen naar de toekomst. Enkele andere belangrijke modeleigenschappen zijn:

- Het model modelleert de emissies van motoren op binnenvaartschepen op het Nederlandse grondgebied
- POTAMIS+ modelleert op scheepsniveau. Dat betekent dat voor alle schepen die actief zijn op Nederlandse wateren de motoromvang, motortechniek en emissies afzonderlijk worden gemodelleerd.
- POTAMIS+ richt zich op luchtvervuilende emissies en wordt ook ingezet voor het inschatten van CO₂-emissies.

- POTAMIS+ focust zich voor toekomstemissies op veranderingen in de vloot, de afgelegde afstanden en de technieken (motor, aandrijflijn). Dat betekent dat andere ontwikkelingen (laadfactoren, waterstand, diepgang) constant verondersteld worden ten opzichte van het basisjaar.
- Vanuit BasGoed wordt rekening gehouden met toekomstige veranderingen in transportvolume. Dit resulteert in meer of minder kilometers, maar niet in meer of minder schepen.
- Het historische vaargedrag (hoeveelheid uren in Nederland) van individuele schepen wordt gecontinueerd naar de toekomst. Een schip dat in het basisjaar relatief veel in Nederland vaart zal dat in de toekomst ook blijven doen. Wel vindt er een schaling plaats op basis van de totale kilometers per scheepsklasse vanuit BasGoed.
- Het model rekent met kansen voor uitval van motoren en schepen en kansen voor vervanging door bepaalde technieken. Om het effect van subsidies mee te nemen kan daarnaast worden aangegeven dat een x aantal schepen overstapt naar een bepaalde techniek, waarmee de autonome trend handmatig wordt overschreven. Het effect van subsidieregelingen moet dus exogeen worden bepaald en dient vervolgens als invoer, waarmee het model wel de gevolgen van een gegeven aantal investeringen op de emissies van de vloot inzichtelijk kan maken.

Figuur 1 - Modelarchitectuur



Bron: Documentatie POTAMIS+ (Ruiter et al., 2025).

Gehanteerde bronnen

- **Vlootomvang basisjaar.** Voor het basisjaar is het aantal schepen dat actief is op de Nederlandse binnenwateren afgeleid uit AIS-data. Hiermee wordt een overzicht verkregen van het aantal schepen wat in Nederland is geweest, het aantal vaaruren en het aantal stilliggende uren. Dit wordt gekoppeld aan scheepseigenschappen zoals de leeftijd van het schip, en de leeftijd van de motor.

Deze data is afkomstig uit verschillende bronnen waarbij de dataset die door IVR wordt beheerd een belangrijke is. IVR is een internationale vereniging voor de behartiging van de gemeenschappelijke belangen in de binnenvaart. Het IVR-register binnenvaart is een (internationaal) registratiesysteem waarin gegevens van binnenvaartschepen zijn opgenomen, zoals identificatie, technische kenmerken en soms eigendoms- of exploitatiegegevens.

- **Eigenschappen motoren.** Eigenschappen van de motor worden afgeleid uit het IVR-register. Voor schepen waar geen informatie beschikbaar is wordt een inschatting gemaakt op basis van vergelijkbare scheepstypen en bouwjaren.
- **Basisjaar Emissieregistratie** Jaarlijks worden voor de Emissieregistratie de historische emissies van de binnenvaart ingeschat volgens het EMS-protocol. Op basis van de activiteit (AIS) en scheepseigenschappen (IVR-register) wordt door middel van het energiegebruiksmodel voor schepen (Bolt, 2003) het energieverbruik in het basisjaar bepaald. Met behulp van emissiefactoren (CO₂, NO_x en PM_{2,5}) per kWh-arbeid worden dan emissies bepaald. POTAMIS+ gebruikt deze modeluitkomsten van het basisjaar als input om toekomstige emissies in te schatten.
- **De toekomstige activiteit van de vloot.** Dit komt vanuit het projectiemodel BasGoed en dit wordt dus buiten het model bepaald. BasGoed levert (ton)kilometers per productgroep en scheepstype op.

Gehanteerde modelparameters

Met de ontwikkeling van POTAMIS+ 1.0 zijn verschillende modelparameters herzien.

Dit was mogelijk doordat er voor meerdere jaren informatie beschikbaar is gekomen voor eigenschappen van motoren (IVR) en activiteiten (AIS).

- In het model zit een kans dat bestaande schepen uit de vloot verdwijnen (**ship outflow change**). Deze kans is bepaald op basis van historische data uit IVR. Het model neemt aan dat het gesloopte of het naar het buitenland verdwenen schip vervangen wordt door een nieuwer schip met dezelfde omvang. Voor het nieuwe schip wordt een engine size ingeschat waar rekening wordt gehouden met trends in het geïnstalleerde motorvermogen. Bij de ontwikkeling van POTAMIS+ 1.0 is echter geen trend gevonden in de ontwikkeling van het motorvermogen, waardoor de engine size op dit moment constant wordt verondersteld.
- Voor bestaande schepen die in de vloot blijven wordt door middel van een kans ingeschat of de bestaande motor wordt vervangen/gereviseerd. Dit gebeurt met een Weibull-functie. De inschattingen die gebruikt zijn voor POTAMIS+ 1.0 zijn overgenomen uit het oude POTAMIS (Hulskotte, 2021). TNO heeft wel aangegeven dat er mogelijkheden zijn om deze Weibull functie te herzien.

De bestaande vloot laat namelijk motor-schipcombinaties zien die volgens de functie niet mogelijk zouden zijn. TNO heeft recentelijk toegang gekregen tot een nieuw overzicht van IVR data, waardoor TNO nu beschikking heeft over IVR-data voor vier jaar. Hiermee kunnen de aannames voor motorvernieuwing worden herzien.

3.3 Compleetheid en geschiktheid

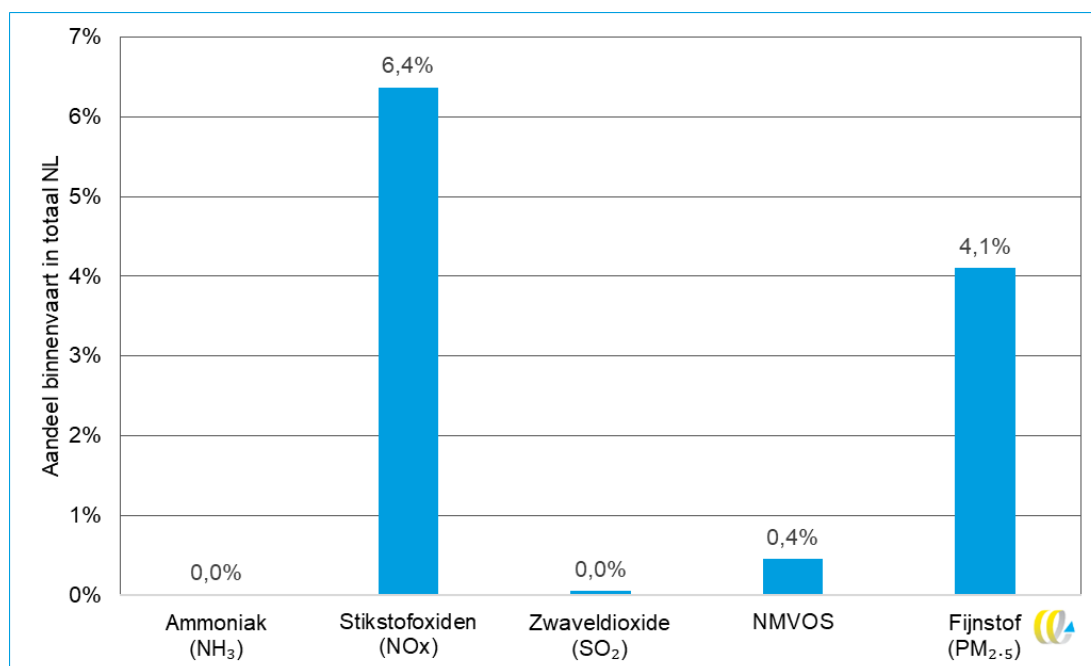
In deze paragraaf beoordelen we de compleetheid en geschiktheid van het model. Hierbij kijken we in welke mate de scope en inhoud van POTAMIS+ aansluiten bij de vereisten vanuit de ERL. In de Paragraaf 3.4 bespreken we de kwaliteit van de gemaakte aannames.

3.3.1 Doelstelling ERL

Het hoofddoel van de ERL is het in kaart brengen van emissietrends op Nederlands grondgebied voor vijf luchtverontreinigende stoffen, namelijk stikstofoxiden (NO_x), ammoniak (NH_3), fijnstof ($\text{PM}_{2.5}$), zwaveldioxide (SO_2) en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS). Deze trends worden ingegeven door onder andere beleid en technologische ontwikkelingen. Het volgen van de ontwikkeling van de emissies van deze vijf stoffen is belangrijk omdat deze stoffen schadelijk zijn voor de volksgezondheid en de natuur. Bovendien worden de ramingen gebruikt om te volgen in hoeverre het beleid op koers ligt om te voldoen aan de Europese NEC-richtlijn, de luchtkwaliteitsdoelen en de stikstofdepositielimieten (PBL, 2025).

Binnenvaart is één van de bronnen die binnen het ERL wordt gemonitord. Als we kijken naar de bijdrage van binnenvaart in de emissies van de voorgenoemde vijf stoffen zien we dat met name de NO_x en fijnstofemissies van binnenvaart een belangrijke rol spelen in de totale emissies. De overige emissies zijn lager dan 1% van het totaal.

Figuur 2 - Aandeel binnenvaart in de emissies van vijf luchtverontreinigende stoffen



Bewerkt van: [Emissieregistratie](#); Jaar 2024, emissies op Nederlands grondgebied (Emissieoorzaak: binnenvaart internationaal (incl. duwvaart), nationaal (incl. duwvaart) en passagiers en veerboten ten opzichte van totaal); excl. binnenvaart ontgassing.

Om na te gaan of de scope van POTAMIS+ compleet is om de toekomstige emissies van binnenvaart in te schatten binnen de doelstelling van de ERL, bespreken we in Paragraaf 3.3.2 of de **scope van het model** voldoet aan de doelstelling van ERL met betrekking tot:

- geografische afbakening en vloot (ERL-doel: **Nederlands grondgebied**);
- compleetheid van activiteiten met emissies op een binnenvaartschip (ERL-doel: binnenvaart);
- emissies opgenomen in het model (ERL-doel: **vijf luchtvervuilende stoffen**).

In Paragraaf 3.3.3 bespreken we of het model voldoende aanknopingspunten heeft om de invloed van **beleid** en autonome ontwikkelingen in beeld te brengen. Hierbij onderscheiden we drie categorieën:

1. Technieken en brandstoffen.
2. Energiegebruik.
3. Transportvolumes.

3.3.2 Scope van het model

Geografische afbakening en vloot

Het POTAMIS+-model richt zich op de ontwikkeling van voorgenoemde vijf emissies op het Nederlandse grondgebied. De emissies, berekend voor de emissieregistratie, vormen het basisjaar voor POTAMIS+. De emissieregistratie richt zich op de emissies van zowel goederen als personenvervoer via de binnenvaart van alle activiteiten (varen en stilliggen) op Nederlands grondgebied. De emissies van recreatievaart zijn geen onderdeel van het model maar worden via een andere route binnen de ERL gemodelleerd. Zowel Nederlandse als buitenlandse schepen worden meegenomen. **De geografische afbakening en afbakening van de vloot sluiten aan bij de doelstelling van ERL om de emissies op Nederlands grondgebied in te schatten.**

Activiteiten met emissies op een binnenvaartschip

Er zijn vijf belangrijke bronnen van luchtverontreinigende emissies op een binnenvaartschip:

1. De emissies van voortstuwingsmotoren.
2. De emissies van hulpmotoren voor huishoudelijk (alle schepen) of hotelbedrijf (dit is met name relevant bij passagiersschepen).
3. De emissies van eventuele hulpmotoren die worden ingezet voor manoeuvreren (vooral oudere schepen) pompen (tankschepen en baggerschepen), of van eventuele kranen en werktuigen (werkschepen).
4. De emissies van boilers en kachels die beiden gebruikt worden om vloeibare lading in tankers op de juiste temperatuur te houden zodat de lading vloeibaar blijft.
5. De emissies van vluchtige organische stoffen door ontgassen van tankschepen.

De emissies door ontgassen zijn geen onderdeel van POTAMIS+ en worden binnen de ER (basisjaar) en ERL (ramingen) via een ander model meegenomen. De modellering van emissies in het basisjaar (ER) en daarmee ook Potamis+, focussen zich op de emissies van de hoofdmotoren. De hulpmotoren worden meegenomen via een algemene ophoging van 13%. In Paragraaf 3.4 zullen we verder ingaan op hoeverre dit state-of-the-art is.

Boilers en kachels aan boord van schepen (tankers) worden niet meegenomen in de berekeningen voor zowel de ER als de ERL. Boilers en kachels worden gebruikt in tankers om lading zoals zware olie, bitumen en asfalt, te verwarmen zodat de lading vloeibaar blijft. Vlootschouw.nl laat zien dat veel van de geïnstalleerde systemen, met vermogens tot 3.000 kW, direct worden aangedreven doormiddel van een brander. Er wordt dan dus geen gebruik gemaakt van losse hoofd- of hulpmotoren. De systemen kunnen draaien op gasolie, zware olie of gas. Het aandeel in het brandstofverbruik bij tankers in de binnenvaart is onbekend.

Vergelijkbare systemen worden gebruikt in de zeevaart waar wel data voor beschikbaar is vanuit de vierde IMO GHG-studie (CE Delft et al., 2020). Hieruit blijkt dat kleine tankers (minder dan 5.000 dwt), die het best vergelijkbaar zijn met tankers in de binnenvaart, jaarlijks gemiddeld meer brandstof gebruiken voor boilers dan voor de voortstuwing. Het ontbreken van emissies door boilers van tankers in de binnenvaart heeft dus mogelijk significante effecten op de emissieschattingen en ramingen. Mogelijk zijn boilers en kachel mede de verklaring dat in een studie voor EEA (Fraunhofer ISI et al., 2020) de vloot-gemiddelde GHG intensiteiten van tanktransport (53,7 g/tkm) twee maal zo hoog bleken als van droge lading (25,6 g/tkm) en duwboten (24,2 g/tkm).

ERL-emissies

Alle emissies die in de ERL geraamd worden zijn in het model meegenomen.

Naast de genoemde luchtverontreinigende emissies worden in POTAMIS+ ook emissies van broeikasgassen, diesel- en energieverbruik berekend. Voor de doelmatigheid binnen de totale emissies zijn, zoals te zien is in Figuur 2, met name de fijnstof en NO_x-emissies van binnenvaart van belang. De emissies van ammoniak kunnen in absolute (en relatieve) zin echter wel toenemen, indien meer schepen worden uitgerust met een SCR-systeem waarvoor ureum wordt gebruikt om de NO_x-emissies te reduceren. De emissies van NMVOS kunnen ook toenemen als andere brandstoffen worden ingezet, zoals methanol (onder andere formaldehyde-emissies (Interview 3)). In het model wordt met de ingroei van deze ontwikkelingen rekening gehouden (zie Paragraaf 3.3.3).

3.3.3 Aanknopingspunten in model om beleid en autonome ontwikkelingen door te rekenen

Technieken en brandstoffen

Beleid heeft via emissiestandaarden, normering en subsidies invloed op de motortech-nieken die worden toegepast op binnenvaartschepen. Het is daarom belangrijk dat het model rekening houdt met de ingroei van nieuwe technieken. We gaan hierna nader in op voortstuwingmotoren, de configuratie van de motoren en hulpmotoren. Tenslotte gaan we in op het doorrekenen van beleid via het model.

Voortstuwingmotoren

In het model worden naast de huidige dieseltechnieken (CCR0, CCRI, CCRII/Stage IIIA, Stage V), dual fuel LNG en retrofitechnieken (SCR en DPF) rekening gehouden met de volgende technieken en brandstoffen voor nieuwe motoren en aandrijvingen:

- Euro VI-motoren;
- diesel-elektrisch en hybride;
- plug-in hybride diesel-elektrisch;
- 100% elektrisch;

- H₂ met fuel cell;
- H₂ dual fuel diesel;
- Methanol in dual fuel;
- Methanol in fuel cell en MeOH reformer;
- HVO 100 Stage V;
- B100 (FAME) Stage V.

Met voorgaande lijst van technieken en brandstoffen zijn de belangrijkste alternatieven voor diesel meegenomen. Er zijn enkele opties die worden genoemd in andere studies (CLINSH, 2021; Dahlke-Wallat & Friedhoff, 2020; TNO & PBL, 2024) en in de interviews (2, 3, 5, 6), die niet in het model worden meegenomen. Dit zijn de energiedragers ammoniak, GTL (gas to liquid), PTL (power to liquid), liquid hydrogen carriers (LOHC) en de nabehandelingstechniek FWE (fuel water emulsion). Er lijken echter goede redenen om deze opties (nog) niet op te nemen in de modellering. Toepassing van ammoniak lijkt in de zeevaart kansrijk, maar voor de binnenvaart lijken vooralsnog de toxiciteitsrisico's op het schip en op bunkerlocaties een probleem (5) (Hulskotte, 2025; TNO & PBL, 2024). GTL en FWE zijn toegepast in pilots (CLINSH et al., 2021). GTL is echter duurder dan diesel en lijkt buiten pilots niet te worden toegepast (Berger Maritiem, 2025). Van FWE vinden we ook geen aanwijzingen dat dit breed wordt toegepast. Voor beiden toepassingen zijn er geen redenen om aan te nemen dat ze in de toekomst wel meer toegepast gaan worden. PTL en LOHC zijn in de verre toekomst mogelijk een optie als klimaatneutrale brandstoffen richting 2050 maar zijn momenteel nog zeer duur.

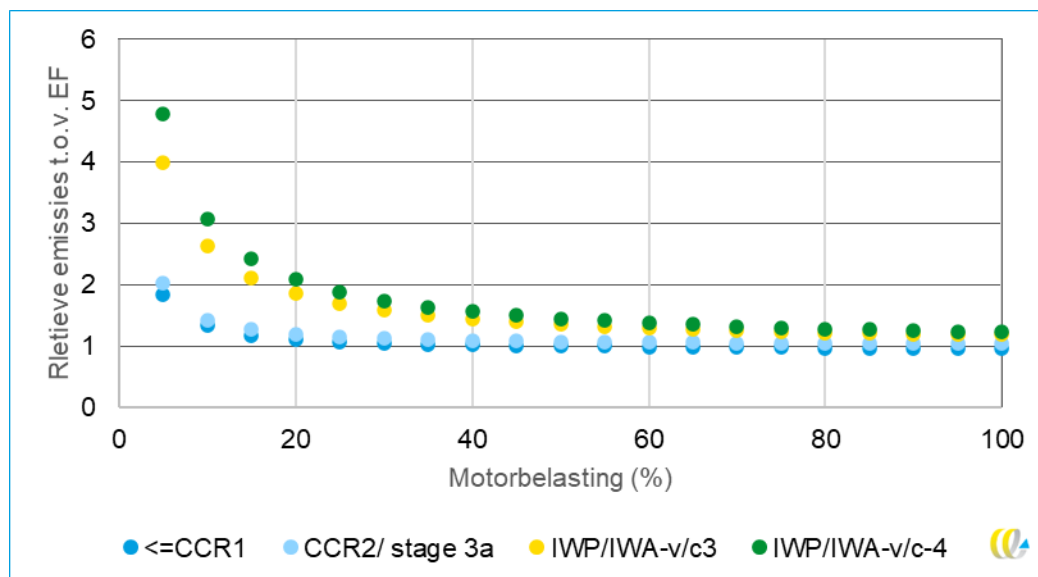
Naast B100 worden ook lagere FAME-mengsels genoemd, zoals B20 en B30. Vanuit de interviews wordt niet veel verwacht van FAME als brandstof (2, 3, 5), maar mogelijk wel op beperkte schaal (2, 3). Indien dit relevant blijkt te worden zouden deze toegevoegd kunnen worden in de opties, niet alleen voor Stage V, maar juist ook voor oudere motoren.

HVO wordt vanuit de interviews en literatuur echt gezien als een belangrijke optie om broeikasgasemissies te kunnen reduceren in de binnenvaart (CLINSH, 2021; Dahlke-Wallat & Friedhoff, 2020; TNO & PBL, 2024). HVO wordt meegenomen in POTAMIS+ maar in de **huidige modellering ontbreekt echter nog de optie van de inzet van HVO in oudere motoren (CCRII en ouder)**. Met name in oudere motoren kan HVO (en GTL en PTL) NO_x (0-20%) en met name PM_{2,5}-emissies (20-30%) reduceren (TNO, 2025). De inzet van FAME (als blend met diesel of B100) is (in beperktere mate) ook een mogelijkheid en levert juist hogere emissies (TNO, 2025). Ook hier zijn voor oudere motoren geen emissiefactoren. In Paragraaf 3.4.1 beoordelen we de emissiefactoren voor de technieken die nu in het model zitten.

Configuratie van motoren

Het grootste verschil in de luchtverontreinigende emissies wordt gemaakt bij een overstap van een CCR1-motor of ouder naar een Stage V-motor of beter (80-90% reductie). De configuratie van motoren, zoals de grootte van de motor (*right sizing*) of de keuze tussen twee generatoren (diesel elektrisch) of één heeft echter ook invloed op de emissies, waaronder ook voor CO₂. Wanneer door een betere motorconfiguratie een lage belasting van de motoren kan worden vermeden kan dit tot emissiereductie leiden voor zowel CO₂ als voor de ERL-stoffen. Figuur 3 laat zien hoe de emissies van NO_x afhangen van de motorbelasting. Bij lage vermogens vallen de relatieve emissies (g NO_x/kWh) tot een factor vijf hoger uit dan de gemiddelde emissiefactor. Deze effecten zijn met name relevant voor Stage V-motoren (groen en geel in de figuur) doordat deze motoren zijn uitgerust met een katalysator. Katalysatoren werken minder efficiënt bij lage vermogens.

Figuur 3 – Relatieve NO_x-emissies t.o.v. standaard NO_x-emissiefactor van verschillende technieken



Bron: Samengesteld op basis van (Hulskotte, 2018).

POTAMIS+ bevat de mogelijkheid om rekening te houden met trends in het totale geïnstalleerde vermogen op schepen, maar op dit moment wordt verondersteld dat het totale vermogen in de toekomst gelijk blijft. **Vanuit interviews (2, 5, 6) wordt echter aangegeven dat er wel een trend is naar kleinere motoren (*right sizing*) waarbij vaak gekozen wordt voor meerdere kleine generatoren in een diesel-elektrische configuratie in plaats van één grote motor.** POTAMIS+ houdt op dit moment ook geen rekening met de optie van het vervangen van één motor door meerdere motoren.

Het effect van een betere motorbelasting kan op dit moment ook niet doorgerend worden, omdat met algemene correctiefactoren wordt gerekend ten opzichte van de emissies voor stilliggen en varen in het basisjaar. Om de effecten van een optimalere motorbelasting goed door te rekenen zou zowel gedifferentieerde informatie over de vermogensvraag uit het basisjaar als naar motorbelasting gedifferentieerde emissiefactoren in het POTAMIS+-model moeten worden opgenomen.

Om te beoordelen hoe groot dit effect kan zijn, kunnen eerst modelinschattingen gemaakt worden op basis van een aantal voorbeeldschepen en -reizen. Voor deze voorbeeldreizen kunnen, met behulp van AIS-data, belastingprofielen worden opgesteld waarmee het benodigde motorvermogen wordt ingeschat voor verschillende stukken van de reis. Met modelberekeningen kan dan bepaald worden hoe hoog de luchtvervuilende emissies zijn als het schip gebruik maakt van één grote motor of meerdere parallel geplaatste kleinere generatoren. Als uit de modelinschattingen voor de voorbeeldreizen volgt dat het effect groot is, dan kan het wenselijk zijn om het model aan te passen.

Hulpmotoren

Hulpmotoren worden via een 13% opslag meegenomen in het basisjaar en deze opslag werkt door in de toekomstvoorspelling van POTAMIS+. De techniek van de hulpmotoren is daarmee gekoppeld aan die van de hoofdmotoren. De input vanuit de ER voor POTAMIS+ maakt onderscheid naar emissies tijdens varen ($>1,85$ km/ uur) en stilliggen ($<1,85$ km/ uur), waarbij we verwachten dat de hulpmotoren voor een belangrijk deel de emissies tijdens stilliggen bepalen. **Op dit moment zijn er in POTAMIS+ echter geen parameters die de invloed van beleid voor hulpmotoren, zoals stimuleren van walstroom of schonere motoren, direct kunnen doorrekenen.** Voor een dergelijke doorrekening is het van belang dat de emissies van hulpmotoren apart in het model worden berekend, met onderscheid naar aan de kade liggen (potentie voor walstroom), manoeuvreren en huishoudelijk verbruik tijdens varen. De emissies zijn gemiddeld genomen dus rond de 13%, maar kunnen lokaal een hoger aandeel hebben en van belang zijn voor goede immissieramingen. Een publicatie in het kader van het CLINSH-project laat zien dat hulpmotoren vaak nieuwer zijn dan hoofdmotoren (Busch, 2021) en dus relatief lagere NO_x - en $\text{PM}_{2.5}$ -emissies hebben (per kWh).

Doorrekening beleidsmaatregelen

In POTAMIS+ kunnen de effecten van beleid op techniek worden ingevoerd door de *tech chance* voor nieuwe motoren aan te passen. De *tech chance* aandelen worden niet in het model zelf bepaald. Als er bijvoorbeeld subsidies worden gegeven voor een bepaalde techniek of als bepaalde technieken in prijs veranderen (autonoom of door beleid), moeten de aandelen van de technieken buiten het model opnieuw bepaald worden. Het model zou nog uitgebreid kunnen worden door dergelijke effecten binnen het model te bepalen.

Dit zou kunnen door economische aspecten, zoals de kosten van technieken en brandstoffen, aan het model toe te voegen. Hiermee kan de invloed van subsidies en belastingen en heffingen (bijvoorbeeld ETS2) op de (meer)kosten van verschillende technieken worden bepaald. Dit kan gebruikt worden om overstapgedrag te modeleren. Door ook verschillen in scheepsomvang en vaarprofielen mee te nemen worden de uitkomsten voor *tech chance* veel gedifferentieerder en de inzetmogelijkheden van het model veel groter.

Energiegebruik

Externe factoren en beleidskeuzes hebben invloed op het energiegebruik van schepen. Het energiegebruik wordt bepaald door de vormgeving van schepen en aandrijflijn, de keuze voor de motor, de configuratie van de motoren, de eigenschappen van vaarwegen en het vaargedrag van de schipper. Daarnaast kan beleid ook worden gericht op hulpmotoren. We bespreken per aspect hoe er in POTAMIS+ mee wordt omgegaan.

Schipdesign

In POTAMIS+ zijn er in de modellering geen aanknopingspunten om verbeteringen in het design van schepen mee te nemen. De benodigde voortstuwingsenergie van schepen wordt voor het basisjaar in de emissieregistratie berekend via het Bolt-model (Bolt, 2003). De efficiëntie van propeller en de weerstand van het schip zijn in het model door modelparameters vastgelegd. Op basis van de voortstuwingsenergie worden voor het basisjaar de emissies berekend, die als input dienen voor POTAMIS+. In POTAMIS+ kan de voorstuwingsenergiebehoefte dus niet meer worden aangepast en er zijn ook geen parameters die correcties achteraf maken. Door ontwikkelingen in scheepsdesign (bijvoorbeeld betere hydrodynamica) en aandrijflijn (bijvoorbeeld efficiëntere schroeven) kan de voorstuwingsenergiebehoefte van nieuwe schepen en aandrijflijnen (kWh/km) wel behoorlijk lager uitkomen dan van oudere schepen en aandrijflijnen. Vanuit de interviews werd aangegeven dat een tot 30% lager energiegebruik mogelijk is door efficiëntere schroeven (5). **Omdat lagere energiebehoefte zal leiden tot lagere luchtvervuilende emissies is het aan te bevelen om ook de benodigde voorstuwingsenergie in de POTAMIS+-modellering te kunnen aanpassen.** Het kan praktisch zijn om de energie-modellering hiervoor binnen het POTAMIS+-model te brengen.

Motorkeuze

De keuze van de motor is onderdeel van Potamis+. In POTAMIS+ wordt rekening gehouden met verschillen in efficiëntie van verschillende type motoren. De motorefficiëntie (benodigde energie input per kWh geleverde energie) heeft echter geen directe relatie met de luchtvervuilende emissies. Een zuinige motor met CCRII-emissiestandaard kan dezelfde luchtvervuilende emissies hebben als een minder zuinige motor met CCRII-emissiestandaard. De luchtvervuilende emissies moeten namelijk in beide gevallen op de E3-testcyclus onder een bepaalde vastgestelde waarde per kWh blijven terwijl het specifiek brandstofverbruik (g diesel per kWh) kan verschillen.

Vaargedrag

Vaargedrag heeft ook invloed op het energiegebruik. Dit kan bijvoorbeeld door langzamer/economischer te varen (zie ook programma [Voortvarend Besparen](#)), maar ook door hulpmiddelen in te zetten zoals computer getrainde navigatie. Het effect van langzamer varen kan in het basisjaar (Boltmodel) worden gemodelleerd door lagere snelheden in te geven.

In POTAMIS+ zit op dit moment geen aanknopingspunt om effecten van efficiënter vaargedrag mee te nemen.

Een dergelijk effect zou echter wel eenvoudig kunnen worden toegevoegd door een correctiefactor, gebaseerd op resultaten uit de praktijk, toe te passen op de emissies. Om op een meer geavanceerde manier de effecten te berekenen (bijvoorbeeld van snelheidsbeperkingen of optimaal vaargedrag van bepaalde schepen) zou het energie-model, dat gebruikt wordt voor het basisjaar in de Emissieregistratie, onderdeel moeten worden van Potamis+.

Eigenschappen van vaarwegen en laagwater

Eigenschappen van vaarwegen beïnvloeden het energieverbruik. Voor de emissies in het basisjaar wordt een hydrodynamisch energiemodel gebruikt. **In POTAMIS+ is het niet mogelijk om effecten van veranderingen in eigenschappen van vaarwegen mee te nemen.** Het aanpassen of opwaarderen van rivieren, kanalen, en sluizen kunnen leiden tot veranderingen in het energieverbruik. Op landelijke schaal zullen dergelijke aanpassingen een beperkt effect hebben. Een potentieel belangrijker effect zijn effecten van klimaatverandering op rivieren (Deltares, 2024b). Hierbij hebben met name extreme waterstanden veel effect. De waterdiepte heeft veel invloed op hoe er gevaren en beladen kan worden. De waterstand en de belading van het schip bepalen samen de kielspeling³ en daarmee de weerstand bij varen. Hoe kleiner de kielspeling hoe hoger de weerstand en hoe hoger het verbruik. De belading heeft daarnaast direct invloed op de diepgang (de doorsnede van het schip dat onder water ligt) en daarmee de vaarweerstand. Wanneer periodes van laagwater vaker voorkomen dan zal het energieverbruik in de toekomst stijgen. Hierdoor neemt de relevantie toe om binnen POTAMIS+ rekening te houden met dergelijke trends.

Hulpmotoren

Zoals eerder aangegeven wordt voor hulpmotoren met een 13% opslag gerekend ten opzichte van de energiebehoefte voor voortstuwing in het basisjaar en werkt deze opslag door in de toekomstvoorspelling van POTAMIS+. Op dit moment zijn er in POTAMIS+ geen parameters die de invloed van beleid voor hulpmotoren, zoals stimuleren walstroom of zuinigere motoren, kunnen doorrekenen.

³ De ruimte tussen bodem van het schip en de waterbedding.

Transportvolumes en belading

Voor het basisjaar is het transportvolume gebaseerd op AIS-data en transportstatistieken. De veranderingen in transportvolumes worden overgenomen uit het externe model.

[BasGoed](#) is een strategisch goederenvervoermodel waarmee prognoses worden opgesteld voor onder andere binnenvaart. Het heeft tot doel om de effecten van economische ontwikkelingen en beleidsmaatregelen op het goederenvervoer in kaart te brengen.

BasGoed geeft per scheeptype de veranderingen van te verwachten goederenstromen waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen natte bulk, droge bulk en containers. Binnen BasGoed is het mogelijk om de beladingsgraad en de fractie lege vaarten aan te passen.

In POTAMIS+ worden de veranderingen van goederenstromen meegenomen via schaalfactoren die worden toegepast op de kilometers die gemaakt worden door de vloot. De effecten van een veranderende belading op het energieverbruik van schepen kan in POTAMIS+ niet worden meegenomen.

POTAMIS+ veronderstelt daarnaast dat de omvang van de vloot gelijk blijft. Dit betekent dat het totaal aantal schepen gelijk blijven en dat er ook geen verschillen zijn in de transportvolumes voor verschillende grootteklassen. In de binnenvaart vindt echter een trend van schaalvergroting plaats (3, 5). Daarnaast worden er de laatste jaren vooral natte-bulkschepen nieuwgebouwd (ABN Amro, 2025). Deze voorbeelden laten zien dat er over tijd verschillen in de omvang en structuur van de vloot zijn. Doordat het energieverbruik, zowel absoluut als relatief verschilt tussen verschillende type schepen, is het van belang om rekening te houden met veranderingen in de omvang en structuur van de vloot. In de interviews wordt ook de suggestie gedaan om niet te spreken van scheepsvervanging, maar de uitval van schepen en de instroom van nieuwe schepen, los van elkaar te zien (3). Geconcludeerd kan worden dat **binnen POTAMIS+ trends in schaalvergroting, type goederen en veranderde scheepstypen momenteel niet goed meegenomen kunnen worden**. TNO geeft zelf wel aan hier in de toekomst het model op aan te willen passen.

Personenvervoer is geen onderdeel van BasGoed. **Het is onduidelijk hoe in POTAMIS+ met volumeveranderingen in de passagiersvaart wordt omgegaan**. De passagiersvaart heeft een aandeel van 9% in de NO_x-emissies en 19% in de PM_{2,5}-emissies van binnenvaart (bron: [Emissieregistratie](#)) en is daarmee niet onbelangrijk om goed in te schatten voor de ERL.

3.4 Kwaliteit van de aannames en databronnen

Inleiding

In deze paragraaf kijken we naar de kwaliteit van de aannames die worden gemaakt en of er mogelijk verbeterlagen zijn. Eerst bespreken we de inschattingen van de parameters die worden gebruikt en vervolgens de gebruikte modellen en databases.

3.4.1 Worden parameters goed ingeschat?

Actuele data voor inschatten energieverbruik

Belangrijke verbetermogelijkheden hangen samen met de inschattingen voor het basisjaar. Voor het basisjaar worden aannames gemaakt (zie (Hulskotte, 2018)) over de beladingsgraad van schepen en de eigenschappen van vaarwegen (waaronder stroomsnelheid, breedte, en diepte) die, in de toekomst, verbeterd kunnen worden. Het energieverbruik van schepen fluctueert significant afhankelijk van de waterstand en de stroomsnelheid (CE Delft, 2021; Deltares, 2024a; MARIN, 2020). Ook passen schippers de belading en de vaarsnelheid aan op de actuele omstandigheden. Momenteel worden voor ER alleen de actuele vaarsnelheid en afgelegde kilometers meegenomen waardoor niet voor alle parameters actuele cijfers worden meegenomen.

Het niet meenemen van actuele belading en stroomsnelheid kan significante effecten hebben, met name in tijden van laagwater. In tijden van laagwater daalt de stroomsnelheid van water en kan er minder beladen worden. Hierdoor neemt het energieverbruik per trip toe en zijn er meer trips nodig. Marin heeft door middel van scenario's onderzocht wat de effecten van laagwaterstand zijn op vlootniveau (MARIN, 2020). Marin geeft aan dat schepen waarschijnlijk harder gaan varen tijdens de afvaart om lagere stroomsnelheden te compenseren.⁴ Marin vindt een duidelijk verschil tussen opvaart en afvaart. Tijdens de opvaart nemen emissies en brandstofverbruik toe met ongeveer 60%, tijdens de afvaart vindt een verdubbeling plaats. Deze toename in emissies is groter dan alleen de toename in transportbewegingen. **Het niet meenemen van actuele cijfers over belading en stroomsnelheid heeft dus invloed op de inschattingen voor het basisjaar.** Aangezien POTAMIS+ het basisjaar als uitgangspunt neemt worden ook de inschattingen voor toekomstige jaren hierdoor beïnvloed.

Er zijn mogelijkheden om voor deze parameters wel actuele cijfers mee te nemen. Zo verzamelt Rijkswaterstaat actuele informatie per schip over de belading via onder andere IVS. Ook voor waterstanden en stroomsnelheden kunnen actuele cijfers ontsloten worden. Uit gesprekken met TNO blijkt dat het bestaan van deze data bekend is, maar dat het ontsluiten en combineren van de verschillende (vertrouwelijke) databronnen een

⁴ Als schepen meer motorvermogen vragen om te compenseren voor lagere stroomsnelheid dan zal de snelheid over grond, zoals gemeten wordt met AIS-data, niet of beperkt veranderen.

enorme uitdaging is. Een tussenstap zou zijn om te onderzoeken wat de potentiële effecten zijn als actuele data wel wordt meegenomen. Bijvoorbeeld door voor voorbeeldcases emissies te modelleren met een realistische variatie aan op elkaar afgestemde parameters ten opzichte van de geaggregeerde parameters. Hiermee kan de meerwaarde van volledige praktijkdata beter worden ingeschat.

De uitdaging voor POTAMIS+ wordt dan om een relatie te vinden tussen het aantal laagwaterdagen, de specifieke waterstand en het energiegebruik van de vloot. Voor de toekomst kan dan ook worden ingeschat wat de invloed is van meer dagen laag water.

Energieverbruik hulpmotoren

Voor hulpmotoren wordt in het basisjaar en POTAMIS+ gewerkt met een algemene opslag van 13% op de hoofdmotoren. Deels worden er specifiekere aannames gemaakt op basis van (Busch, 2021), maar deze aannames zijn niet gedocumenteerd en voor ons op dit moment niet duidelijk

Vanuit de interviews (2, 6, 6) blijkt dat er significante verschillen zitten tussen het energieverbruik voor hulpmotoren. Over het algemeen hebben alle schepen een losse relatief kleine generator voor het huishoudelijk verbruik. Deze draaien bij de meeste schepen constant. Wanneer gebruik wordt gemaakt van walstroom en/of accupakketten, dan zal de generator uitstaan. Er zijn ook, vaak grotere, hulpmotoren die voor andere doeleinden worden gebruikt. Het gaat dan om energieopwekking voor het aandrijven van kranen, pompen, boegschroeven en boilers. Voor bepaalde scheepstypen hebben deze generatoren een significant aandeel in het brandstofverbruik (6). Tegelijkertijd is aangegeven (6) dat schippers soms motoren laten draaien als schepen voor korte tijd, bijvoorbeeld minder dan één uur, stilliggen.

De aannames over het verbruik van hulpmotoren, en de verschillen daarvan tussen schepen, kunnen aangescherpt worden. Hiervoor is wel nieuw onderzoek nodig, omdat er weinig centrale databronnen zijn voor het verbruik van hulpmotoren. Wel komt er meer informatie beschikbaar doordat er meer en uitgebreider brandstofverbruik gemonitord wordt op schepen (6). Op basis van dergelijk onderzoek kunnen ook effectinschattingen van bepaalde technieken, zoals een hybride aandrijflijn, verbeterd worden doordat meer informatie is over verbruik tussen verschillende motoren. Het grote verschil tussen verschillende typen schepen komt ook tot uiting in een studie die CE Delft met Fraunhofer heeft uitgevoerd voor de EEA (Fraunhofer ISI et al., 2020). Op basis van vlootgemiddelde cijfers voor Europa kwamen we tot de conclusie kwamen dat de GHG-intensiteit van tanktransport (53,7 g/tkm) twee maal zo hoog is als van droge lading (25,6 g /tkm) en duwbotten (24,2 g/tkm). Alhoewel niet onderzocht is wat de achtergrond van dit grote verschil is, lijkt het logisch om aan te nemen dat het verbruik van de pompen en daarnaast ook boilers en kachels (zie Paragraaf 3.3.2 voor toelichting) hierin een belangrijke rol spelen. Het aandeel van natte bulk in de KEV is rond de 30%. Het goed meenemen van tankvaart is dus essentieel.

Emissiefactoren van motoren

De emissiefactoren voor de raming in POTAMIS+ zijn overgenomen uit het basisjaar vanuit ER. De emissiefactoren in het basisjaar van ER zijn gebaseerd op het EMS-protocol. In de meest recente documentatie (Hulskotte, 2018) staan de emissiefactoren in g/kWh beschreven. In POTAMIS+ worden emissiefactoren in gram per liter toegepast. Het is onduidelijk welke aannames en effecten, zoals de motorbelastingafhankelijke correctiefactoren, onderdeel van de emissiefactoren in POTAMIS+ zijn. Wanneer we de factoren vanuit het EMS protocol (ER) omzetten van g/kWh naar g/liter dan zien we dat er verschillen zijn met de emissiefactoren in POTAMIS+. We weten niet waardoor deze verschillen ontstaan omdat dit niet gedocumenteerd is.

Er zijn enkele algemene punten naar voren gekomen uit de interviews:

- Het is belangrijk om de emissiefactoren van Stage V-motoren te toetsen aan metingen uit de praktijk. Zo worden in (Hulskotte, 2018) voor de ER hogere motorbelasting afhankelijke correctiefactoren gehanteerd voor Stage V-motoren dan voor CCRI- en CCRII-motoren. Dit lijkt logisch vanuit het feit dat een SCR, die in een Stage V gebruikt wordt, bij lagere motorbelasting en bijbehorende motortemperatuur minder effectief is. Of de emissiefactoren in POTAMIS+ zijn geüpdatet ten opzichte van (Hulskotte, 2018), is niet duidelijk en ook niet of de emissiefactoren met de praktijk getoetst zijn. Ook voor andere technieken blijft toetsing in de praktijk van belang.
- In (Hulskotte, 2018) wordt aangenomen dat nieuwere motoren een lager specifiek brandstofgebruik hebben. Deze trend wordt door een aantal experts (Interviews 2, 3) niet herkend. Zij geven aan dat de introducties van CCRI en CCRII leidde tot een relatieve stijging in het brandstofgebruik doordat strengere NO_x en fijnstof emissie-eisen leidden tot een, voor het brandstofgebruik, suboptimale afstelling. Ook kunnen zeer oude motoren, die langzaam lopen en geen keerkoppeling hebben, zeer efficiënt zijn.
- Emissiefactoren in POTAMIS+ (en daaruit volgend correctiefactoren ten opzichte van het basisjaar) worden niet gespecificeerd naar scheepsomvang, vaarprofiel en de specifieke vermogensvraag. De potentiële emissievoordelen van bepaalde technieken, zoals diesel-elektrisch en batterij-elektrisch, hangen echter sterk samen met de scheepsomvang en het vaarprofiel. Zo zijn er bij diesel-elektrische aandrijving voordelen bij wisselende weerstanden (zoals stroomopwaarts en afwaarts), omdat dan generatoren kunnen worden afgeschakeld op momenten dat de vermogensvraag lager is (zie ook Paragraaf 3.3). Hierdoor wordt de verbranding geoptimaliseerd (optimalere motorbelasting) wat leidt tot een lager brandstofverbruik en lagere NO_x-emissies. Deze voordelen zijn niet terug te zien in de emissiefactoren.

- Voor volledig elektrisch varen wordt de overstapkans niet gevarieerd naar type schip. Dit betekent dat de kans gelijk is voor een klein werkschip als een grote tanker die 24/7 vaart, terwijl in de praktijk de kans verschilt. Met name grote schepen met veel vermogen en veel vaaruren zullen minder snel elektrisch varen dan nu wordt aangenomen in het model. Deze schepen hebben relatief veel uitstoot, waardoor de voordelen van elektrisch varen worden overschat.

We hebben de emissiefactoren (in g/l) geanalyseerd, die als input voor POTAMIS+ worden gebruikt. In deze emissiefactoren waren enkele voor ons opvallende punten:

- De emissie-eisen voor een grotere Stage V-motor (>300 kW) zijn strenger dan voor de kleinere categorie (130-300 kW). Het valt echter op dat de gehanteerde emissiefactoren voor NO_x tijdens varen (in g/l) hoger zijn voor de grotere Stage V-motor ten opzichte van de kleinere categorie. Voor de emissies bij het stilliggen is dit patroon niet zichtbaar.
- De emissiefactoren (in g/l) zijn niet consistent tussen verschillende opties Stage V. Zo zijn er twee categorieën met vergelijkbare namen, namelijk retrofit SCR+ DPF en Stage V Retrofit SCR + DPF, waarvoor de emissiefactoren verschillen. Daarbij valt ook op dat de emissiefactoren voor NO_x voor Stage V Retrofit SCR + DPF lager zijn dan nieuw geïnstalleerde Stage V-motoren.
- Het is opmerkelijk dat er bij twee emissieloze categorieën, namelijk 100% elektrisch en waterstof met brandstofcel, restemissies zijn. Er wordt aangenomen dat er back-up generatoren op diesel zijn die nog 10% van de energie leveren.
- Voor verschillende technieken (bijvoorbeeld CCRII-LNG en Stage Va3) is het gemiddelde brandstofverbruik stationair vele malen hoger dan varend (moving). Dit lijkt niet te kloppen aangezien het stationair verbruik normaal veel lager is. Ook bij de emissiefactoren zouden we verwachten dat in g/l de emissies lager zijn varend dan stationair. Op stationair wordt er namelijk op deellast gedraaid waardoor de verbranding minder optimaal is, en ook de katalysator niet optimaal functioneert. Echter, voor meerdere technieken zijn de emissies stationair (in g/l) relatief lager dan varend.

Vervangingskans motoren

In POTAMIS+ wordt aangenomen dat jaarlijks 3-4% van de motoren wordt vervangen of gereviseerd. Uit de vervanging tech chance (jaar 2022-2023) blijkt dat de helft van deze motoren in het model (52%) revisie ondergaat (keuze CCRII) en de andere helft (48%) een nieuwe motor aanschaft. Dus 1,5-2% van de schepen vervangt de motor. Daarnaast worden er in het model ook schepen vervangen. Vanuit de modelbeschrijving is niet duidelijk wat hiervoor wordt aangenomen. We nemen aan dat ongeveer 1% van de schepen in het model wordt vervangen door een schip met een nieuwe motor (ca. 100 nieuwe schepen op een vloot van ca. 10.000+ schepen, zie (IVR, 2025) en Interview 1).

In totaal komt dus voor 2,5-3% van de schepen een nieuwe motor in de vloot. Dit impliceert dat gemiddeld genomen de levensduur 33-40 jaar is waarin ongeveer één revisie plaatsvindt.

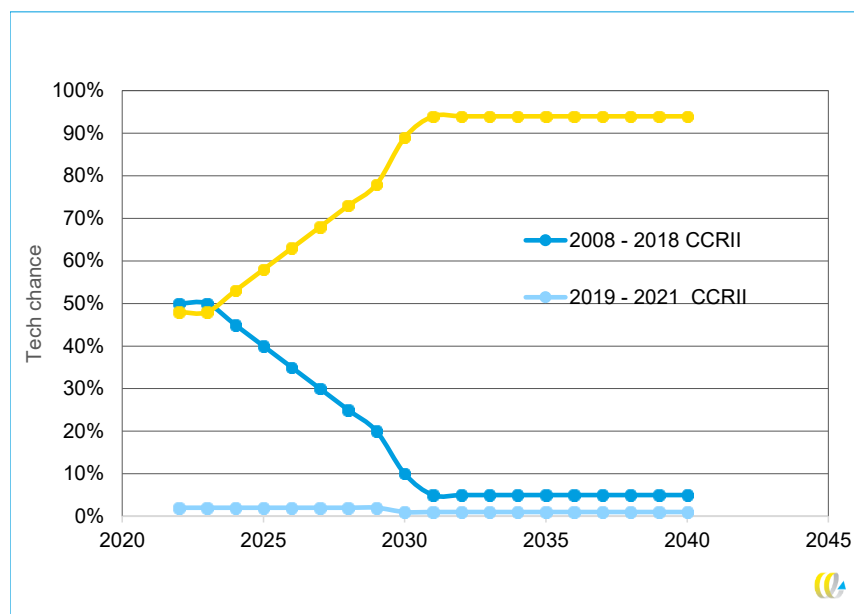
Hoewel kleinere motoren inderdaad lang meegaan, is deze leeftijd voor de gemiddelde motor vergeleken met andere bronnen hoog en de tijd tot revisie erg lang (Interview 3, zie ook (CLINSH, 2021) voor een analyse van literatuur). Voor grotere schepen wordt vaak uitgegaan van 7,5-15 jaar tot revisie en een motorlevensduur van 15-30 jaar.

De kans dat een CCRI-schip of ouder gereviseerd wordt, wordt door het model op 0 ingeschat. Het is echter juist voor oudere motoren dat in verschillende interviews wordt aangegeven dat deze juist nog zullen reviseren in plaats van vernieuwen (Interviews 3, 4, 7).

De motoruitvalkans en vervanging *tech chance* lijken niet met elkaar in overeenstemming. Zoals hiervoor aangegeven lijkt in POTAMIS+ te worden aangenomen dat 1,5-2% van de motoren vervangen wordt door een nieuwe motor (Stage V) en 1% nieuwe schepen met een Stage V-motor in de vaart komt. Het aandeel Stage V neemt dan per jaar toe met ongeveer 3%. Aangenomen dat in 2022 het aandeel stage V 5% was, dan is dat in 2030 ongeveer 30% en is 70% CCRII of ouder.

Het aandeel stage V in de *tech chance* aannames is 89% in 2030 (zie Figuur 4). Aangenomen dat 50% nieuwe motoren betreft, is 39 % revisie van stage V en dus 11% revisie van CCRII. Dit lijkt niet in overeenstemming met het aandeel stage V (30%) en CCRII of ouder (70%) in de vloot in 2030. De kans op CCRII-revisie zou naar onze verwachting veel hoger moeten zijn in 2030, uitgaande van de 3-4% motorvervanging/-revisie per jaar. Of de motorvervangingskans is veel hoger.

Figuur 4 – Tech chance bij vervanging



In de interviews (2) is aangegeven dat in het algemeen scheepseigenaren kiezen voor opties die het minste geld kosten, wat in de praktijk veelal revisie van de bestaande motor is. Zeker opties met significante meerkosten zoals batterij-elektrisch of waterstof zullen voornamelijk door beleid in de vloot komen, en niet autonoom. In de huidige aannames wordt dit goed meegenomen.

3.4.2 Gebruikte modellen en databases

Database motoren

Een belangrijke module in het POTAMIS+-model is de vernieuwing van motoren. Momenteel worden aannames gebruikt die in de eerdere editie van POTAMIS (Hulskotte, 2021) is opgesteld op basis van een analyse van het IVR-register en aanvullende data van scheepsmakelaars (Interview 5). De kwaliteit voor deze module kan verbeterd worden door de IVR-dataset voor meerdere opvolgende periodes te analyseren. TNO is dit ook van plan geven ze aan. Het is daarbij van belang dat de dataset zo compleet mogelijk is. De IVR-dataset bevat informatie over de dimensies van het schip en de type motoren in het schip. Uit gesprek met de IVR (Interview 1) blijkt dat de kwaliteit van de dataset in de afgelopen jaren significant verbeterd is. Ze wisselen onder andere informatie uit met Green Award en havens om de data actueel te houden. Daarnaast worden vele websites onderzocht waarop berichten over binnenvaartschepen verschijnen. Vanuit de interviews wordt aangegeven dat er nog een aantal andere bronnen zijn die onderzocht kunnen worden om de IVR-database verder te verrijken (indien nodig) en/of motorvernieuwing in te schatten:

- binnenvaart.nl en vlootschouw.nl zijn websites met historische data. Mogelijk kunnen zij benaderd worden met het verzoek om data te delen Interviews 5, 6);
- inspectie voor de leefomgeving (ILT) heeft mogelijk ook data (Interview 3);
- Klassebureaus hebben informatie over op de markt gebrachte en goedgekeurde nieuwe motoren (Interview 5);
- leveranciers van motoren hebben informatie over de afzet van het aantal nieuwe motoren;
- Jan Hulskotte heeft veel van deze informatie (over typekeur van motoren en alternatieve brandstoffen en aandrijfsystemen van vooral nieuwe schepen voor zover beschikbaar in openbare bronnen) de afgelopen jaren ook bijgehouden in een bestand (Interview 5).

Vanuit het perspectief van zowel emissieregistratie als ERL kan het interessant zijn om nauwer samen te werken met IVR en indien er kansen zijn de database (samen) nog verder te verrijken met andere bronnen. De motoren database en de ontwikkeling in de tijd is een belangrijke bouwsteen voor zowel EMS als ERL.

Model energieverbruik

Het energieverbruik en de emissies voor het basisjaar bepalen ook de emissies in toekomstige jaren. Het energieverbruik en de emissies in het ER-basisjaar worden bepaald door middel van het zogenoemde Bolt-model. Dit is een weerstandsmodel dat op basis van hydrodynamische principes de energiebehoefte van schepen bepaalt. Het Bolt-model is gebaseerd op Visual Basic in Excel en stamt uit 2003 (Bolt, 2003). Het bevat enkele vereenvoudigde aannames om de modelering niet te complex te maken. In enkele interviews (3, 4) is aangegeven dat dit bij bepaalde omstandigheden tot verkeerde inschattingen van het energieverbruik kan leiden.

De TU Delft heeft een open-source-model voor de binnenvaart (TU Delft, lopend) ontwikkeld in Python op basis van vaarbewegingen uit AIS. Dit model bevat een module om het energieverbruik in te schatten. Dit weerstandmodel is vergelijkbaar met het Bolt-model, maar bevat niet de vereenvoudigingen om de weerstand te berekenen. Ook wordt een specifieke correctie uitgevoerd voor de weerstand bij een beperkte waterdiepte. Echter, voor zowel dit model als het Bolt-model geldt dat de validatie vanuit de praktijk beperkt is.

Door technologische vooruitgang komen er echter steeds meer metingen vanuit de praktijk beschikbaar. Nieuwere motoren monitoren het brandstofverbruik, en in onderzoeksprogramma's worden soms massflow meters geïnstalleerd (CLINSH et al., 2021; TNO, 2023). Dergelijke projecten bieden mogelijkheden om op vaartniveau emissies te monitoren. Hiermee kunnen de theoretische modellen gevalideerd worden. Anderzijds, is het ook mogelijk om een validatie op een hoger niveau uit te voeren. Vanuit de afvalstoffenheffing (CDNI) is namelijk het jaarlijkse brandstofverbruik op scheepsniveau bekend. Deze cijfers zouden vergeleken kunnen worden⁵ met de jaarlijkse modelinschattingen voor dezelfde individuele schepen. Tenslotte kunnen ook de totale bunkergegevens voor Europa worden vergeleken met een modellering voor Europa, om de globale uitkomsten te valideren. Als modelleren voor Europa niet mogelijk blijkt kan ook worden gekeken naar de intensiteiten (MJ per tkm) voor Europa op basis van CDNI en Eurostat tegenover die in Nederland op basis van het model (zie ook (Fraunhofer ISI et al., 2020)).

3.5 Toekomstontwikkelingen

In deze paragraaf bespreken we de belangrijkste ontwikkelingen die op de binnenvaart afkomen. We maken onderscheid naar socio-economische ontwikkelingen, beleidsontwikkelingen en overige ontwikkelingen. We presenteren een overzicht op hoofdlijnen van de ontwikkelingen. Sommige ontwikkelingen zijn vanwege de inhoudelijke relevantie voor POTAMIS+ al besproken in Paragraaf 3.3 en **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Voor de compleetheit van het overzicht herhalen we deze ontwikkelingen nogmaals.

⁵ Hierbij dient wel voorzichtig met de gevoelige gegevens omgegaan worden.

Socio-economische ontwikkelingen

In de interviews zijn meerdere socio-economische ontwikkelingen genoemd die op de binnenvaart afkomen en die direct en indirect de emissies beïnvloeden. Deze ontwikkelingen zijn nu geen onderdeel van Potamis+. We sommen de belangrijkste effecten op:

- **Beperkte beschikbaarheid werknemers:** De sector kent personeelstekorten⁶ die door vergrijzing alleen maar verder oplopen (Interview 3). Dit heeft invloed op de beschikbaarheid van schepen en transportvolumes. Met name veel kleine schepen zijn in afgelopen jaren van de markt verdwenen, en deze trend zet zich naar verwachting door.
- **Beperkte businesscase nieuwbouw.** Voor nieuwbouw schepen is het door de hogere lasten als gevolg van afschrijving lastig te concurreren met de bestaande vloot. In de droge bulk markt is in afgelopen jaren het aantal nieuwgebouwde schepen sterk gedaald. Elk gesloopt schip wordt dus niet vervangen door een nieuwbouw schip zoals wordt aangenomen in Potamis+. Er lijkt wel een groei te zitten in de vloeibare bulk.
- **Verschoning in de binnenvaart wordt vooral door prijs gedreven.** Er zijn weinig opdrachtgevers die willen betalen voor vergroening, waardoor schippers geen prikkel hebben om groener of schoner te varen. Mede hierdoor vinden meerdere geïnterviewden het niet onlogisch dat tampering plaatsvindt bij retrofit nabehandelingssystemen. Voor Stage V-motoren zal dit, in ieder geval zolang motoren onder garantie vallen, naar verwachting niet of beperkt gebeuren. Om overstapgedrag te moduleren is een prijsmodule aan te bevelen.

Beleidsontwikkelingen

- **Beleid voor brandstoffen:** Er komt verschillend beleid op de binnenvaart af waar de effecten niet in POTAMIS+ worden meegenomen. Met name ETS2 en de brandstoftransitieverplichting zullen invloed hebben. Ook ligt er nog steeds een voorstel om de Europese Energiebelastingrichtlijn (ETD) te herzien. Effecten van dit beleid kan momenteel niet worden doorgerekend in POTAMIS+. Met een separate economische module, waarin investeringsgedrag per techniek kan worden gemodelleerd, zouden effecten wel kunnen worden ingeschat.
- **Effecten van wetgeving veiligheid:** ES-TRIN is de standaard waarin technische voorschriften zijn opgenomen die noodzakelijk zijn voor de veiligheid van de op de Europese binnenwateren varende binnenschepen. Oude schepen kunnen nog in ieder geval tot 2035 gebruik maken van langlopende overgangsbepalingen. (UPT, 2023) Door het aflopen van de overgangsbepalingen zal het aantal kleine motorvrachtschepen in CEMT-klassen I-III naar verwachting nog sneller dalen.

⁶ <https://www.rabobank.nl/kennis/d011498644-de-binnenvaart-in-feiten-en-cijfers>

- **Subsidies:** Subsidies voor nieuwe technieken en Stage V motoren worden vanuit de interviews (2) als de belangrijkste stimulans voor verschooning in de vloot gezien. Ingroei via subsidies kan nu handmatig ingevoerd worden via Potamis+.

Overige ontwikkelingen

- **Klimaatverandering:** Verschillende studies (ICBR, 2024; Stahl et al., 2022) geven aan dat door klimaatverandering extreme waterstanden op de Rijn kunnen toenemen. Bij extreme waterstanden kan er minder geladen worden of helemaal niet gevaren worden. Effecten van toenemende extreme waterstanden kunnen momenteel niet in het model worden meegenomen.
- **Verbeteringen scheepsdesign:** Partijen (Interviews 2, 6) hebben aangegeven dat schepen zich blijven ontwikkelen op hydrodynamisch gebied. Het gaat onder andere om oplossingen om de belading te optimaliseren bij lage waterstanden. Verbeteren in het energieverbruik zijn momenteel geen onderdeel van POTAMIS+.
- **Meer meetgegevens:** Digitalisatie in de binnenvaart neemt toe en momenteel wordt er geëxperimenteerd met autopilots die helpen veiliger en efficiënter te navigeren. Naar verwachtingen kan dat leiden tot brandstofbesparingen (Panteia, 2021; Rijkswaterstaat, 2025).
- **Buitenlands beleid:** Het model maakt geen specifiek onderscheid tussen Nederlandse en buitenlandse schepen. De ingroei van nieuwe motoren gebeurt autonoom of door subsidies. Hierbij lijkt voornamelijk geleund te worden op Nederlandse subsidieprogramma's. Ook omliggende landen kunnen subsidieprogramma's hebben om emissies van schepen te verbeteren. Aangezien buitenlandse schepen ook op Nederlands grondgebied varen zullen buitenlandse subsidieprogramma's ook effect hebben voor emissies in Nederland. Deze voordelen zijn lastig mee te nemen.

4 Conclusies en aanbevelingen

In Paragraaf 4.1 bespreken we de conclusies en in Paragraaf 4.2 de aanbevelingen. Daar waar de bevindingen leiden tot een aanbeveling hebben we dit in de conclusie aangegeven met een verwijzing (bijvoorbeeld A1, B2) waarbij het nummer verwijst naar het nummer van de aanbeveling en A en B naar twee categorieën aanbevelingen:

- **A:** Aanbevelingen gericht op het nauwkeurig inschatten van emissies en;
- **B:** Aanbevelingen gericht op het doorrekenen van beleid en ontwikkelingen in POTAMIS+.

4.1 Conclusies

Compleetheid en geschiktheid

Het hoofddoel van de ERL is het in kaart brengen van emissietrends op Nederlands grondgebied voor vijf luchtverontreinigende stoffen, namelijk stikstofoxiden (NO_x), ammoniak (NH₃), fijnstof (PM_{2,5}), zwaveldioxide (SO₂) en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS). Deze trends worden ingegeven door onder andere beleid en technologische ontwikkelingen. De scope van POTAMIS+ sluit daar goed bij aan.

In POTAMIS+, die de ER-methodiek volgt, worden de belangrijkste bronnen van emissies naar de lucht op binnenvaartschepen meegenomen.⁷ Emissies van boilers en kachels aan boord van tankschepen ontbreken echter. Op tankschepen, die zware olie of bijvoorbeeld bitumen vervoeren, hebben deze bronnen naar verwachting een behoorlijk aandeel in de emissies en zijn daarmee mogelijk ook relevant voor het totaal (A1).

⁷ Ontgassingsemissies worden niet in POTAMIS+ maar wel elders in de emissieregistratie meegenomen.

Als we kijken naar de mogelijkheden om beleid en ontwikkelingen goed door te rekenen dan valt op dat de belangrijkste component, motorvervanging, centraal staat in het model. Er zijn echter een paar ontwikkelingen die ook van belang zijn voor trends in het energiegebruik en de emissies van de binnenvaart in Nederland die niet (goed) kunnen worden meegenomen in de huidige versie van POTAMIS+:

- effect op luchtvervuilende emissies door het gebruik van HVO en FAME bij CCRII of oudere motoren (A3);
- de effecten van *right sizing* en de inzet van meerdere kleine motoren (B1);
- de effecten van beleid (onder andere walstroom) op de emissies van hulpmotoren (A5);
- verbeteringen in design van de schepen en daarmee lager energiegebruik (B1);
- aanpassingen in vaargedrag, zoals langzamer varen (B1);
- effecten van laag water of aanpassingen in vaarwegen (B1);
- trends in schaalvergroting en inzet andere type schepen vanwege ontwikkelingen in de goederenmarkt (B4);
- specifieke ontwikkelingen in de passagiersvaart (A4).

Kwaliteit van de aannames en gebruikte databronnen in POTAMIS+

Modeleren op scheepsniveau biedt mogelijkheden.

POTAMIS+ modelleert op scheepsniveau in plaats van aggregaties voor verschillende categorieën. Dit biedt voordelen doordat er goed rekening kan worden gehouden met verschillen tussen individuele schepen binnen de verschillende categorieën. Hierdoor kan beter rekening worden gehouden met verschillen in bouwjaar, brandstof- en motorconfiguratie en specifieke afmetingen. Dit zorgt ervoor dat de modelering beter aansluit bij de heterogeniteit die er in de praktijk is. Daarnaast zorgt het individueel modeleren voor meer transparantie in de modelering doordat schepen over de tijd gevolgd kunnen worden. Uiteindelijk kunnen aannames ook op een hoog detailniveau worden gemaakt waardoor het model veel mogelijkheden biedt.

Nauwkeurig inschatten emissies vraagt om verbeteringen in ER basisjaar.

POTAMIS+ gebruikt ingeschatte emissies in het basisjaar vanuit emissieregistratie. Voor het basisjaar worden simplificaties gedaan die leiden tot minder nauwkeurige inschattingen van emissies. Zo worden actuele belading, waterstanden en stroomsnelheden niet meegenomen in de inschattingen. Wel worden actuele transportbewegingen en vaarsnelheden meegenomen. De gebruikte parameters zijn nu niet consistent doordat deze parameters onderling afhankelijk zijn (A8). Om nauwkeurig emissies in te schatten dient er meer gemeten data gebruikt te worden. Hierdoor is het ook mogelijk om een goede validatie van het energiemodel (Bolt-model) met praktijkdata uit te voeren (A9). Dit model is tot dusver maar beperkt gevalideerd.

Schepen en technieken in POTAMIS+.

Een van de belangrijkste onderdelen van het maken emissieramingen is het modelleren van de ingroei van verschillende emissiereducerende technieken. Hier is POTAMIS+ goed geschikt voor. De meeste relevante technieken zijn opgenomen in het model, de ingroei kan autonoom of handmatig gemodelleerd worden en de rekenmethodiek is correct.

Bij de inputwaarden en modelparameter, zijn nog een aantal kanttekeningen te plaatsen:

- De vervangingskans van motoren staat terecht centraal in POTAMIS+. De gehanteerde vervangingskans is echter gedateerd en kon door beperkte data ook matig onderbouwd worden. Vanuit IVR, en eventueel aanvullende bronnen, is er naar verwachting een verbeterde databasis en kan de vervangingskans beter ingeschat worden (A6).
- De onderbouwing van emissiefactoren voor motoren en nieuwe technieken en brandstoffen is beperkt en daarmee onzeker. Het is onduidelijk of de aannames voor Stage V-motoren, die sinds 2020 gebruikt worden, gebaseerd zijn op praktijkmetingen. Ook voor nieuwe technieken zoals varen op methanol of waterstof is de basis van de aannames onduidelijk (A2).
- Ook liggen er mogelijkheden om aannames en kansen te verfijnen naar type schip en/of vaarprofiel. Momenteel wordt ingeschat dat de overstapkans en de emissieverbetering per techniek niet verschilt tussen verschillende scheepstypen, terwijl er in de praktijk wel verschillen zijn (B2).

Toekomstontwikkelingen

Beleidsmatige emissieramingen vragen om modules om overstapgedrag in te schatten. In de interviews is aangegeven dat de markt hoofdzakelijk prijs gedreven is en dat nieuwe technologieën vooral in de markt komen door subsidies, regelgeving en verschillen in (brandstof)kosten. Ook de situatie op de arbeidsmarkt kan een belangrijke rol spelen. Om het model geschikter te maken voor beleidsmatige emissieramingen is het aan te bevelen om kostenelementen aan het model toe te voegen (B4). Op die manier kan overstapgedrag naar nieuwe technieken gemodelleerd worden binnen Potamis+. Op dit moment wordt alleen autonome overstap naar Stage V-motoren als gevolg van een versleten motor binnen het model bepaald. Echter, beleid als ETS, ETD en de brandstoftransitieverplichting zullen ervoor zorgen dat prijsverschillen tussen technieken dalen, waardoor er ook andere redenen zullen ontstaan om over te stappen naar andere technieken.

4.2 Aanbevelingen

Vanuit de review komen verschillende aanbevelingen naar voren. Een algemene aanbeveling betreft het **updaten en uitbreiden van de rapportages van de ER (EMS-protocol) en POTAMIS+**. De laatste versie van het EMS-protocol dateert uit 2018. Uit de interviews kwam naar voren dat een aantal methoden (onder andere emissies hulpmotoren) en emissiefactoren in de berekening van de ER (en POTAMIS+) zijn geüpdatet, maar nog niet zijn opgenomen in een vernieuwde rapportage. Om de berekeningen en toegepaste emissiefactoren te kunnen beoordelen is het van belang dat de rapportages up-to-date zijn. Het is daarbij ook van belang om te documenteren hoe de emissiefactoren tot stand zijn gekomen en welke bronnen zijn gebruikt.

We bevelen ook aan de documentatie over POTAMIS+ uit te breiden met een uitgebreidere beschrijving over de gebruikte input waarden. De documentatie richt zich momenteel vooral op de technische functionaliteiten van het model. Inputdata over onder andere emissiefactoren van verschillende technieken en kansen voor verschillende technieken van nieuwe motoren zijn nu niet transparant en herleidbaar.

De overige aanbevelingen zijn opgesplitst in aanbevelingen gericht op het nauwkeurig inschatten van emissies, en aanbevelingen gericht op het doorrekenen van beleid en ontwikkelingen in POTAMIS+. Voor beide categorieën hebben we een prioritering aangebracht en hebben de eerstgenoemde aanbevelingen naar ons inzicht een hogere prioriteit.

Aanbevelingen gericht op het nauwkeurig inschatten van emissies

- A1. **Onderzoek de invloed is van kachels en boilers op de huidige en toekomstige emissies van tankschepen (ER en POTAMIS+).** Op dit onderwerp ontbreken bestaande onderzoeken. Er zijn echter aanwijzingen dat het energieverbruik en de emissies een behoorlijk aandeel hebben in het totaal. Het brandstofverbruik van kachels en boilers kan achterhaald worden bij scheepseigenaren en externe partijen die het brandstofverbruik monitoren. Emissiefactoren hangen af van de afstelling (emissiestandaarden) en praktijkomstandigheden. Om deze emissies te bepalen zijn eventueel metingen nodig. Het onderzoek kan laten zien of het belangrijk is kachels en boilers mee te nemen in de methodieken van ER en POTAMIS+.
- A2. **Onderbouwing emissiefactoren (ER en POTAMIS+):** We bevelen aan om het EMS-protocol te actualiseren met emissiefactoren van verschillende motoren en technieken, onderbouwd door praktijkmetingen. Dit is met name belangrijk voor Stage V-motoren, waarvoor significant strengere emissiestandaarden gelden, en die voor een belangrijk deel verantwoordelijk zijn voor de toekomstige emissiereducties.

Hierbij is ook een goede onderbouwing nodig van de aannames over de mate van tampering (het omzeilen van het gebruik van emissiereductietechnieken) van Stage V-motoren.

A3. Voeg emissiefactoren toe voor het gebruik van HVO100 en FAME in

oudere motoren. Voor het behalen van de RED-doelstellingen kan HVO100 een belangrijke rol gaan spelen. HVO100 in oudere motoren kunnen 20-30% PM_{2,5}-reductie en 0-20% NO_x-reductie opleveren. FAME wordt mogelijk ook ingezet en kan juist hogere emissies veroorzaken.

A4. Neem passagiersvaart apart mee in de modellering (POTAMIS+).

In de huidige ER is het aandeel van passagiersvaart substantieel (NO_x 10% en PM_{2,5} 17%.) Neem daarom specifieke inschattingen op voor trends in passagiersvolumes en specificeer de kansen voor technieken naar typen passagiersschepen, omdat logische verduurzamingsoplossingen per type schip verschillen.

A5. Onderzoek en documenteer de invloed van hulpmotoren op emissies (ER en POTAMIS+).

Hulpmotoren worden momenteel meegenomen via een ophogingsfactor, maar het is onduidelijk hoe de effecten van hulpmotoren in het basisjaar (ER) precies worden bepaald. Dit lijkt een blinde vlek te zijn, waarvoor meer praktijkonderzoek nodig is. Daarbij kan het nodig zijn om in POTAMIS+ expliciet rekening te houden met verschoening van hulpmotoren, omdat deze niet dezelfde trends hoeven te volgen als hoofdmotoren.

A6. Verbeter motordata uit het basisjaar en gegevens over de autonome vervangingssnelheid (ER en POTAMIS+).

De gebruikte data voor motoren en vervangingskansen zijn onvoldoende inzichtelijk, waardoor we geen uitspraken kunnen doen over de compleetheid en kwaliteit van de gegevens. Wel hebben we vanuit de interviews begrepen dat er verschillende bronnen zijn (zie punt A7) die continu worden geüpdatet en verbeterd, maar die nu niet worden gebruikt. De inschattingen voor het type motoren voor het basisjaar van ER kunnen dus worden verbeterd. Voor POTAMIS+ bevelen we aan om de vervangingskansen van motoren te actualiseren. Dit kan worden gedaan door de database van motoren voor verschillende jaren te analyseren. Naast de IVR-database zijn mogelijk andere bronnen nodig om een volledig beeld te krijgen van motorvervanging.

A7. Zoek meer samenwerking op met andere initiatieven (ER en POTAMIS+).

In samenwerking met IVR kunnen de mogelijkheden onderzocht worden om de motorendatabase verder te verrijken met gegevens van motorleveranciers, experts (Interview 5), ILT, klassebureaus en mogelijk de beheerders van websites zoals binnenvaart.nl en vlootschouw.nl.

Met de TU Delft kan samenwerking worden gezocht met betrekking tot het modelleren van het energiegebruik van de binnenvaart. Het open-source-model van de TU Delft levert inschattingen van energiegebruik en CO₂-emissies van de binnenvaart.

- A8. **Onderzoek de relatie en/of gebruik actuele data voor de waterstand, de stroomsnelheid, de belading van schepen, de vaarsnelheid en het energieverbruik wat hieruit volgt (ER).** We verwachten dat deze aspecten de inschattingen van emissies significant kunnen verbeteren, met name lokaal. Ook kunnen aannames voor POTAMIS+ waarschijnlijk aangescherpt worden, doordat er meer kennis beschikbaar komt over de effecten van belading en waterstanden. Wel is het ontsluiten van de data lastig en daarom vooral relevant voor de langere termijn.
- A9. **Valideer het energiemodel (ER).** Het energiemodel van de ER (Bolt) is nog beperkt gevalideerd met praktijkdata. Door de toename van real-time CO₂-emissiemetingen nemen de validatiemogelijkheden toe, zowel voor het Bolt-model als voor alternatieve modellen.

Aanbevelingen gericht op het doorrekenen van beleid en ontwikkelingen in POTAMIS+.

- B1. **Integreer het energiemodel en de gedifferentieerde emissiefactoren in het POTAMIS+-model.** Het energiemodel gebruikt inputs over vaarsnelheid, vaarwegafmetingen, belading en parameters die verband houden met de energie-efficiëntie van het schip-desgin. Door het model op te nemen in POTAMIS+ kunnen de veranderingen in de parameters makkelijker worden doorgerekend en kunnen bepaalde effecten beter worden ingeschat zoals:
- de effecten van nieuwe technieken op vaarprofielniveau;
 - de effecten van zuinigere scheepsmodellen en energiebesparing door autonoom varen;
 - right sizing en het toepassen van meerdere kleinere motoren;
 - de effecten van laag water en vaarwegaanpassingen.
- B2. **Differentieer aannames voor technieken naar type schip en inzet.** Met name voor (gedeeltelijke) elektrificatie verschilt het (realistische) potentieel per type schip. Door in gesprek te gaan met belanghebbenden en aanbieders van technieken kunnen overstapkansen en emissiefactoren per type schip en inzet realistischer worden ingeschat. Houd hierbij ook bestaande ((Panteia, 2019), (CLINSH, 2021) (Dahlke-Wallat & Friedhoff, 2020)) en toekomstige rapportages in de gaten.
- B3. **Modeleer overstapedrag door middel van een TCO-module.** Veranderende kosten door onder andere beleidsinstrumenten als ETS, de brandstoftransitie-verplichting en subsidies hebben invloed op de keuze van scheepseigenaren voor een nieuwe motortechniek. Om komende jaren de kansen goed in te schatten dient een aparte module ontwikkeld te worden, die rekening houdt met de kosten voor verschillende technieken en brandstoffen, beleidsaspecten en het overstapedrag van scheepseigenaren. Vanuit de literatuur zijn er verschillende aanknopingspunten voor de kosten (Dahlke-Wallat & Friedhoff, 2020) en het modeleren van overstapedrag (CE Delft, 2022) (DST et al., 2020) (Panteia, 2019).

B4. Voeg modules toe voor bredere ontwikkelingen in de binnenvaartvloot.

Dit betreft onder andere:

- De samenstelling van de vloot wordt als constant verondersteld en schepen die verdwijnen worden door een vergelijkbaar nieuw schip vervangen. Veranderingen in vervoersvraag hebben echter effecten op de vlootomvang en samenstelling. Hoewel BasGoed al gedeeltelijk rekening houdt met veranderingen in goederenstromen, wordt dit nog niet vertaald naar een andere vlootomvang of samenstelling. Dit zou nader onderzocht kunnen worden. Het model zou in- en uitstroom moeten loskoppelen en niet moeten uitgaan van één-op-één vervanging van schepen door een gelijk scheeptype.
- De trend van een afname van kleine schepen en een groei van grote scheepsklassen. Deze trend kan bepaald worden op basis van verschillende bestaande databronnen en onderzoeken, waaronder (CBS, z.d.; CCNR & EC, Ongoing; UPT, 2023).
- Vergrijzing en personeelstekorten. Deze trend kan met behulp van specifieke experts worden ingeschat.
- Toename in laagwaterdagen. Deze trend kan met behulp van specifieke experts worden ingeschat.

B5. Houd rekening met verschoning van schepen door beleid van omliggende landen. De beleidsafhankelijke ingroei van technieken richt zich in POTAMIS+ nu alleen op Nederlands beleid. Het zou goed zijn om verwachte ingroei vanuit omliggende landen mee te nemen. Dit kan op basis van de National Energy and Climate Plans (NEPCs) die bij de EU worden ingediend.

A Interviews met experts

Op te vragen bij PBL: info@pbl.nl

Literatuur

- ABN Amro. (2025). *Tussen de getijden houdt de binnenvaart koers*. ABN Amro.
<https://www.abnamro.nl/nl/zakelijk/insights/sectoren-en-trends/logistiek/tussen-de-getijden-houdt-de-binnenvaart-koers.html>
- Berger Maritiem. (2025). *GTL in de binnenvaart: schonere diesel zonder motoraanpassingen*.
<https://www.bergermaritiem.nl/gtl-binnenvaart>
- Bolt, E. (2003). *Schatting energiegebruik binnenvaartschepen*.
- Busch, D. (2021). Determination and modelling of NOx and particulate matter (PM) emissions from inland vessels at berth. Results from the EU Life Project „Clean Inland Shipping “(CLINSH). *Immissionsschutz*, 26(4).
- CBS. (z.d.). *Hoeveel binnenvaartschepen zijn er in Nederland?* Retrieved 1-11-2024 from
<https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/vervoermiddelen-en-infrastructuur/binnenvaartschepen>
- CCNR, & EC. (Ongoing). Market observation Inland Navigation in Europe. In: Central Commission for the Navigation of the Rhine (CCNR), European Commission,.
- CE Delft. (2021). *STREAM Goederenvervoer 2020 (versie 2)*. <https://ce.nl/publicaties/stream-goederenvervoer-2020/>
- CE Delft. (2022). *Socio-economic study CLINSH - Deliverable C1*.
- CE Delft, Dalian Maritime University, ClassNK, Purdue University, Krannert School of Management, Fudan University, ICCT, Manchester Metropolitan University, NMRI, UMAS, & Fipe. (2020). *Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020, IMO GHG Study 2020 - Full report and annexes*.
<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>
- CLINSH. (2021). *CLINSH Fleet scenarios Deliverabel D2.4*.
- CLINSH, City of Nijmegen, Province of South-Holland, CE Delft, HZG, LANUV, EICB, & Port of Antwerp. (2021). *Policy support document CLINSH - Sustainable waterway transport, clean air*. https://www.clinsh.eu/iu-assets/4/CLINSH_Final_Report_Policy_Support_Document.pdf
- Dahlke-Wallat, F., & Friedhoff, B. (2020). Study "Assessment of technologies in view of zero-emission IWT" : Part of the overarching study „Financing the energy transition towards a zero-emission European IWT sector“, presentation.
- Deltares. (2024a). *Beschikbare vaarwegafmetingen Waal bij lage afvoeren - Klimaatbestendige Netwerken (KBN) - Hoofdvaarwegennet (HVWN)2024*.
https://publications.deltares.nl/11209214_005_0002.pdf
- Deltares. (2024b). *Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst, en welke impact heeft dit op zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid?* https://publications.deltares.nl/11210275_004_0001.pdf
- DST, Ecorys, EICB, Panteia, ProDANUBE, & Rebel. (2020). *Study on Financing the energy transition towards a zero-emission European IWT sector*.
https://www.ccnr.eu/files/documents/EtudesTransEner/Final_overall_study_report.pdf
- Emissieregistratie. (2018). *EMS-protocol Emissies door Binnenvaart : Verbrandingsmotoren, versie 5*.
- Fraunhofer ISI, CE Delft, & Ramboll. (2020). *Methodology for GHG Efficiency of Transport Modes*. <https://cedelft.eu/wp->

- [content/uploads/sites/2/2021/05/CE_Delft_200258_Methodology_GHG_Efficiency_Transport_Modes.pdf](#)
- Hulskotte, J. (2018). *EMS-protocol Emissies door Binnenvaart : Verbrandingsmotoren*. https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/05%20Verkeer%20en%20vervoer/EMS%20prot_verbrandingsmotoren_binnenvaart_dec2018.pdf
- Hulskotte, J. (2021). *Gebruikershandleiding POTAMIS v1.4, Prognosis Of Transport Air emissions Model of Inland Shipping*. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/tno_rapport_r10401_potamis_handleiding.pdf
- Hulskotte, J. (2025). *Interview met Jan Hulskotte in het kader van de review van het POTAMIS+ model* [Interview].
- ICBR. (2024). *Afvoerscenario's klimaatverandering voor het Rijnstroomgebied - Actualisatie afvoerscenario's Rijnstroomgebied op basis van nieuwste inzichten in klimaatverandering*. <https://www.iksr.org/nl/publieksvoorlichting/documenten/archief/rapporten/rapporten-en-brochures-afzonderlijk/297-afvoerscenarios-klimaatverandering-voor-het-rijnstroomgebied>
- IVR. (2025). *IVR Jaarverslag*. IVR. <https://www.ivr-eu.com/wp-content/uploads/2025/05/IVR-Annual-Report-2024.comp.pdf>
- MARIN. (2020). *Inventariserend onderzoek naar vermindering stikstofemissie door snelheidsbeperking scheepvaart*. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-5b0eb389-cb24-4284-b5e7-4fdc0971e39c/1/pdf/Bijlage%20MARIN%20Inventariserend%20onderzoek%20naar%20vermindering%20stikstofemissie%20door%20snelheidsbeperking%20scheepvaart.pdf>
- Panteia. (2019). *Op weg naar een klimaatneutrale binnenvaart per 2050*. Panteia.
- Panteia, E. (2021). *Economische effecten smart shipping*. Panteia. <https://www.ecorys.com/app/uploads/2019/02/Rapport-Smart-Shipping.pdf>
- PBL. (2025). *Emissieramingen luchtverontreinigende stoffen 2025*. <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-emissieramingen-luchtverontreinigende-stoffen-2025-5494.pdf>
- Rijkswaterstaat. (2025). *Smart shipping: de toekomst van onze scheepvaart*. <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/wetten-regels-en-vergunningen/scheepvaart/scheepvaartverkeerswet/smart-shipping>
- Ruiter, J. M. d., Aschersleben, J. J. M., Ge, X., & Bolech, M. (2025). *Potamis+ 1.0 - A bottom-up Prognosis Of Transport Air emissions Model for Inland Shipping*.
- Stahl, K., Weiler, M., van Tiel, M., Kohn, I., Haensler, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K., & Moretti, G. (2022). *Impact of climate change on the rain, snow and glacier melt components of streamflow of the river Rhine and its tributaries*. https://www.researchgate.net/publication/367176037_Impact_of_climate_change_on_the_rain_snow_and_glacier_melt_components_of_streamflow_of_the_river_Rhine_and_its_tributaries
- TNO. (2023). *Meten op schepen*.
- TNO. (2025). *Effects of HVO on pollutants emissions of stage V non-road diesel engines*. <https://repository.tno.nl/SingleDoc?find=UID%203d396dbe-fb6c-4825-8827-c5ee2b1a931e>
- TNO, & PBL. (2024). *Klimaatneutrale binnenvaart in 2050*. <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-03/pbl-2024-klimaatneutrale-binnenvaart-in-2050-5220.pdf#:~:text=De%20Centrale%20Commissie%20voor%20de,in%202050%20klimaatneutraal%20te%20hebben>
- TU Delft. (lopend). *Open source Transport Network Simulation*. In. Delft: TU Delft.

UPT, P. (2023). *De effecten van het aflopen van de langlopende overgangsbepalingen in ES-TRIN (2035/2041)*. <https://www.eur.nl/upt/media/117899>
van Koningsveld, M., Verheij, H., Taneja, P., & de Vriend, H. (2023). *Ports and Waterways: Navigating the changing world*. <https://doi.org/10.5074/T.2021.004>