

Radarweg 60  
1043 NT Amsterdam

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

T +31 88 866 50 10

## **TNO-rapport**

**TNO 2022 P12044**

# **TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022**

|                 |                                                                                                                       |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Datum           | Februari 2023                                                                                                         |
| Auteurs         | Hans Mulder, Maarten Verbeek, Dennis Tol, Pim van Mensch,<br>Annette Rondaey, Ayla Uslu, Ruud Verbeek, Jorrit Harmsen |
| Editors         | Hein de Wilde, Arjan Eijk                                                                                             |
| Aantal pagina's | 127                                                                                                                   |
| Projectnaam     | Ondersteuning 2022 KEV Transport                                                                                      |
| Projectnummer   | 060.51291                                                                                                             |

### **Dit rapport wordt in 2 versies gepubliceerd:**

Versie 1 verschijnt op 1 november als achtergrondinformatie bij de Klimaat- en Energieverkenning 2022 (KEV 2022).

Versie 2, met aanvullingen, verschijnt eind februari 2023, als achtergrondinformatie bij de dan door PBL gepubliceerde Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen.

Alle rechten voorbehouden.

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

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

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

© 2022 TNO

# Inhoudsopgave

|          |                                                                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                                                              | <b>3</b>   |
| <b>2</b> | <b>Techno-economisch ingroeiopotentieel elektrische bestel- en vrachtvoertuigen .....</b>           | <b>5</b>   |
| 2.1      | Inleiding .....                                                                                     | 5          |
| 2.2      | Beleidscontext .....                                                                                | 7          |
| 2.3      | Ingroeiopotentieel op basis van het Analyse kader .....                                             | 8          |
| 2.4      | Techno-economische analyse op basis van TEHUP .....                                                 | 19         |
| 2.5      | Vergelijking van resultaten .....                                                                   | 37         |
| 2.6      | Belemmerende factoren en randvoorwaarden voor in de ingroei van uitstootvrij zwaar wegverkeer ..... | 44         |
| 2.7      | Referenties .....                                                                                   | 52         |
| <b>3</b> | <b>Non Road Mobile Machinery .....</b>                                                              | <b>54</b>  |
| 3.1      | Inleiding .....                                                                                     | 54         |
| 3.2      | Vastgesteld beleid .....                                                                            | 56         |
| 3.3      | Vastgesteld en voorgenomen beleid .....                                                             | 59         |
| 3.4      | Geagendeerd beleid .....                                                                            | 61         |
| 3.5      | Referenties .....                                                                                   | 66         |
| <b>4</b> | <b>Impact Renewable Energy Directive III .....</b>                                                  | <b>67</b>  |
| 4.1      | Introduction .....                                                                                  | 67         |
| 4.2      | Overview of REDII implementation in the Netherlands .....                                           | 68         |
| 4.3      | REDIII comparison with the Dutch Ordinance .....                                                    | 70         |
| 4.4      | Quantitative assessment of REDIII and comparison to KEV projections for 2030 ..                     | 76         |
| 4.5      | Conclusions and discussions .....                                                                   | 87         |
| 4.6      | Referenties .....                                                                                   | 89         |
| 4.7      | Annex I – Emission factors .....                                                                    | 90         |
| <b>5</b> | <b>Binnenvaart .....</b>                                                                            | <b>91</b>  |
| 5.1      | Inleiding .....                                                                                     | 91         |
| 5.2      | Introductie Stage V motoren .....                                                                   | 91         |
| 5.3      | Beleidsmaatregelen in de binnenvaart .....                                                          | 93         |
| 5.4      | Zoete waterbouw .....                                                                               | 98         |
| 5.5      | Voorgestelde verbeteringen aan modellering van scheepvaartemissies .....                            | 103        |
| 5.6      | Conclusies .....                                                                                    | 104        |
| 5.7      | Referenties .....                                                                                   | 105        |
| <b>6</b> | <b>Zeevaart .....</b>                                                                               | <b>107</b> |
| 6.1      | Inleiding .....                                                                                     | 107        |
| 6.2      | IMO Richtlijnen voor energie-efficiency en emissies van zeeschepen .....                            | 107        |
| 6.3      | Europese richtlijnen: Fuel EU-Maritime, MRV, ETS, ETD .....                                         | 108        |
| 6.4      | Schepen die LNG als brandstof gebruiken .....                                                       | 109        |
| 6.5      | Tier III emissies monitoring en handhaving .....                                                    | 114        |
| 6.6      | Samenstelling en emissies van de zoute waterbouww vloot .....                                       | 120        |
| 6.7      | Referenties .....                                                                                   | 126        |

# 1 Inleiding

In dit rapport, opgesteld voor het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), beschrijven en duiden we de recente ontwikkelingen in de sector mobiliteit voor vijf deelgebieden. Per deelgebied geven we een analyse die PBL gebruikt om de toekomstige uitstoot van CO<sub>2</sub>- en/of luchtverontreinigende stoffen te ramen.

Dit rapport wordt in twee versies gepubliceerd:

**Versie 1** (met publicatiedatum 1 november 2022) onderbouwt de te verwachten hoeveelheid CO<sub>2</sub>-uitstoot door mobiliteit en de te verwachten inzet van hernieuwbare energie tussen nu en 2030. Het gaat hierbij om een drietal hoofdstukken, met analyses over:

- de ingroei van zero-emissie bestel- en vrachtauto's
- de ontwikkelingen voor "Non Road Mobile Machinery"<sup>1</sup>
- de impact van de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie III op de sector mobiliteit.

Het PBL gebruikt deze analyses, inzichten en cijfers (mede) ter onderbouwing van het hoofdstuk Mobiliteit in de Klimaat- en Energieverkenning 2022 (KEV 2022)<sup>2</sup>.

**Versie 2** (met publicatiedatum eind februari 2023) onderbouwt ook de te verwachten uitstoot van luchtverontreinigende stoffen tussen nu en 2030. In februari 2023 worden daartoe twee extra hoofdstukken toegevoegd: "Binnenvaart" en "Zeevaart". Bovendien wordt dan het hoofdstuk "Non Road Mobile Machinery" uitgebreid met een sectie over luchtverontreinigende emissies.

Het PBL gebruikt deze aanvullende analyses, inzichten en cijfers (mede) ter onderbouwing van "Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen - Rapportage bij de Klimaat- en Energieverkenning 2022"<sup>3</sup>.

## Bredere context

De KEV 2022 geeft een projectie van het te verwachten energieverbruik en de emissies van broeikasgassen tot en met 2030 voor alle sectoren. Mobiliteit is een van deze sectoren. TNO speelt al jaren een structurele rol bij het tot stand komen van de jaarlijkse KEV voor alle sectoren. Wat betreft de analyses binnen de sector mobiliteit werken de TNO groepen Sustainable Transport and Logistics, Climate Air and Sustainability en Energie Transitie Studies al jaren samen met PBL. Dit betreft onder andere de jaarlijkse update van emissiefactoren voor zowel wegverkeer als niet-wegverkeer; en inzichten en prognoses over de samenstelling en prestaties van het voer-, vaar- en werktuigen-park.

---

<sup>1</sup> Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een breed spectrum aan machines; deels overeenkomend met de Nederlandse naam "mobiele werktuigen"

<sup>2</sup> [Klimaat- en Energieverkenning \(KEV\) | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](#)

<sup>3</sup> Deze tweejaarlijkse publicatie is een nevenpublicatie bij de KEV en geeft een beeld van de verwachte toekomstige ontwikkeling van de emissies voor luchtverontreinigende stoffen in relatie tot de EU-emissiedoelen.

## **Rollen TNO en PBL**

Bij het opstellen van het hoofdstuk Mobiliteit in de KEV zijn de rollen als volgt. TNO levert kennis en data op basis van analyses van trends en ontwikkelingen in technologie, markt en beleid (nationaal en Europees). PBL gebruikt deze TNO analyses (mede) voor het maken van de vertaalslag naar: (1) de uitstoot van CO<sub>2</sub> en de inzet van hernieuwbare energie; en (2) de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen.

## **Leeswijzer**

Dit rapport biedt verdiepende analyses voor de KEV-22 en richt zich vooral op de lezersdoelgroep “energiespecialist”. Het rapport is daarmee ook intrinsiek minder toegankelijk dan het KEV-2022 hoofdrapport.

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Het rapport begint met de inleiding in Hoofdstuk 1. Aansluitend geeft Hoofdstuk 2 een analyse van de ingroei van zero-emissie bestel- en vrachtauto's. Hoofdstuk 3 geeft een inschatting van de ontwikkelingen van de “Non Road Mobile Machinery”. Het (Engelstalige) Hoofdstuk 4 verschaft inzicht in de impact van de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie III op de energievoorziening van mobiliteit.

Tenslotte geven de in december toe te voegen hoofdstukken 5 en 6 een analyse van de belangrijkste trends en ontwikkelingen in resp. de Binnenvaart en de Zeevaart. In december wordt Hoofdstuk 2 “Non Road Mobile Machinery” ook uitgebreid met een sectie over luchtverontreinigende emissies.

## **Geen samenvatting**

De verschillende hoofdstukken zijn gericht op het beantwoorden van door PBL gestelde kennisvragen die niet (noodzakelijkerwijs) met elkaar samenhangen. Vanwege de diversiteit aan onderwerpen en het zelfstandige karakter van alle hoofdstukken (die op zichzelf staand gelezen kunnen worden) biedt dit rapport geen samenvatting. Het doel van ieder hoofdstuk lichten we steeds aan het begin van elk hoofdstuk toe.

## **Verantwoording**

Deze rapportage is opgesteld voor het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Hierbij hebben TNO en PBL samen bepaald welke analyses uitgevoerd moesten worden en met welke mate van diepgang. Deze inhoudelijke prioritering vormt de basis voor het rapport. Het was binnen beschikbare tijd en budget niet altijd mogelijk om alle gewenste onderwerpen (volledig) te behandelen. Hierbij hebben we soms ook benoemd welke deelonderwerpen nu nog niet voldoende zijn onderzocht en daarom relevant zijn voor nader onderzoek in de KEV-2023 of latere versies. Aan dit rapport hebben diverse TNO medewerkers bijgedragen. De inhoudelijke verantwoordelijkheid voor dit rapport ligt volledig bij TNO.

## 2 Techno-economisch ingroeipotentieel elektrische bestel- en vrachtvoertuigen

*Auteur: Hans Mulder, Maarten Verbeek en Dennis Tol*

### 2.1 Inleiding

Vanwege snelle ontwikkelingen in technologie en beleid zijn inzichten in de ingroeipotentie voor elektrische bestel- en vrachtvoertuigen al snel weer achterhaald. Daarom is het van belang om de ontwikkelingen te monitoren en mee te nemen in nieuwe projecties. TNO is door het PBL gevraagd om een analyse te maken van het ingroeipotentieel voor elektrische bestel- en vrachtvoertuigen. In samenspraak met het PBL is bepaald dat TNO een analyse maakt van de techno-economische ingroeipotentie voor elektrische bestel- en vrachtvoertuigen en dat het PBL de vertaling van deze potentie naar verwachte verkopen voor haar rekening neemt.

In deze studie is het techno-economisch ingroeipotentieel bepaald op basis van de factoren betaalbaarheid en toepasbaarheid. Met andere woorden, er is alleen ingroeipotentieel indien bij een bepaalde voertuiginzet een zero-emissie aandrijftechnologie goedkoper is in gebruik dan het diesequivalent én de actieradius voldoende is (eventueel met beperkt bijladen overdag).

Het techno-economisch ingroeipotentieel is daarmee niet hetzelfde als vlootontwikkeling. De vlootontwikkeling wordt beïnvloed door veel meer factoren dan alleen betaalbaarheid en toepasbaarheid. Enkele voorbeelden hiervan zijn belemmeringen als de beschikbaarheid van voertuigen en laadinfrastructuur. Daarnaast kan ook gedacht worden aan aanvullend beleid dat de vlootontwikkeling juist kan versnellen zoals ZE-zones. Omdat in deze studie niet de vlootontwikkeling bepaald wordt zijn deze factoren niet meegenomen.

De in dit hoofdstuk genoemde dan wel getoonde ingroeipotentieën refereren dan ook uitsluitend aan deze techno-economische ingroeipotentie. Daarnaast is een paragraaf opgenomen waarin een aantal factoren toegelicht worden die maken dat de werkelijke groei van ZE-voertuigen zal verschillen van de techno-economische ingroeipotentie.

**Techno-economisch ingroeipotentieel vs. werkelijke ingroei**

Het is van belang op te merken dat in deze studie als werkhypothese is genomen dat de keuze voor het aanschaffen van een zero emissie of conventioneel diesel vrachtvoertuig puur gedreven wordt door kosten en inzetbaarheid. De daadwerkelijke ingroei zal naar verwachting lager zijn dan het geraamde techno-economische ingroeipotentieel omdat de daadwerkelijke ingroei afhankelijk is van veel meer factoren die de ingroei mogelijk vertragen. Deze limiterende factoren zoals de beschikbaarheid van voertuigen, infrastructuur, financiering en acceptatie bij eindgebruikers zijn niet meegenomen in de analyse, maar worden kwalitatief beschreven in sectie 2.6.

Het techno-economische ingroeipotentieel wordt daarmee gedefinieerd als het aandeel van de nieuwverkopen waarvoor geldt dat zero emissie alternatieven goedkoper zijn in gebruik en waarvan de actieradius voldoende is om diesellootvoertuigen te vervangen.

Projecties van voertuigkosten (waaronder batterijprijzen) en de kosten voor de realisatie van laadinfra zijn zeer onzeker, met name in de eerste fase van de marktintroductie van nieuwe technologieën (periode nu tot 2025/2030). Gegeven dat volwaardige elektrische vrachtwagens relatief recent in de markt zijn geïntroduceerd, is de onzekerheid rondom de hier gepresenteerde resultaten dan ook zeer groot.

**2.1.1 Leeswijzer**

Dit hoofdstuk bestaat uit vijf onderdelen, eerst wordt kort het beleid toegelicht zoals dat wordt verondersteld in de KEV 2022 (paragraaf 2.2). Vervolgens zijn er twee onderdelen waarbij het techno-economische potentieel op basis van het gevoerde beleid is bepaald op basis van twee verschillende rekenmodellen. In het eerste van deze twee delen is gebruik gemaakt van het model "Analysekader" voor de ingroei van bestel en vrachtverkeer (paragraaf 2.3). Dit Analysekader is ontwikkeld ten behoeve van de KEV 2021. Het ingroeipotentieel is ook bepaald op basis van het nieuwere "TEHUP" model. Deze analyse is opgenomen in paragraaf 2.4. In 2022 heeft TNO nieuwe kennis en inzichten opgedaan op basis waarvan deze meer geavanceerde aanpak is ontwikkeld, die uitgewerkt is in het TEHUP model. Het TEHUP (Techno-Economic Heavy-Duty Uptake ) model is een Total Cost of Ownership (TCO) model waarmee de techno-economische potentie van zero-emissie vrachtvoertuigen ingeschat kan worden. Doordat het TEHUP model pas later dit jaar afgerond was, is in dit project in eerste instantie gebruik gemaakt van de het Analysekader zoals opgesteld in 2021. In een later stadium is de analyse op basis van het TEHUP model toegevoegd als gevoeligheidsanalyse.

In het vierde onderdeel worden de resultaten uit de twee gebruikte modellen vergeleken (paragraaf 2.5). In het laatste onderdeel zijn verschillende factoren beschreven die randvoorwaardelijk dan wel belemmerend zijn voor de realisatie van het techno-economische ingroeipotentieel (paragraaf 2.6). Op dit moment zijn deze factoren alleen kwalitatief in kaart gebracht en zijn er nog geen kwantitatieve effecten aan deze factoren toegekend.

## 2.2 Beleidscontext

De analyses voor de KEV zijn gebaseerd op twee beleidsscenario's, het vastgestelde beleid (V) en het vastgestelde en voorgenomen beleid (VV). Het beleid dat in deze scenario is verondersteld is beschreven in (PBL, 2022).

### 2.2.1 Vastgesteld beleid

In het vastgesteld beleidsscenario wordt het beleid vastgesteld op 1 mei 2022 meegenomen. Van de op dat moment geldende beleidsmaatregelen worden er hier een tweetal beleidsmaatregelen toegelicht, namelijk de aanschafsubsidies SEBA<sup>4</sup> voor bestelauto's en AanZET<sup>5</sup> voor vrachtwagens.

Onder de subsidieregeling SEBA wordt er een subsidie verstrekt voor elektrische bedrijfsauto's. Per elektrische bestelauto wordt 10% van de catalogusprijs exclusief BTW gesubsidieerd tot een maximum van € 5.000. De subsidie geldt van 2021 tot 2025. Het totale budget onder SEBA is €166 mln. de jaarlijkse subsidiebudgetten staan in Tabel 1.

Tabel 1: Jaarlijkse subsidiebudgetten SEBA

|                                       | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | Totaal |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|--------|
| Jaarlijks subsidie budget [mln. euro] | 15   | 22   | 43   | 43   | 43   | 166    |

De AanZET aanschafsubsidie is bedoeld voor vrachtwagens, de subsidiehoogte is afhankelijk van het type onderneming. Per type onderneming (groot, middel, klein + non-profit) wordt per type vrachtwagen het subsidiebedrag bepaald op basis van een percentage van de verkoopprijs, deze wordt afgetopt op een bepaald maximum. Er is een aanname gedaan voor de verdeling van aanvragen naar type onderneming (resp. 70, 20 en 10%), met behulp hiervan is een gemiddeld percentage en een gemiddeld maximaal subsidiebedrag bepaald, zie Tabel 2. In Tabel 3 zijn de jaarlijkse subsidiebudgetten opgenomen.

Tabel 2: Vormgeving AanZET subsidie

|                    | Gewogen subsidie percentage | Tot maximale subsidie van [€] |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Vrachtwagen licht  | 15%                         | 21.000                        |
| Vrachtwagen middel | 18%                         | 52.000                        |
| Vrachtwagen zwaar  | 20%                         | 67.000                        |
| Trekker - oplegger | 23%                         | 85.000                        |

Tabel 3: Jaarlijkse subsidiebudgetten AanZET<sup>6</sup>

|                                       | 2022 | 2023  | 2024  | Totaal |
|---------------------------------------|------|-------|-------|--------|
| Jaarlijks subsidie budget [mln. euro] | 13,5 | 14,75 | 14,75 | 43     |

<sup>4</sup> [Subsidieregeling Emissieloze Bedrijfsauto's \(SEBA\) \(rvo.nl\)](https://www.rvo.nl/nieuws/2021/04/subsidieregeling-emissieloze-bedrijfsauto's-seba)

<sup>5</sup> [Aanschafsubsidie Zero-Emissie Trucks \(AanZET\) \(rvo.nl\)](https://www.rvo.nl/nieuws/2021/04/aanschafsubsidie-zero-emissie-trucks-aanzet)

<sup>6</sup> Het AanZET budget voor 2022 is in de zomer opgehoogd naar 25 miljoen, deze verhoging wordt gefinancierd door het budget uit 2024 naar voren te halen waardoor er in tegenstelling tot eerdere aankondigingen in 2024 geen middelen meer beschikbaar zijn. Dit is niet meegenomen in de berekeningen.

Er is in dit project geen update gemaakt van de te verwachte effecten van de aangekondigde ZE zones in 27 steden in Nederland<sup>7</sup>.

In het scenario vastgestelde beleid wordt uitgegaan van de Europese CO<sub>2</sub>-normstelling voor nieuwe bestelauto's met CO<sub>2</sub>-reductiedoelen van -15% in 2025 en -31% in 2030 ten opzichte van gemiddelde CO<sub>2</sub>-waarde voor bestelauto's in 2021. Voor nieuwe zware vrachtvoertuigen is dit resp. -15% en -30%.

### 2.2.2 Vastgesteld & voorgenomen beleid

In het beleidsscenario vastgesteld en voorgenomen beleid wordt ten opzichte van het vastgestelde beleid ook een aantal andere beleidsmaatregelen meegenomen. Zo worden de jaarlijkse vaste lasten (belasting zware motorrijtuigen en motorrijtuigenbelasting) vervangen door een vrachtwagenheffing. Naar verwachting wordt de vrachtwagenheffing in de loop van 2026 ingevoerd. Er is hierbij geen onderscheid verondersteld in tarief tussen dieseltrucks en elektrische trucks omdat ten tijde van de KEV 2022 nog niet bekend was hoe de tariefstelling eruit zou komen te zien.

De opbrengsten van de vrachtwagenheffing zullen worden ingezet om de logistieke sector te verduurzamen. De vormgeving van deze zogeheten terugsluis was ten tijde van de KEV 2022 ook nog niet bekend. Op basis van eerder onderzoek (TNO, 2019) is in de KEV 2022 verondersteld dat een deel van deze opbrengsten wordt ingezet voor een aanschafsubsidie, waarbij de hoogte van het subsidiebedrag per truck 40% is van de meerkosten van een elektrische truck ten opzichte van een dieselvariant. De jaarlijkse subsidiebudgetten zijn opgenomen in Tabel 4. In 2026 is het jaarlijkse subsidiebudget gehalveerd in verband met de verwachte invoering van de vrachtwagenheffing in de loop van 2026.

Tabel 4: Jaarlijkse subsidiebudgetten terugsluis

|                                          | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Jaarlijks subsidie budget<br>[mln. euro] | 50   | 100  | 100  | 100  | 100  |

Voor bestelauto's wordt in het vastgesteld en voorgenomen beleid ook de aanscherping van de CO<sub>2</sub>-normstelling meegenomen. In het kader van de Europese Green Deal is het reductiedoel voor nieuwverkopen in 2030 verhoogd van 31% naar 50% ten opzichte van 2021 en is er een reductiedoel van 100% geïntroduceerd voor 2035. Voor zware vrachtvoertuigen is er nog geen aanscherping van de reductiedoelen bepaald.

## 2.3 Ingroeipotentieel op basis van het Analyse kader

In het kader van de KEV 2021 heeft TNO vorig jaar, op verzoek van het PBL, een aanzet tot een Analyse kader opgesteld waarmee inschattingen voor de ingroei van elektrische bedrijfsvoertuigen (bestel- en vrachtvoertuigen) kunnen worden gemaakt (TNO, 2021). De inschattingen met het Analyse kader zijn gebaseerd op drie randvoorwaarden, beschikbaarheid, betaalbaarheid en toepasbaarheid. Met de randvoorwaarde beschikbaarheid wordt de beschikbaarheid van elektrische vrachtvoertuigen bedoeld, de verwachting is dat richting 2030 steeds meer

<sup>7</sup> [Gemeenten: Op weg naar ZES](#)



modellen op de markt komen en dat daarmee de beschikbaarheid toeneemt. De voorwaarde ten aanzien van de betaalbaarheid is dat de total cost of ownership<sup>8</sup> (TCO) van batterij elektrische vrachtvoertuigen gelijk of lager is dan die van een equivalente dieselvrachtwagen. Voor de toepasbaarheid wordt bepaald voor welk deel van de Nederlandse vloot de batterij-elektrische vrachtvoertuigen (eventueel met extra bijladen) voldoende actieradius hebben. Als een batterij elektrisch vrachtvoertuig zowel betaalbaar, toepasbaar als beschikbaar is ontstaat er een techno-economisch potentieel. Indien één van deze randvoorwaarden ontbreekt is er geen potentieel. Voor een meer gedetailleerde omschrijving van het Analyse kader wordt verwezen naar de studie van vorig jaar (TNO, 2021).

Dit jaar heeft het PBL aan TNO gevraagd om hernieuwde inzichten te leveren waarmee de ingroei van elektrische bedrijfsvoertuigen voor de KEV 2022 bepaald kunnen worden. Doordat TNO in een ander traject al gestart was met de ontwikkeling van het nieuwe TEHUP model is besloten om het Analyse kader niet verder te ontwikkelen voor de KEV 2022. Daarom is in dit project het Analyse kader zoals ontwikkeld in 2021 gebruikt. De voertuigdimensionering is ten opzichte van vorig jaar constant gehouden, er is alleen gebruik gemaakt van gedatete batterijprijzen voor bestelauto's. Voor vrachtwagens is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met lagere batterijprijzen.

### 2.3.1 *Beschikbaarheid van elektrische voertuigen*

In de analyse ten behoeve van de KEV 2021 is vastgesteld dat het niet mogelijk was om conclusies te trekken ten aanzien van de vraag of beschikbaarheid van elektrische voertuigen een limiterende factor zal zijn voor de ingroei van batterij-elektrische voertuigen (TNO, 2021). In lijn met de voorgaande analyse is de voertuigbeschikbaarheid geen onderdeel van de kwantitatieve analyse.

### 2.3.2 *Voertuigspecificaties*

De analyse met het Analyse kader zijn uitgevoerd voor een gemiddelde bestelauto en voor vier vrachtwagensegmenten die grofweg overeenkomen met de vier voertuigsegmenten die in TREVA<sup>9</sup> gemodelleerd zijn. Dit zijn lichte, middelzware en zware vrachtwagens en trekker opleggers.

In Tabel 5 is de batterijgrootte gepresenteerd. Er is gekozen om het gewicht van de batterij constant te houden. Op basis van een verwachte toename van de energiedichtheid van batterijpakketten neemt de batterijcapaciteit toe. Door zowel de toename aan accucapaciteit en door een afname van het energiegebruik per kilometer, neemt de actieradius richting 2040 toe. De referentie actieradius voor 2020 en 2040 is weergegeven in Tabel 6.

---

<sup>8</sup> In deze context wordt met total cost of ownership de kosten bedoeld die gemaakt worden voor het aanschaffen van een vrachtwagen en de operationele kosten voor het gebruik ervan. Daarbij wordt ook gecorrigeerd voor de restwaarde van de vrachtwagen.

<sup>9</sup> Trend extrapolatiemodel voor vrachtautoparken: [Trendextrapolatiemodel voor vrachtautoparken | PBL Planbureau voor de Leefomgeving](#)

Tabel 5: Batterij capaciteit [kWh]

| Voertuig type           | 2020 | 2040 |
|-------------------------|------|------|
| Bestelauto              | 40   | 53   |
| Lichte vrachtwagen      | 100  | 133  |
| Middelzware vrachtwagen | 280  | 373  |
| Zware vrachtwagen       | 350  | 467  |
| Trekker-oplegger        | 400  | 533  |

Tabel 6: Actieradius van batterij elektrische voertuigen [km]

| Voertuig type           | 2020 | 2040 |
|-------------------------|------|------|
| Bestelauto              | 100  | 147  |
| Lichte vrachtwagen      | 105  | 155  |
| Middelzware vrachtwagen | 140  | 207  |
| Zware vrachtwagen       | 144  | 213  |
| Trekker-oplegger        | 165  | 243  |

### 2.3.3 *Energiekosten*

Voor de analyses wordt gebruik gemaakt van energiekosten die aangeleverd zijn door het PBL. Hierbij is er voor de elektrisch aandrijflijn onderscheid gemaakt tussen de kosten voor het laden van bestelauto's en zwaar vrachtvervoer. Voor bestelauto's is gebruik gemaakt van de input van het PBL, zie Tabel 7. Voor zwaar vrachtverkeer wordt verwacht dat voornamelijk wordt geladen op eigen terrein. Om die reden is hiervoor het langjarig gemiddelde van de groothandelsprijs genomen met een opslag voor de installatie van laadinfrastructuur, dit leidt tot een elektriciteitsprijs van €0,10 per kWh. Als gevolg van deze aanpak is er voor vrachtwagens geen onderscheid tussen Vastgesteld (V) en Vastgesteld en Voorgenomen beleidsscenario (VV). Voor is dit wel het geval. Voor dieselveertuigen wordt uitgegaan van de aangeleverde dieselprijzen van het PBL. Alle prijzen zijn exclusief BTW in prijspeil 2021.

Tabel 7: Energiekosten PBL

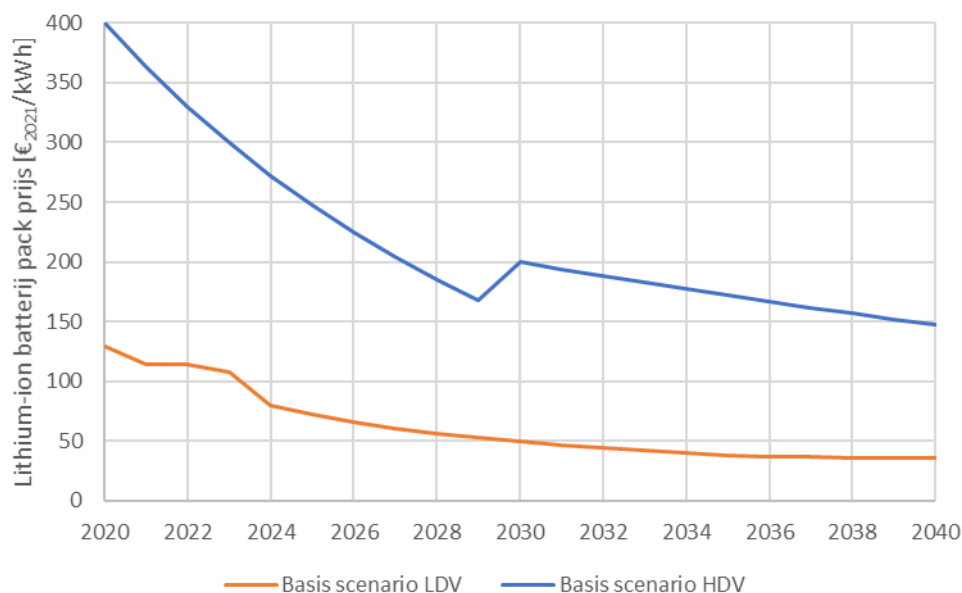
| Netherlands | Diesel (v + vv)<br>[€/L] | Elektriciteit bestel V<br>[€/kWh] | Elektriciteit bestel<br>VV [€/kWh] |
|-------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 2020        | 1,27                     | 0,25                              | 0,25                               |
| 2021        | 1,46                     | 0,28                              | 0,28                               |
| 2022        | 1,62                     | 0,34                              | 0,33                               |
| 2023        | 1,74                     | 0,30                              | 0,29                               |
| 2024        | 1,74                     | 0,28                              | 0,26                               |
| 2025        | 1,75                     | 0,27                              | 0,25                               |
| 2026        | 1,75                     | 0,27                              | 0,24                               |
| 2027        | 1,76                     | 0,26                              | 0,23                               |
| 2028        | 1,76                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2029        | 1,77                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2030        | 1,78                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2031        | 1,78                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2032        | 1,78                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2033        | 1,78                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2034        | 1,78                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2035        | 1,78                     | 0,25                              | 0,22                               |

| Netherlands | Diesel (v + vv)<br>[€/L] | Elektriciteit bestel V<br>[€/kWh] | Elektriciteit bestel<br>VV [€/kWh] |
|-------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 2036        | 1,79                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2037        | 1,80                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2038        | 1,81                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2039        | 1,82                     | 0,25                              | 0,22                               |
| 2040        | 1,83                     | 0,25                              | 0,22                               |

#### 2.3.4 Batterijprijzen

In het Analyse kader is gebruik gemaakt van een update gemaakt van de batterijprijzen voor bestelauto's op basis van de Bloomberg NEF projecties (BNEF, 2021). Voor Light Duty Vehicles (LDV's) bestaan er relatief veel projecties in de literatuur. Veel van deze ramingen maken gebruik van extrapolaties van waargenomen prijsontwikkelingen. De projectie van Bloomberg onderscheidt zich van dergelijke ramingen door rekening te houden met toekomstige ontwikkelingen van batterijtechnologie, bijvoorbeeld het integreren van de batterij in het chassis, waardoor extra kostenreducties mogelijk zijn.

Voor zware vrachtvoertuigen zijn er nagenoeg geen projecties voor batterijprijs beschikbaar. Daarom is voor zware vrachtvoertuigen geen nieuwe projectie gemaakt, maar is de projectie van vorig jaar overgenomen. De stijging van de batterijprijs in 2030 wordt veroorzaakt door de verwachte introductie van solid state batterijen. In (TNO, 2022a) is wel een nieuwe inschatting gemaakt voor de batterijprijsontwikkeling van zware vrachtvoertuigen. Deze projectie is opgenomen als gevoeligheidsanalyse zoals beschreven in paragraaf 2.5.6. De batterijprijsontwikkelingen zijn gevisualiseerd in Figuur 1.

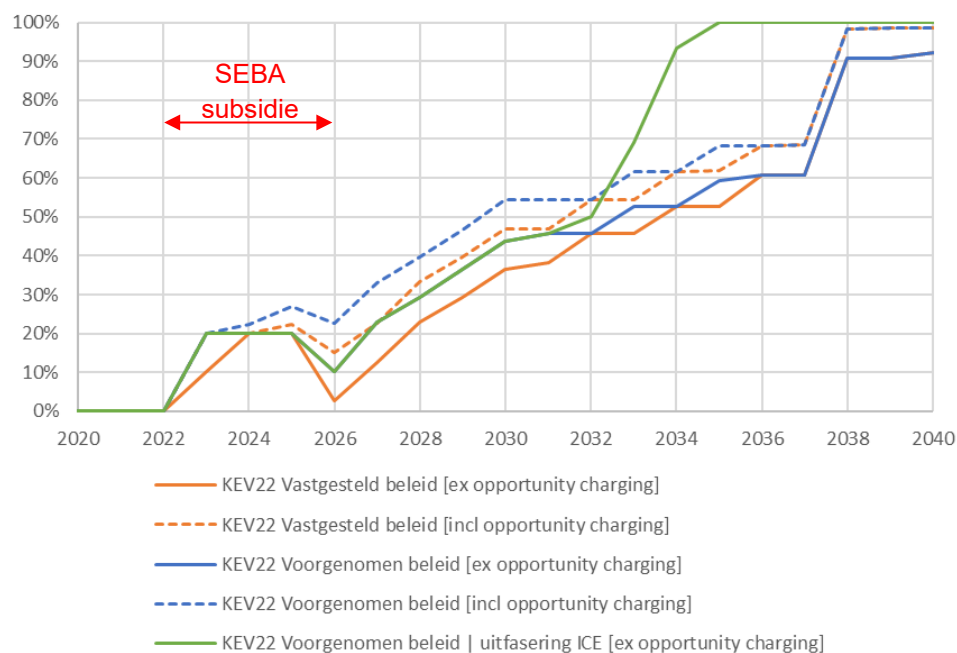


Figuur 1: Batterij packprijs ontwikkeling op basis van Bloomberg (BNEF 2021) | LDV staat voor Light Duty Vehicle (lichte voertuigen), HDV staat voor Heavy Duty Vehicle (zware vracht voertuigen)

### 2.3.5 TCO resultaten en techno-economisch ingroeipotentieel op basis van het Analyse kader

#### 2.3.5.1 Bestelauto's

Figuur 2 toont de ingroeipotentie voor elektrische bestelauto's tot 2040. De stippellijnen geven de ingroeipotentie weer voor het scenario inclusief 'opportunity charging'. Hiervoor is aangenomen dat gedurende de dag zodanig bijgeladen kan worden dat de range van het voertuig verdubbelt.



Figuur 2: Techno-economisch ingroeipotentieel elektrische bestelauto's

In de beginjaren is duidelijk het effect van de SEBA subsidieregeling te zien, waarna in 2026 het potentieel inzakt om richting 2040 weer toe te nemen. In de figuur valt op dat in het ingroeipotentieel een snelle groei laat zien in 2038. Dit wordt veroorzaakt doordat de betaalbaarheid van elektrische bestelauto's hier een bepaald kantelpunt bereikt waardoor de potentie toeneemt.

Daarnaast is ook bepaald hoeveel CO<sub>2</sub>-reductie door de nieuwverkopen van elektrische bestelauto's zou worden gerealiseerd in het geval het ingroeipotentieel gerealiseerd zou worden. Deze CO<sub>2</sub>-reductie is vervolgens vergeleken met de reductie die fabrikanten gemiddeld moeten behalen met de nieuw verkochte voertuigen in de EU. De CO<sub>2</sub> reductiedoelen gelden per fabrikant en gemiddeld over al hun verkopen in Europa. In de praktijk kan het zijn dat Nederland achterblijft wat vervolgens gecompenseerd wordt in andere landen waar meer elektrische voertuigen verkocht worden of juist andersom.

In het vastgestelde beleidsscenario wordt uitgegaan van een CO<sub>2</sub> reductiedoel van -15% voor 2025 en -31% in 2030, in het vastgesteld en voorgenomen beleidsscenario is dit -50% in 2030 en -100% in 2035. Indien het ingroeipotentieel wordt gerealiseerd is de verwachting dat de gemiddelde uitstoot van nieuw verkochte bestelauto's in Nederland in 2025 onder deze norm zal liggen alleen al

op basis van het ingroeipotentieel dat tussen de 20 en 27% ligt. Op basis van de aanname dat brandstofmotoren 0.5% zuiniger worden per jaar, neemt de reductie toe met 2%-punt tot tussen 22 en 29%.

Voor het jaar 2030 varieert de ingroeipotentie tussen de 36 en 54%. Op basis van de aangenomen autonome verbetering van de efficiency van brandstofmotoren van 0.5% per jaar komt hier nog 4.4%-punt bij. Indien de ingroeipotentie volledig gerealiseerd wordt is dit niet in genoeg om in de verschillende vrachtwagensegmenten onder het reductiedoel van -50% uit te komen. Dit hoeft geen probleem te zijn omdat de doelen gelden voor fabrikanten en niet voor landen. Het betekent wel dat Nederland achterop zal raken in vergelijking met andere EU landen. Daarnaast zijn er ook nog andere mogelijkheden voor fabrikanten om CO<sub>2</sub> te reduceren, zo kan gebruik gemaakt worden van de ZLEV benchmark<sup>10</sup>, van eco-innovaties en kan de gewichtsafhankelijkheid van de doelen nog een rol spelen.

Indien de ingroeipotentie niet wordt gerealiseerd zal er meer gehaald moeten worden uit andere factoren, zoals het zuiniger maken van brandstofmotoren en eco-innovaties.

Het reductiedoel van -100% voor 2035 wordt in de analyses niet gehaald in het beleidsscenario met vastgesteld en voorgenomen beleid. Dit betekent dat op basis van de aannames die onderliggend zijn aan deze berekening het niet voor alle eindgebruikers haalbaar is om op basis van de huidige inzet en kosten te kiezen voor een elektrische bestelauto. Om wel te voldoen aan dit doel zal een groep eindgebruikers moeten overwegen om deze kosten te maken, hun operatie zodanig anders in te richten dat dit wel mogelijk wordt of gebruik maken van een andere technologie of energiedrager zoals Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV). In Figuur 2 is een scenario ingetekend (uitfasering ICE<sup>11</sup>) waarbij er een ingroei is aangenomen waarbij wel aan dit doel wordt voldaan. Deze ingroei-curve is indicatief, er ligt geen berekening aan ten grondslag.

#### 2.3.5.2 *Vrachtwagens*

In de onderstaande figuren (Figuur 3 tot en met Figuur 6) zijn de ingroeipotenties van de vrachtwagens gepresenteerd. Voor alle vrachtwagensegmenten geldt dat in het verschil tussen de doorgetrokken lijnen (geen opportunity charging) en de gestippelde lijnen (inclusief opportunity charging) in de periode tot ongeveer 2024 toeneemt, waarna het relatief constant blijft. Het verschil tussen de gestippelde lijn en de doorgetrokken lijn laat zien dat de actieradius in de scenario's zonder opportunity charging een limiterende factor is. Het relatief constante verschil tussen de scenario's met en zonder opportunity charging laat zien dat voor de scenario's inclusief opportunity charging betaalbaarheid de limiterende factor is. Voor trekker-oplegger trucks blijft het verschil tussen de scenario's met en zonder opportunity charging toenemen, dit laat zien dat hier inzetbaarheid de limiterende factor blijft.

<sup>10</sup> Als het aandeel van elektrische bestelauto's en bestelauto's met een norm uitstoot van 50 gram/kilometer of lager, in 2030 hoger is dan 30% van de totale verkopen van de fabrikant, dan geldt dat iedere procentpunt hoger dan deze benchmark leidt tot een verhoging van het CO<sub>2</sub> doel met een procent. Het maximale voordeel is afgetopt op 5%. Dit betekent dat in het scenario met een reductiedoel van -50% het reductiedoel in het beste geval wordt versoepeld tot -47,5%. Voor 2025 geldt een benchmark van 15%. In het Green Deal voorstel van de Europese Commissie wordt de ZLEV regeling per 2030 geschrapt, maar dit is nog niet definitief.

<sup>11</sup> ICE staat voor: Internal Combustion Engine. Voertuigen met een verbrandingsmotor.

Het effect van de aanschafsubsidie op basis van de terugsluis in de periode 2026 tot en met 2030 is voor alle vrachtwagensegmenten goed zichtbaar. Wel valt op dat het effect minder sterk, of afwezig is in de scenario's inclusief opportunity charging voor de segmenten middelzwaar, zwaar en trekker-oplegger. Dit kan worden verklaard doordat rekening is gehouden met het maximale subsidiebudget per jaar. Op basis van de subsidiebudgetten en de vormgeving zoals beschreven in 2.2.2 is bepaald hoeveel vrachtwagens per jaar gesubsidieerd kunnen worden. Op basis hiervan is de ingroeipotentie afgetopt. Als de ingroeipotentie exclusief subsidie groter is dan het aantal voertuigen waarvoor subsidie beschikbaar is, wordt aangenomen dat een deel van de eindgebruikers geen subsidie zullen ontvangen.

Er is een inschatting gemaakt voor de CO<sub>2</sub>-reductie per vrachtwagensegment voor het geval dat de volledige ingroeipotentie gerealiseerd zal worden in Nederland. Vervolgens is deze vergeleken met de reductiedoelstellingen die er bestaan voor fabrikanten die vrachtwagens verkopen in Europa. Hierbij moet opgemerkt worden dat er voor lichte vrachtwagens geen reductiedoelstelling is opgenomen in de huidige verordening<sup>12</sup>. Bovendien valt de indeling in vrachtwagensegmenten zoals deze hier gebruikt is niet samen met de indeling in de genoemde verordening. Concreet betekent dit dat een deel van de vrachtwagens dat hier meegenomen is in de segmenten middelzwaar, zwaar en trekker-oplegger, ook niet onder de verordening vallen. De hier getoonde inschatting moet dan ook als indicatief gezien worden.

Voor het jaar 2025 geldt voor fabrikanten een reductiedoel van -15% ten opzichte van de baseline voor nieuw verkochte voertuigen. Deze baseline is opgesteld op basis van 2019 en 2020 data. Daarnaast geldt er ook een versoepeling op basis van ZLEV (zero- and low-emission vehicles) benchmark. Indien het aandeel van de verkochte ZLEV voertuigen hoger is dan de benchmark wordt de norm voor de specifieke fabrikant versoepeld. De benchmark voor 2025 is 2%, en wordt afgetopt op 3%, dat betekent dat de ZLEV-factor tenminste 0,97 is. Daarnaast is de factor ook hoogstens gelijk aan 1.

$$ZLEV\ factor = 1 - (ZLEV_{aandeel\ in\ verkopen} - 2\%)$$

Voor ZLEV's worden volledig elektrische trucks als 1 geteld, voor vrachtwagens met een lage emissie geldt een waarde tussen 0 en 1 die wordt bepaald op basis van de relatieve positie van de CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van de basiswaarde van de specifieke groep waartoe de vrachtwagen behoort (ICCT, 2019).

Anders dan voor bestelauto's wordt niet het reductiedoel aangepast maar wordt voor vrachtwagens de gemiddelde uitstoot van een fabrikant vermenigvuldigd met deze factor. In Tabel 8 is een inschatting weergegeven van de bijdrage van verschillende strategieën om CO<sub>2</sub> te reduceren. Voor elk van de vrachtwagensegmenten is het gemiddelde genomen van het scenario met en zonder opportunity charging. Er is geen rekening gehouden met vrachtwagens met een lage uitstoot.

---

<sup>12</sup> [EUR-Lex - 32019R1242 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

Tabel 8: Inschatting CO<sub>2</sub>-reductie per vrachtwagensegment 2025 ten opzichte van 2020

| Voertuig type                 | Licht      | Middel-zwaar | Zwaar      | Trekker - oplegger |
|-------------------------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| Elektrificatie <sup>13</sup>  | 25%        | 7%           | 17%        | 16%                |
| Vergroening ICE <sup>14</sup> | 3%         | 3%           | 3%         | 3%                 |
| ZLEV-factor                   | 2%         | 3%           | 2%         | 2%                 |
| <b>Totaal</b>                 | <b>29%</b> | <b>12%</b>   | <b>21%</b> | <b>20%</b>         |

Op basis van de inschattingen in de tabel is de verwachting dat de gemiddelde CO<sub>2</sub>-reductie van verkochte vrachtwagensegmenten licht, zwaar en trekker-oplegger in 2025 (op basis van de ingroeipotentie) groter zal zijn dan het vereiste Europese gemiddelde. Voor middelzware vrachtwagens is dit niet het geval. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de relatief hoog aangenomen kostprijs van dit segment vrachtwagens. Dit kan een fabrikant eventueel compenseren in een andere lidstaat, ook is het mogelijk om op basis van een krediet/schuld regeling compensatie op te bouwen in de periode 2019-2024 en dit in te zetten in 2025 (ICCT, 2019).

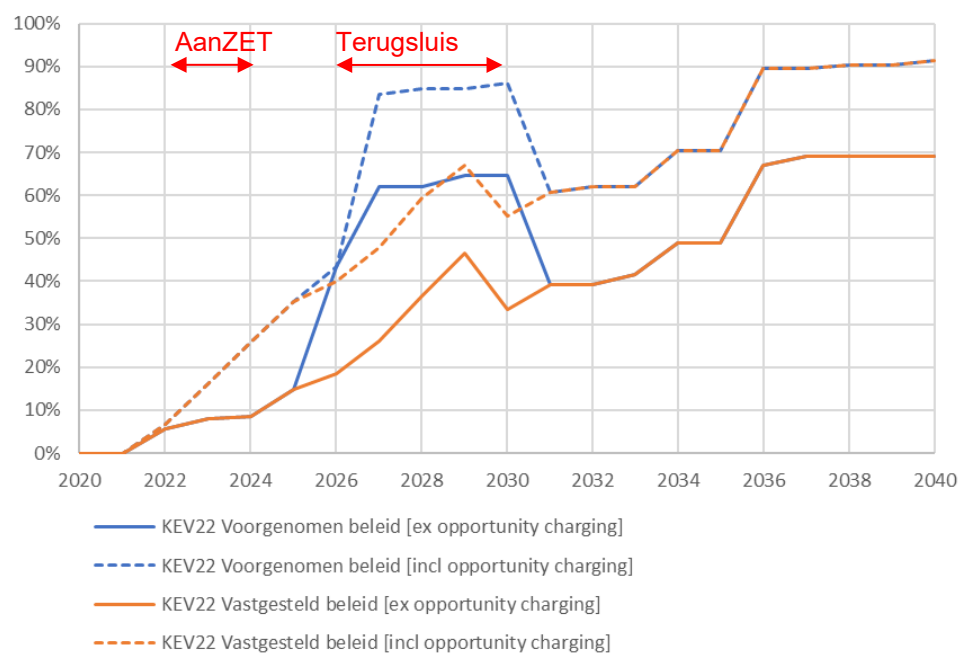
Voor het jaar 2030 geldt voorsnog een reductiedoel van -30% ten opzichte van de baseline. Ook hier is een inschatting gemaakt van de CO<sub>2</sub>-reductie per vrachtwagensegment, zie Tabel 9. De ZLEV benchmark voor 2030 is nog niet vastgesteld daarom is dit niet meegenomen voor 2030. Net als voor het doel van 2025 is er ook voor de periode 2026 tot en met 2029 een krediet/schuld regeling die in balans moet zijn in 2030. Op basis van de inschattingen in de tabel is de verwachting dat de gemiddelde CO<sub>2</sub>-reductie van verkochte vrachtwagensegmenten licht, zwaar en trekker-oplegger in 2030 (op basis van de ingroeipotentie) groter zal zijn dan het vereiste Europese gemiddelde. De verwachte gemiddelde CO<sub>2</sub>-reductie voor middelzware vrachtwagens is 29% daarmee is de verwachte reductie niet kleiner dan het vereiste Europese gemiddelde.

Tabel 9: Inschatting CO<sub>2</sub>-reductie per vrachtwagensegment 2030 ten opzichte van 2020

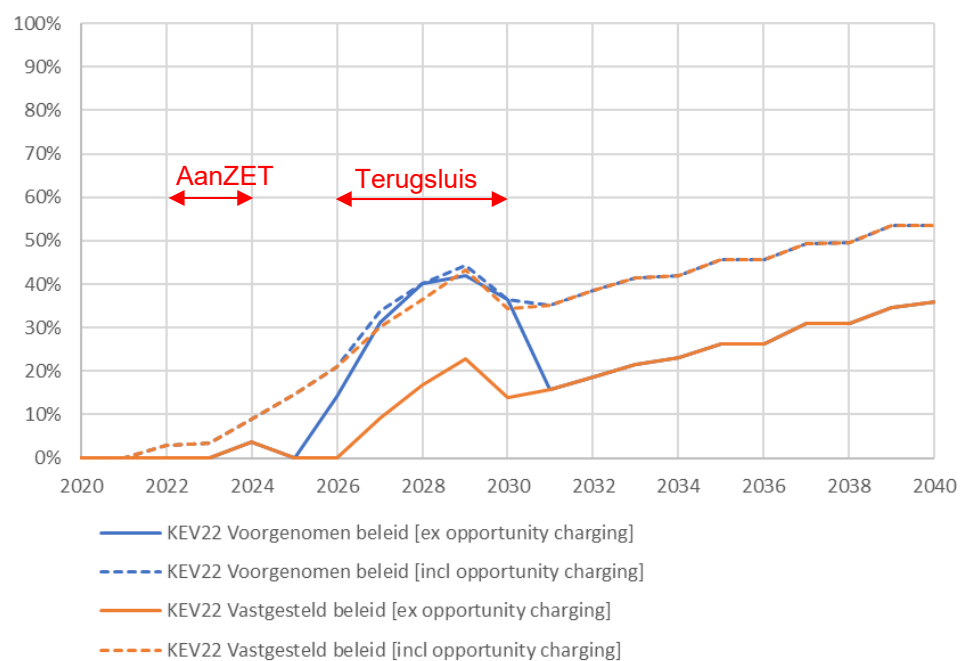
| Voertuig type   | Licht      | Middel-zwaar | Zwaar      | Trekker - oplegger |
|-----------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| Elektrificatie  | 44%        | 24%          | 38%        | 26%                |
| Vergroening ICE | 5%         | 5%           | 5%         | 5%                 |
| <b>Totaal</b>   | <b>49%</b> | <b>29%</b>   | <b>43%</b> | <b>31%</b>         |

<sup>13</sup> Zowel batterij- als waterstofelektrisch. Er is in deze studie geen rekening gehouden met plug-in elektrische vrachtwagens.

<sup>14</sup> Het autonoom zuiniger worden van voertuigen met verbrandingsmotor

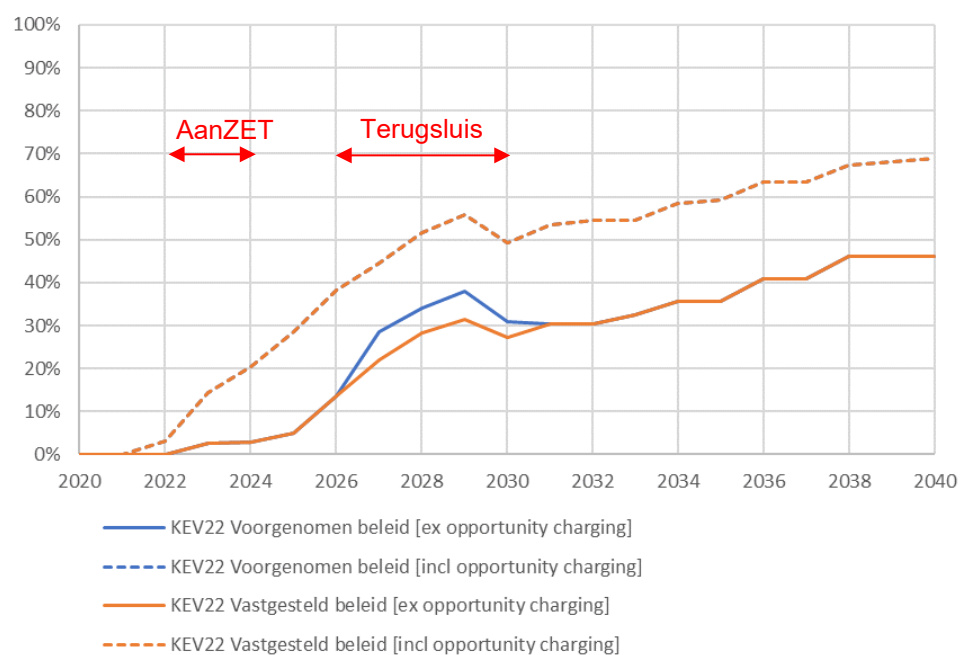


Figuur 3: Techno-economisch ingroeipotentieel elektrische vrachtwagen licht

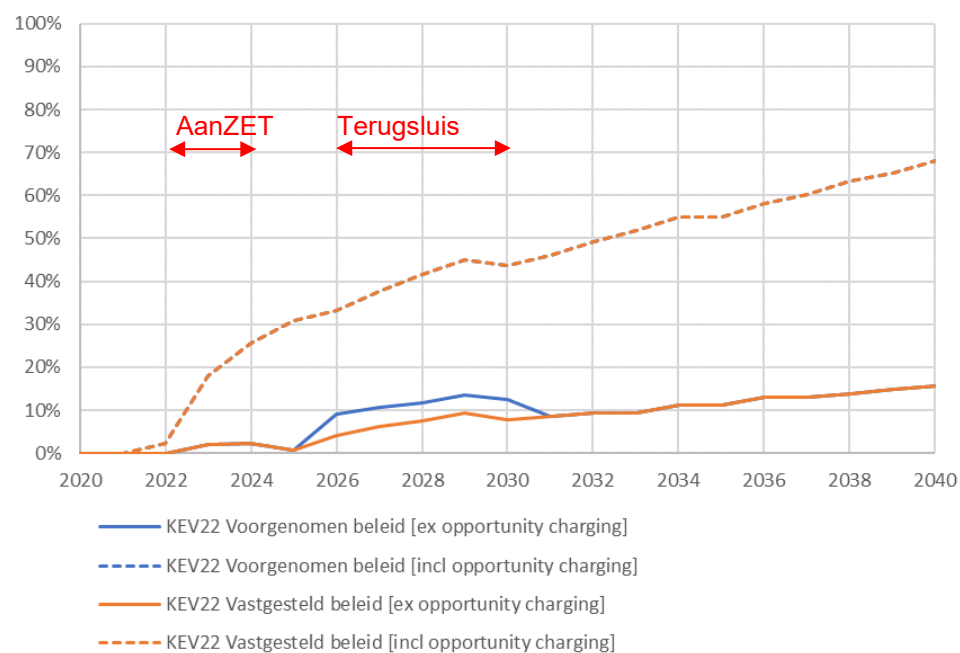


Figuur 4: Techno-economisch ingroeipotentieel elektrische vrachtwagen middel zwaar





Figuur 5: Techno-economisch ingroeipotentieel elektrische vrachtwagen zwaar



Figuur 6: Techno-economisch ingroeipotentieel elektrische trekker-oplegger

### 2.3.6 Conclusies en discussie

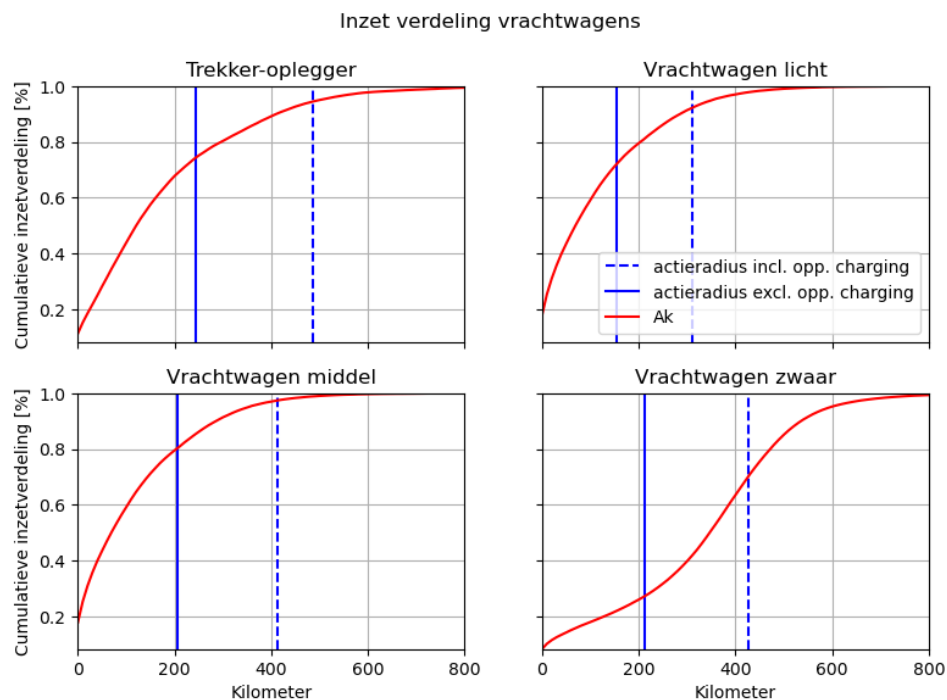
#### 2.3.6.1 Conclusies

In deze paragraaf zijn de analyses en resultaten van het ingroeipotentieel van elektrische bestel en vrachtvoertuigen beschreven. Uit de analyses blijkt dat het ingroeipotentieel richting 2040 zal toenemen maar ook dat toepasbaarheid en betaalbaarheid in 2040 nog sterk beperkende factoren zijn. Voor geen van de vrachtwagensegmenten wordt een ingroeipotentieel van 100% verwacht in 2040. Opvallend is dat het ingroeipotentieel het hoogst is voor de lichte vrachtwagen en het laagst voor de trekker oplegger. De verwachting is dat door het hoge kilometrage van trekker opleggers er veel potentie is om de hoge meerkosten voor de aanschaf te compenseren. Wel is het zo dat het ingroeipotentieel van de trekker oplegger het sterkst toeneemt als er gebruik wordt gemaakt van opportunity charging. Dit kan verklaard worden doordat in het scenario vastgesteld beleid vanaf 2026 betaalbaarheid een limiterende factor is bij een ingroeipotentieel van ruim 80%. Tot dit percentage bereikt wordt is de inzetbaarheid de limiterende factor.

#### 2.3.6.2 Discussie

De resultaten zoals beschreven zijn sterk afhankelijk van de gemaakte aannames. De aannames voor de kostenontwikkeling van voertuigen spelen een belangrijke rol, omdat zowel een positieve TCO als een toepasbaar voertuigbereik harde voorwaarden zijn om ingroeipotentie te kunnen realiseren. Voor het criterium betaalbaarheid is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd in paragraaf 2.5.6.

Naast betaalbaarheid, is de toepasbaarheid het tweede criterium. In Figuur 7 is voor de cumulatieve inzetverdeling per vrachtwagen de actieradius ingetekend voor de situatie met en zonder opportunity charging. Hieruit kan worden geconcludeerd dat bijladen een groot effect heeft op de toepasbaarheid van voertuigen.



Figuur 7: Actieradius vs. cumulatieve inzetverdeling per vrachtwagensegment in 2040. Ak staat voor Analysesekader

Uit de figuur blijkt dat geen van de vrachtwagensegmenten meer dan 80% van de ritten kan voldoen op basis van een enkele batterijlading. Het Analyse kader is voor het segment vrachtwagen zwaar gevoed met een actieradius van 213 km in 2040 (zie Tabel 6). Dit is onvoldoende voor een groot deel van de vereiste inzet. Door deze aanname blijft het ingroeipotentieel beperkt. De verwachting is dat fabrikanten per segment meerdere batterijgroottes zullen aanbieden om zo voor kosten en inzet te optimaliseren. Indien er batterijgroottes gekozen worden die meer passend zijn bij de inzet (dus grotere batterij) is de verwachting dat de ingroeipotentie zal toenemen.

Het hier berekende ingroeipotentieel is een maximale potentie gegeven het huidige beleid. Het is niet de verwachting dat deze potentie ook ingevuld zal worden doordat er verschillende factoren zijn die afdingen op dit potentieel. Dit zijn onder andere voldoende laadinfrastructuur en de beschikbaarheid van materialen. Dergelijke factoren zijn uitgewerkt in Paragraaf 2.6.

## 2.4 Techno-economische analyse op basis van TEHUP

Zoals toegelicht in paragraaf 2.1, heeft TNO in 2022 een nieuw model ontwikkeld waarmee het techno-economische ingroeipotentieel voor verschillende zero-emissie vrachtwagens kan worden bepaald. Dit model, ontwikkeld onder de naam TEHUP<sup>15</sup>, is ontwikkeld op basis van meer recente, en meer gedetailleerde inzichten in vergelijking met het Analyse kader. Gezien de timing van het afronden van het model en het KEV project was het niet mogelijk om dit model toe te passen. Om de robuustheid van de KEV invoer na te gaan is na afronding van het TEHUP model een aanvullende analyse gemaakt met het TEHUP om met de KEV 2022 beleidsscenario's te vergelijken. In de volgende paragraaf worden de resultaten van het Analyse kader en het TEHUP model met elkaar vergeleken. Er zijn geen nieuwe analyses uitgevoerd voor bestelauto's omdat deze nog geen onderdeel uitmaken van het TEHUP model.

Voor een beschrijving van het model en de standaard invoer waardes (looptijd, restwaarde, etc.) wordt verwezen naar de studie ten behoeve waarvan het model is ontwikkeld (TNO, 2022a). In deze paragraaf worden slechts de parameters die aangepast zijn ten opzichte van de hiervoor genoemde studie gepresenteerd.

### 2.4.1 Voertuigspecificaties

De analyse is uitgevoerd voor de vier vrachtwagentypes die grofweg overeenkomen met de vier voertuigsegmenten die in TREVA<sup>16</sup> gemodelleerd zijn zodat het de resultaten hier aansluiten op de modellen van het PBL. Dit zijn lichte, middelzware en zware vrachtwagens en trekker opleggers.

Voor elk van deze segmenten is een referentievoertuig gespecificeerd op basis waarvan de analyses zijn uitgevoerd voor drie verschillende aandrijflijnen, namelijk

- verbrandingsmotor op diesel (ICEV)
- batterij-elektrisch (BEV)
- brandstofcel op waterstof (FCEV).

<sup>15</sup> Techno-Economic Heavy duty UPtake model

<sup>16</sup> Trend extrapolatiemodel voor vrachtautoparken: [Trendextrapolatiemodel voor vrachtautoparken](#)  
[| PBL Planbureau voor de Leefomgeving](#)

Mogelijk zullen er op termijn meer dan deze drie aandrijflijnen en energiedragers beschikbaar komen, zoals de waterstofverbrandingsmotor of het gebruik van biobrandstoffen of e-fuels in verbrandingsmotoren. Deze zijn niet meegenomen in deze analyse. Indien deze technologieën in de toekomst verder ontwikkeld worden en een toekomstig marktaandeel waarschijnlijk lijkt, kan deze analyse worden uitgebreid met deze of andere technologieën

In Tabel 10 is het gehanteerde motorvermogen weergegeven. Voor dieselvrachtwagens is dit gebaseerd op RDW data, voor batterij en waterstof elektrisch is hiervoor een verhogingsfactor bepaald om rekening te houden met de extra massa ten gevolge van de het batterijpakket of de brandstofcel. Hierdoor is de verhouding tussen gewicht en vermogen tussen de verschillende aandrijflijnen vergelijkbaar en daarmee ook de voertuigprestaties.

Tabel 10: Motorvermogen [kW]

| Voertuig type           | Diesel            | BEV-M | BEV-L | FCEV |
|-------------------------|-------------------|-------|-------|------|
| Lichte vrachtwagen      | 150 <sup>17</sup> | 158   | 158   |      |
| Middelzware vrachtwagen | 197               | 208   | 208   |      |
| Zware vrachtwagen       | 318               | 336   | 336   | 336  |
| Trekker-oplegger        | 330               | 348   | 348   | 348  |

In Tabel 11 is de batterijgrootte gepresenteerd. Er is hier voor gekozen om de batterijgrootte door de tijd constant te houden. Door de afname van het energiegebruik per kilometer als gevolg van het toevoegen van meer technologieën die de energie-efficiëntie verbeteren, neemt de actieradius richting 2040 toe. De referentie actieradius voor 2020 is weergegeven in Tabel 12.

Tabel 11: Batterij capaciteit [kWh]

| Voertuig type           | BEV-M | BEV-L | FCEV |
|-------------------------|-------|-------|------|
| Lichte vrachtwagen      | 100   | 150   |      |
| Middelzware vrachtwagen | 125   | 200   |      |
| Zware vrachtwagen       | 350   | 569   | 140  |
| Trekker-oplegger        | 440   | 715   | 140  |

Tabel 12: Actieradius van batterij elektrische voertuigen (2020) [km]

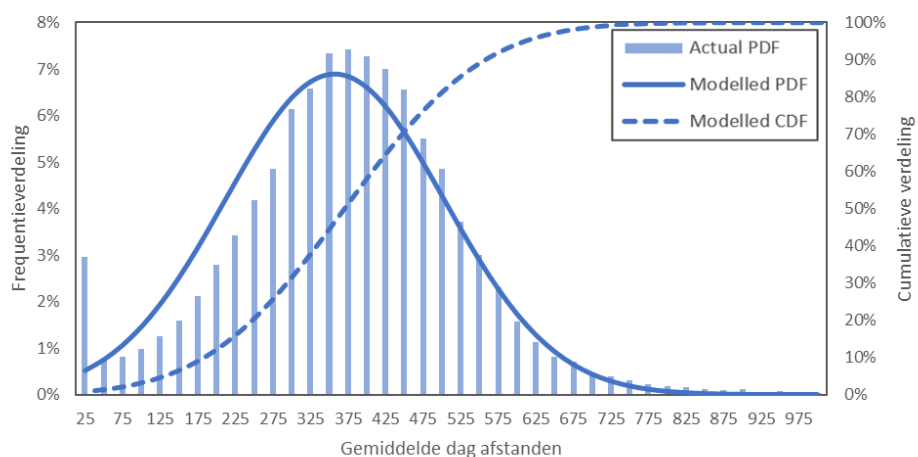
| Voertuig type           | BEV-M | BEV-L |
|-------------------------|-------|-------|
| Lichte vrachtwagen      | 200   | 300   |
| Middelzware vrachtwagen | 180   | 300   |
| Zware vrachtwagen       | 390   | 620   |
| Trekker-oplegger        | 350   | 560   |

<sup>17</sup> Op basis van RDW data is een gemiddeld vermogen van 125 kW gevonden. Omdat ADVANCE als ondergrens een motorvermogen van 150 kW heeft is hier gerekend met 150 kW.

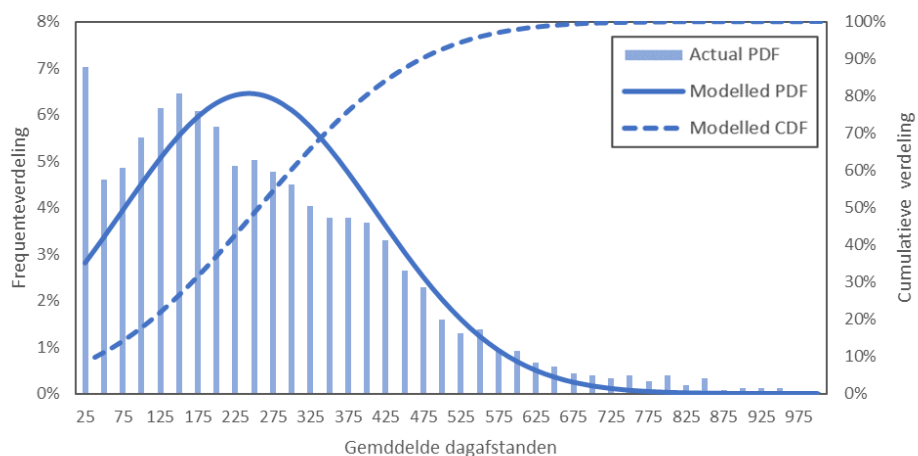
## 2.4.2 Input

### 2.4.2.1 Gemiddelde afstand per dag

De inzet van de truckvloot is bepaald op basis van werkelijke kilometerstanden met behulp van EKI<sup>18</sup> data. Per vrachtwagentype is de gemiddelde afstand per dag bepaald. Op basis hiervan is een genormaliseerde normaalverdeling<sup>19</sup> gemodelleerd, zie Figuur 8 voor een visualisatie hiervan voor trekker-opleggers. In Figuur 9 is eenzelfde analyse voor zware vrachtwagens gevisualiseerd.



Figuur 8: Actuele truck inzet data voor trekker-opleggers in Nederland in vergelijking met een genormaliseerde normaalverdeling. PDF staat voor Probability Density Function (kansdichtheidsfunctie), CDF staat voor Cumulative Distribution Function (cumulatieve distributiefunctie)

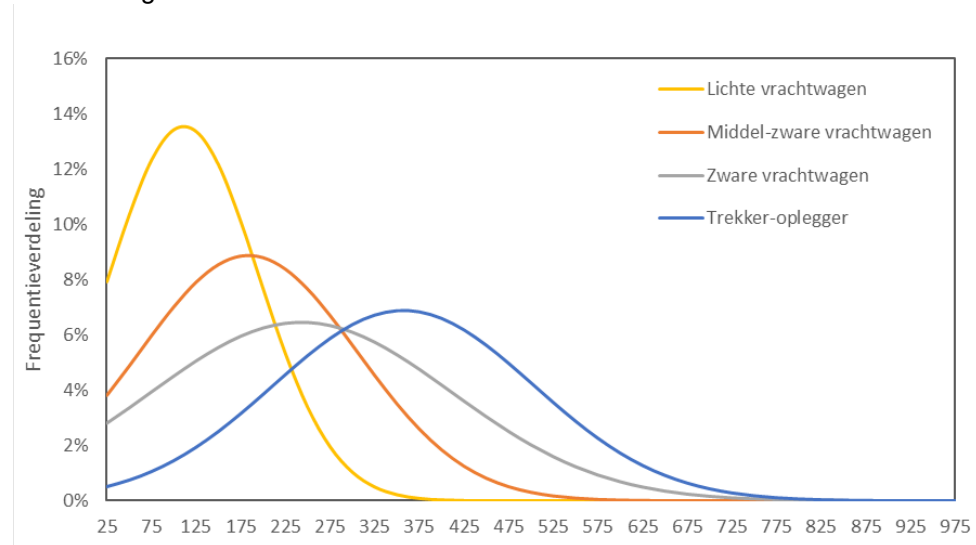


Figuur 9: Actuele truck inzet data voor zware vrachtwagens in Nederland in vergelijking met een genormaliseerde normaalverdeling.

<sup>18</sup> EKI data refereert aan data van tellerstanden van voertuigen. Dit wordt door RDW verzameld in de EKI database

<sup>19</sup> Op basis van de EKI data is een normaalverdeling bepaald per trucksegment. Het deel van de normaalverdeling dat links van de y-as valt is weggehaald. Als gevolg hiervan is de cumulatieve verdeling niet langer gelijk aan 100%. Daarom is het deel van de verdeling rechts van de y-as herschaald zodat de cumulatieve verdeling optelt tot 100%. Dit is de genormaliseerde normaalverdeling.

In Figuur 10 zijn de gemodelleerde kansdichtheidsfuncties gegeven voor de inzet van alle segmenten vrachtwagens die gebruikt worden in de analyse. Op basis van de figuur blijkt dat het gemiddelde kilometrage toeneemt bij een hoger toegestaan combinatiegewicht.

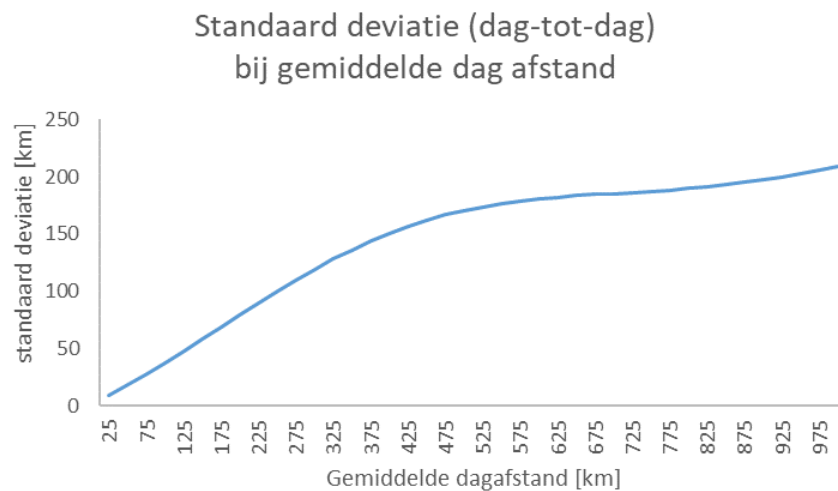


Figuur 10: Gemodelleerde kansdichtheidsfuncties voor inzet van de verschillende segmenten vrachtwagens

#### 2.4.2.2 *Dag-tot-dag variatie*

Naast de spreiding in gemiddelde afstanden over de vloot is er ook een zekere spreiding van dag-tot-dag op voertuig niveau. Het kan zijn dat een voertuig dat gemiddeld 200 km per dag rijdt, de ene dag 100 km rijdt en de volgende dag 300 km. Wanneer de maximale actieradius (inclusief laden) bijvoorbeeld 250 km is, zou dit voertuig op basis van het jaargemiddelde de overstap naar elektrisch wél kunnen maken, maar op basis van de variatie in onderliggende dag tot dagafstanden niet.

In het TEHUP model wordt rekening gehouden met het bovenstaande effect. Daarbij wordt aangenomen dat minstens 90% van de jaarlijkse ritten binnen de maximale actieradius moet vallen om de overstap naar elektrisch te kunnen maken. Om de dagelijkse inzet bij een bepaald jaar gemiddelde te berekenen is onderstaande curve gebruikt, zie Figuur 11. Deze figuur is gebaseerd op een analyse uit eerder TNO onderzoek (TNO, 2022a). Er is geen verbetering van logistieke efficiëntie verondersteld ten opzichte van de huidige situatie. De verwachting is dat de spreiding in gemiddelde dagafstanden kan afnemen als logistieke dienstverleners rekening gaan houden met de actieradius van vrachtwagens.

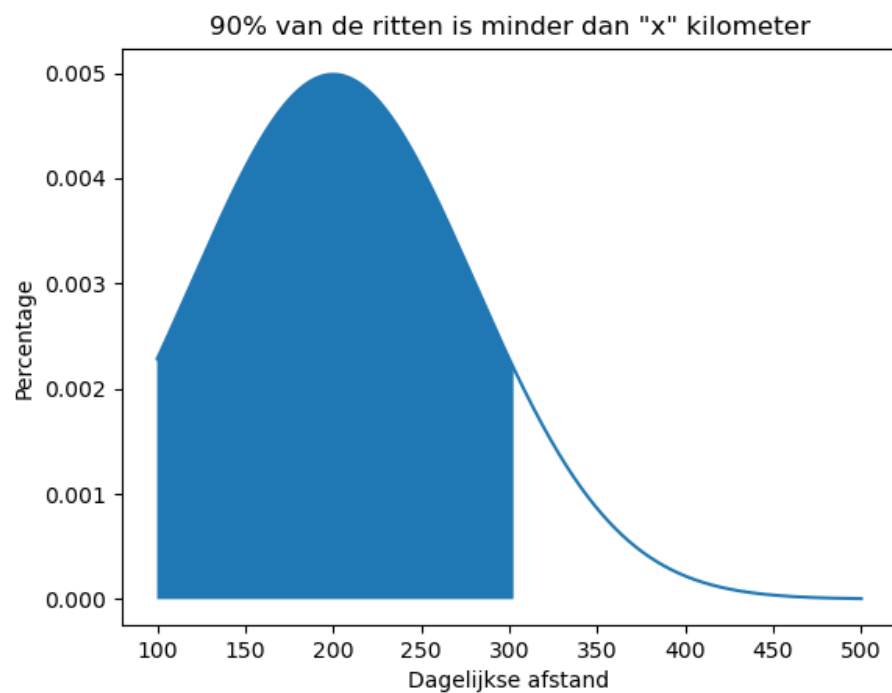


Figuur 11: Relatieve standaard deviatie als functie van dagelijks gemiddelde.

#### Laadstrategie

##### Rekenvoorbeeld

Bij 90% van de ritten hoort een z-score van 1,28. Dat houdt in dat  $1,28 \times$  de standaarddeviatie 90% van de normaalverdeling bevat. In Figuur 12 is het voorbeeld voor een gemiddelde dagafstand van 200 km te zien. Bij een gemiddelde dagafstand van 200 km, is de standaarddeviatie 80 km. Met een z-score van 1,28 kan worden bepaald dat 90% van de ritten minder dan 300 km zijn. De veronderstelde benodigde actieradius voor de voertuigen met een gemiddelde ritlengte van 200 km op jaarbasis is daarom 300km.



Figuur 12: Normaalverdeling dag-tot-dag ritten als rekenvoorbeeld

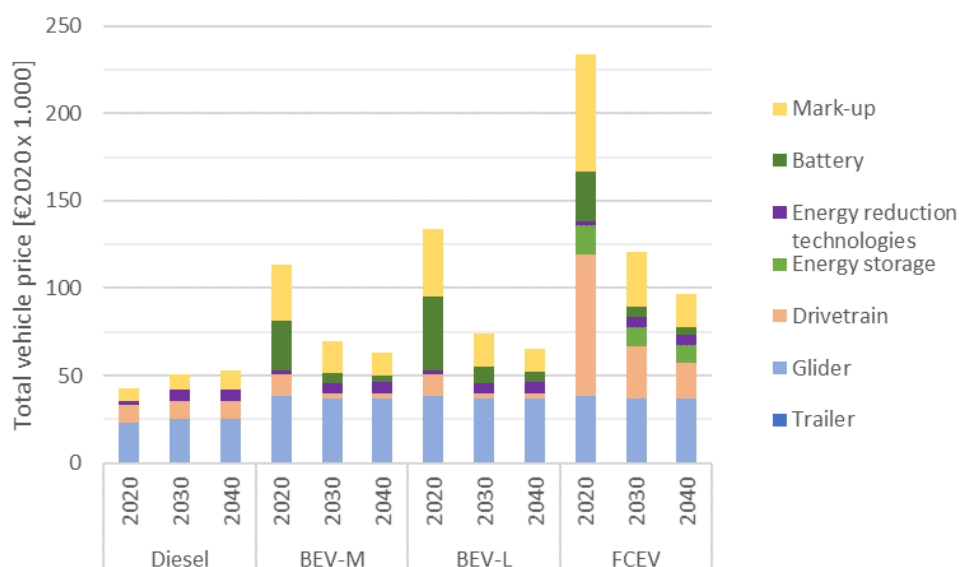
Behalve de inzet is ook de laadstrategie van belang. In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de trucks gedurende de nacht worden geladen op het depot tegen het depot tarief, de dag wordt dan gestart met een volle batterij. Gedurende de dag kan worden bijgeladen ('opportunity charging') voor maximaal drie kwartier (de minimale rustpauze op basis van de rij en rusttijden wet) op een vermogen van 1C (laadcapaciteit waarbij de batterij in 1 uur volgeladen is) tot maximaal 350 kW. De TCO-berekening wordt uitgevoerd voor verschillende 'dagafstandsbins' voor elke bin wordt een Monte Carlo analyse gemaakt waarbij er een groot aantal trips worden gesimuleerd op basis waarvan per trip bin wordt geanalyseerd in welke mate er gebruik gemaakt wordt van opportunity charging.

### 2.4.3 Voertuigkosten

Op basis van de voertuigspecificaties zoals beschreven in paragraaf 2.4.1 zijn de verwachte verkoopprijzen van de verschillende voertuigen bepaald. Deze zijn bepaald door de kosten van de verschillende componenten te bepalen en op te tellen. Kosten voor assemblage, R&D, overhead en winst zijn verwerkt door middel van een mark-up factor. Zoals uitgelegd in (TNO 2022) is aangenomen dat deze factor naar verloop van tijd zal toenemen voor diesellootvoertuigen (van 19% in 2020 tot 25% in 2040) en afnemen voor zero-emissievoertuigen (van 40% in 2020 tot 25% in 2040)

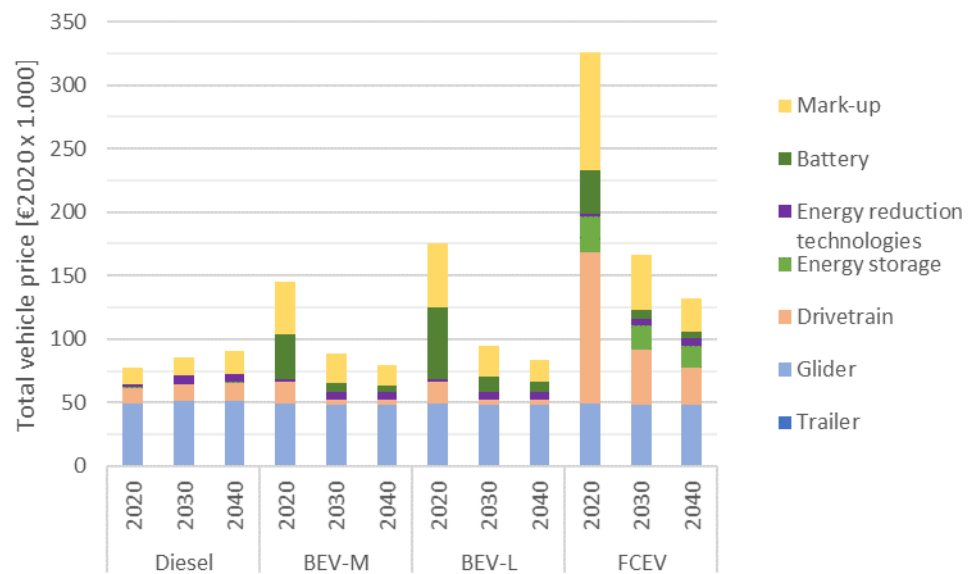
Verder is aangenomen dat in alle segmenten vrachtwagens dezelfde energie reducerende technologieën zijn toegepast met uitzondering van de technologieën die specifiek voor trekker-oplegger toepasbaar zijn. De technologieën verschillen wel voor de verschillende aandrijftechnologieën.

Op basis van de figuren is te zien dat kosten voor accupakketten op dit moment nog hoog zijn maar dat wordt verwacht dat deze richting 2030 significant zullen dalen.

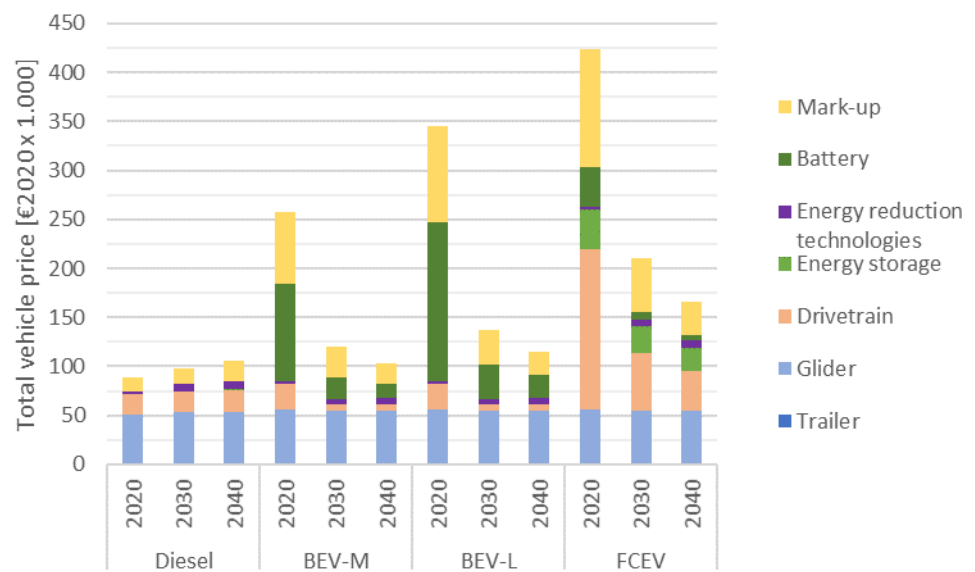


Figuur 13: Opbouw van berekende verkoopprijs voor lichte vrachtwagen

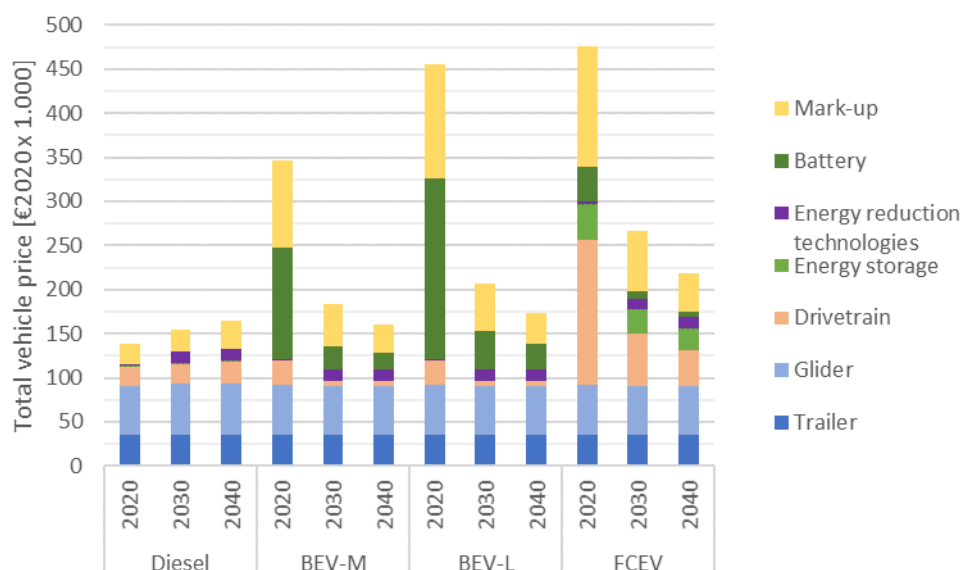




Figuur 14: Opbouw van berekende verkoopprijs voor middelzware vrachtwagen



Figuur 15: Opbouw van berekende verkoopprijs voor zware vrachtwagen



Figuur 16: Opbouw van berekende verkoopprijs voor trekker oplegger

#### 2.4.4 *Energiekosten*

De analyses zijn uitgevoerd met de twee scenario's voor de energiekosten. In het eerste scenario wordt gebruik gemaakt van de energiekosten zoals deze zijn aangeleverd door PBL. Voor depotladen is gebruikt gemaakt van groothandelsprijzen in combinatie met belastingen voor een jaarlijkse afname tussen de 50 duizend en 10 miljoen kWh. Voor snelladen en waterstof zijn de tarieven uit (TNO, 2022a) genomen. De kosten voor waterstof zijn in lijn met de kosten zoals gebruikt in het TNO-project STRIVE (TNO, 2022b) waar gerekend is met een 10% marge voor de laadinfrastructuur en distributie. In Tabel 13 zijn energiekosten opgenomen. In de jaren 2021-2023 is het tarief voor snelladen aangepast om te voorkomen dat het tarief voor snelladen lager zou zijn dan het tarief voor depotladen. Voor dieselprijzen is een projectie van het PBL gebruikt.

Voor een gevoeligheidsanalyse is een tweede analyse gedaan waarbij gebruik gemaakt is van de energiekosten zoals deze bepaald zijn in (TNO, 2022a), zie Tabel 14. Hierbij is voor de dieselprijzen uitgegaan van de korte termijn olieprijs projectie 2022 (IEA, 2022) in combinatie met de olieprijs ontwikkeling van World Energy Outlook 2021 (IEA, 2021). Voor waterstof zijn de prijzen gebaseerd op uitgaande van lokale productie bij het tankstation (ICCT, 2022). De elektriciteitsprijsontwikkeling is gebaseerd op het EU Reference Scenario 2020<sup>20</sup>.

Opvallend is dat de dieselprijs voor de KEV lager is in 2020 maar na 2024 juist hoger is. De prijzen voor elektrische energie liggen, met uitzondering van de eerste jaren, dicht bij elkaar.

<sup>20</sup> EU Reference Scenario 2020 (europa.eu)

Tabel 13: Energiekosten PBL exclusief BTW inclusief heffingen

| Netherlands | Diesel<br>[€/L] | Depotladen<br>[€/kWh] | Snel laden<br>[€/kWh] | Waterstof<br>[€/kg] |
|-------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 2020        | 1,05            | 0,06                  | 0,17                  | 8,31                |
| 2021        | 1,21            | 0,17                  | 0,20*                 | 8,14                |
| 2022        | 1,34            | 0,28                  | 0,31*                 | 7,97                |
| 2023        | 1,44            | 0,21                  | 0,24*                 | 7,80                |
| 2024        | 1,43            | 0,15                  | 0,19                  | 7,63                |
| 2025        | 1,44            | 0,14                  | 0,19                  | 7,46                |
| 2026        | 1,45            | 0,14                  | 0,20                  | 7,29                |
| 2027        | 1,45            | 0,14                  | 0,20                  | 7,12                |
| 2028        | 1,46            | 0,13                  | 0,20                  | 6,95                |
| 2029        | 1,46            | 0,12                  | 0,21                  | 6,78                |
| 2030        | 1,47            | 0,12                  | 0,21                  | 6,61                |
| 2031        | 1,47            | 0,13                  | 0,21                  | 6,46                |
| 2032        | 1,47            | 0,13                  | 0,20                  | 6,31                |
| 2033        | 1,47            | 0,13                  | 0,20                  | 6,16                |
| 2034        | 1,47            | 0,13                  | 0,20                  | 6,01                |
| 2035        | 1,47            | 0,14                  | 0,19                  | 5,86                |
| 2036        | 1,48            | 0,14                  | 0,19                  | 5,71                |
| 2037        | 1,49            | 0,14                  | 0,18                  | 5,56                |
| 2038        | 1,50            | 0,15                  | 0,18                  | 5,41                |
| 2039        | 1,50            | 0,15                  | 0,18                  | 5,26                |
| 2040        | 1,51            | 0,15                  | 0,17                  | 5,11                |

- Correctie van 0,03 euro duurder dan depot laden aangenomen.

Tabel 14: Energiekosten alternatief (TNO, 2022a)

| Netherlands | Diesel<br>[€/L] | Depotladen<br>[€/kWh] | Snel laden<br>[€/kWh] | Waterstof<br>[€/kg] |
|-------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 2020        | 1,14            | 0,14                  | 0,17                  | 8,31                |
| 2021        | 1,20            | 0,14                  | 0,18                  | 8,14                |
| 2022        | 1,55            | 0,14                  | 0,18                  | 7,97                |
| 2023        | 1,46            | 0,14                  | 0,18                  | 7,80                |
| 2024        | 1,43            | 0,14                  | 0,19                  | 7,63                |
| 2025        | 1,40            | 0,15                  | 0,19                  | 7,46                |
| 2026        | 1,37            | 0,15                  | 0,20                  | 7,29                |
| 2027        | 1,34            | 0,15                  | 0,20                  | 7,12                |
| 2028        | 1,32            | 0,15                  | 0,20                  | 6,95                |
| 2029        | 1,29            | 0,15                  | 0,21                  | 6,78                |
| 2030        | 1,26            | 0,15                  | 0,21                  | 6,61                |
| 2031        | 1,27            | 0,15                  | 0,21                  | 6,46                |
| 2032        | 1,27            | 0,15                  | 0,20                  | 6,31                |
| 2033        | 1,28            | 0,15                  | 0,20                  | 6,16                |
| 2034        | 1,28            | 0,15                  | 0,20                  | 6,01                |
| 2035        | 1,29            | 0,15                  | 0,19                  | 5,86                |
| 2036        | 1,29            | 0,16                  | 0,19                  | 5,71                |
| 2037        | 1,30            | 0,16                  | 0,18                  | 5,56                |
| 2038        | 1,30            | 0,16                  | 0,18                  | 5,41                |
| 2039        | 1,31            | 0,16                  | 0,18                  | 5,26                |
| 2040        | 1,31            | 0,16                  | 0,17                  | 5,11                |

Als gevolg van deze aanpak is er geen onderscheid tussen het vastgesteld en voorgenomen beleid (VV) en vastgesteld beleid (V) voor wat betreft de elektriciteitsprijzen.

#### 2.4.5 *Energiegebruik*

In Tabel 15 is het specifieke energiegebruik van de verschillende trucks weergegeven. Het energiegebruik van de geanalyseerde trucks is gesimuleerd met behulp van het door TNO ontwikkelde ADVANCE model. Dit is een model dat bottom-up het energiegebruik van verschillende aandrijflijnen kan analyseren. Voor de ritprofielen is gebruik gemaakt van VECTRO inzetprofielen. VECTO is een tool om het energiegebruik van zware vrachtoertuigen te simuleren. Voor deze simulaties zijn verschillende inzetprofielen gedefinieerd, deze ritprofielen zijn hier gebruikt in combinatie met ADVANCE. De trekker oplegger is gesimuleerd op een 'long-haul' profiel, de bakwagens zijn alle drie gesimuleerd op basis van een regionale inzet.

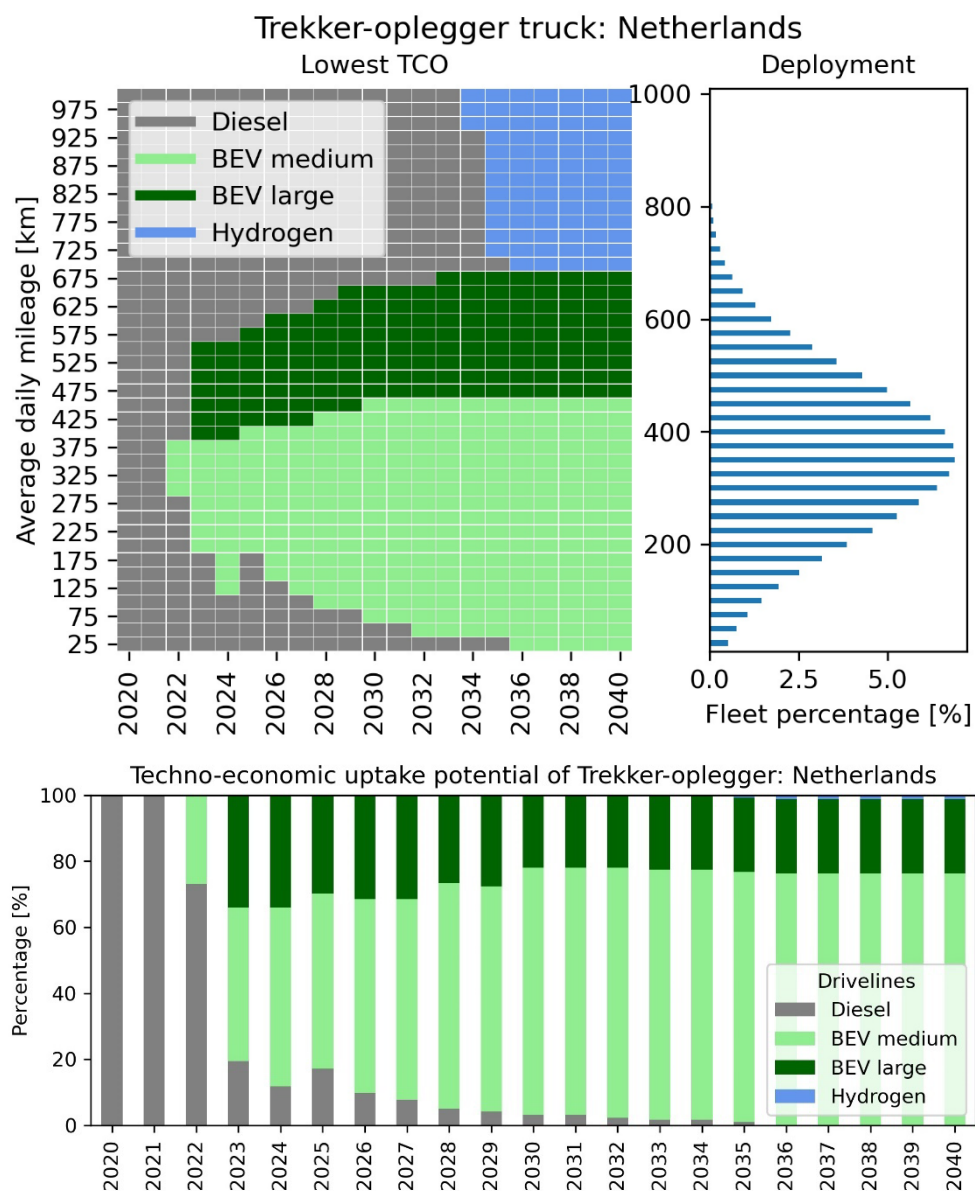
Tabel 15: Berekende specifieke energiegebruik van de verschillende type voertuigen.

| Voertuig              | Jaar | Diesel<br>[l/km] | BEV middelgrote<br>batterij [kWh/km] | BEV grote<br>batterij<br>[kWh/km] | Waterstof<br>[kg/km] |
|-----------------------|------|------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Lichte<br>vrachtwagen | 2020 | 0,15             | 0,50                                 | 0,50                              |                      |
|                       | 2030 | 0,12             | 0,39                                 | 0,39                              |                      |
|                       | 2040 | 0,12             | 0,38                                 | 0,39                              |                      |
| Middel<br>vrachtwagen | 2020 | 0,21             | 0,69                                 | 0,68                              |                      |
|                       | 2030 | 0,17             | 0,54                                 | 0,54                              |                      |
|                       | 2040 | 0,17             | 0,53                                 | 0,52                              |                      |
| Zware<br>vrachtwagen  | 2020 | 0,30             | 0,89                                 | 0,91                              | 0,05                 |
|                       | 2030 | 0,25             | 0,74                                 | 0,75                              | 0,04                 |
|                       | 2040 | 0,25             | 0,72                                 | 0,73                              | 0,04                 |
| Trekker-<br>oplegger  | 2020 | 0,34             | 1,26                                 | 1,27                              | 0,07                 |
|                       | 2030 | 0,28             | 1,04                                 | 1,03                              | 0,06                 |
|                       | 2040 | 0,28             | 1,02                                 | 1,01                              | 0,06                 |

#### 2.4.6 *TCO resultaten en techno-economisch ingroeipotentieel op basis van TEHUP*

##### 2.4.6.1 *Trekker-oplegger*

In onderstaande figuur is een voorbeeld gepresenteerd van de TCO resultaten voor het vastgestelde beleid.



Figuur 17: Techno-economisch ingroei potentieel van trekker-opleggers in Nederland met vastgesteld beleid op basis van het TEHUP model.

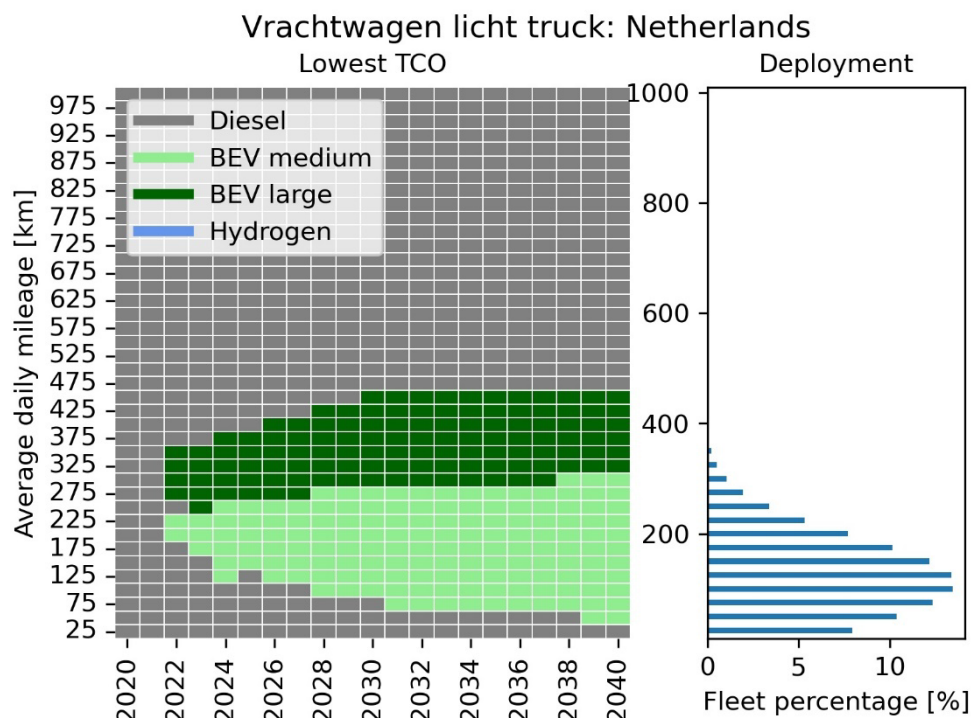
De voertuigvloot is opgedeeld op basis van gemiddeld dagkilometrage. Dit is gedaan aan de hand van een genormaliseerde normaalverdeling, zoals beschreven in paragraaf 2.4.2.1. De inzetprofielen zijn opgedeeld in groepen van 25 km, in totaal telt de verdeling op tot 100%. Voor ieder gemiddelde kilometergroep is bepaald welk aandrijvingstype de laagste TCO oplevert. Deze resultaten zijn weergegeven in de linker bovenhoek van Figuur 17. Deze resultaten worden gesommeerd op basis van de 'voertuiginzetverdeling in de rechterbovenhoek. Gezamenlijk levert dit een techno-economisch ingroei potentieel van de verschillende aandrijflijnen in de nieuwverkopen, welke is weergegeven onderaan Figuur 17.

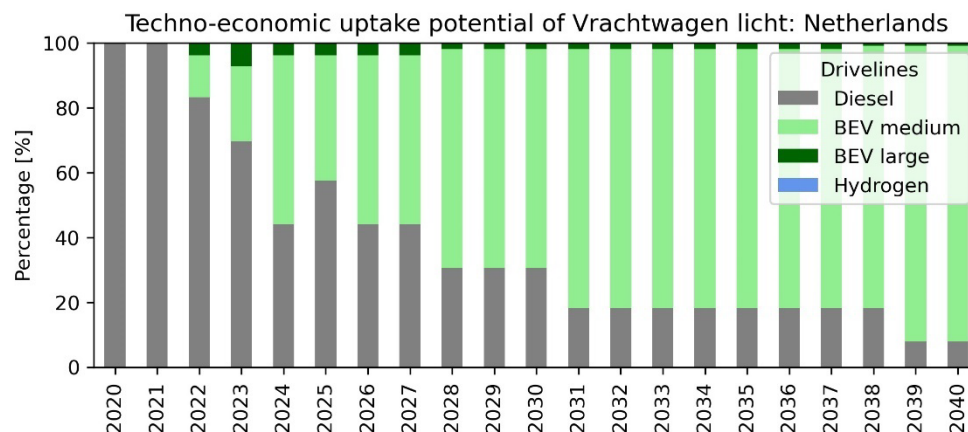
Zo is te zien dat vanaf 2022 er al batterij-elektrische trekker-opleggers zijn met een positieve TCO ten opzichte van diesel. Deze groep wordt snel groter en richting 2025 gaat het potentieel al richting de 80%. Na 2030 begint er een rol voor FCEV te ontstaan voor hoge kilometrages. Echter het aantal voertuigen dat gemiddeld meer dan 700 km per dag rijdt is beperkt.

Over het algemeen geldt dat de TCO van batterij elektrisch beter is dan het geval is voor FCEV, maar dat de range van het batterij elektrische voertuig dusdanig beperkt is dat het voertuig niet op deze trips kan worden ingezet. Indien de actieradius van Batterij Elektrische Voertuigen (BEV's) hoger was aangenomen (door ze uit te rusten met een nog grotere batterij of een hoger snellaadvermogen aan te nemen), zou een deel van het ingroeipotentieel van FCEV zijn ingenomen door BEVs.

#### 2.4.6.2 *Vrachtwagen-licht*

De resultaten voor de lichte-vrachtwagen zijn gepresenteerd in onderstaande figuur. Dit type voertuigen maakt gemiddeld minder kilometers dan de trekker-oplegger. Aan de jaren 2025 en 2026 is te zien dat met het wegvallen van de subsidie minder zero-emissie voertuigen rendabel ingezet kunnen worden. Verder is te zien dat voertuigen met gemiddeld minder dan 50 km per dag een hogere TCO houden ten opzichte van diesel. FCEV is niet gesimuleerd voor lichte vrachtwagens, omdat deze technologie naar verwachting op TCO niet zal kunnen concurreren met BEV voor dergelijke voertuiginzet.

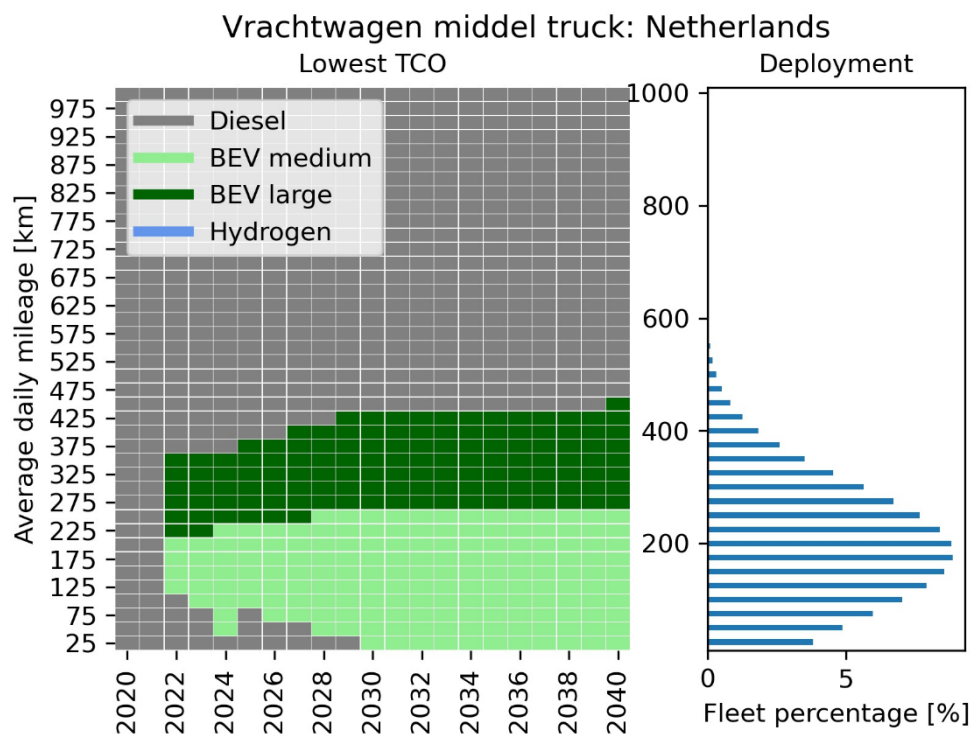


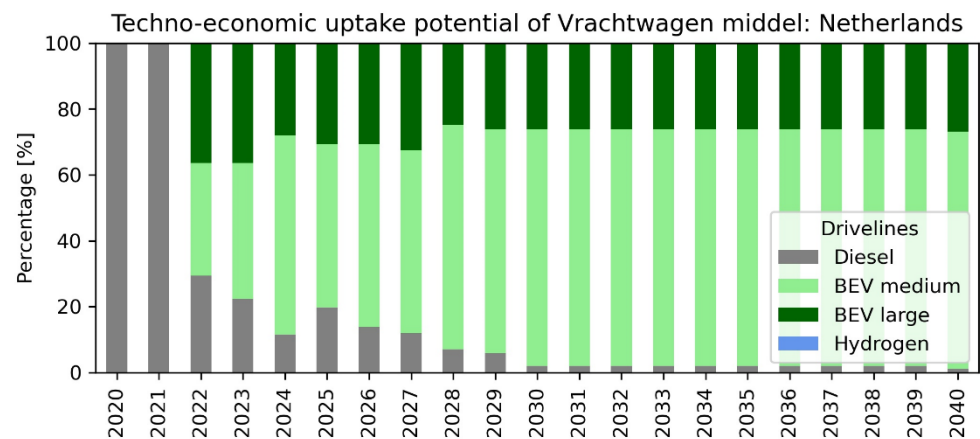


Figuur 18: Techno-economisch ingroeipotentieel van een lichte vrachtwagen in Nederland met vastgesteld beleid op basis van het TEHUP model.

#### 2.4.6.3 Vrachtwagen-middel

Voor middel zware vrachtwagens is de voorspelling dat richting 2030 alleen de maximale actieradius van de voertuigen een belemmerende factor zal zijn. Zo is te zien dat BEVs de laagste TCO hebben en dat vanaf de maximale actieradius van ongeveer 400 km (deze loopt op door aangenomen technische verbeteringen) diesel voertuigen de enige optie zijn (FCEV is niet gesimuleerd voor deze groep). Indien de hier gedimensioneerde truck uitgerust zou zijn met een grotere batterij zou het ingroeipotentieel hoogstwaarschijnlijk volledig ingevuld zijn door batterij elektrische trucks.

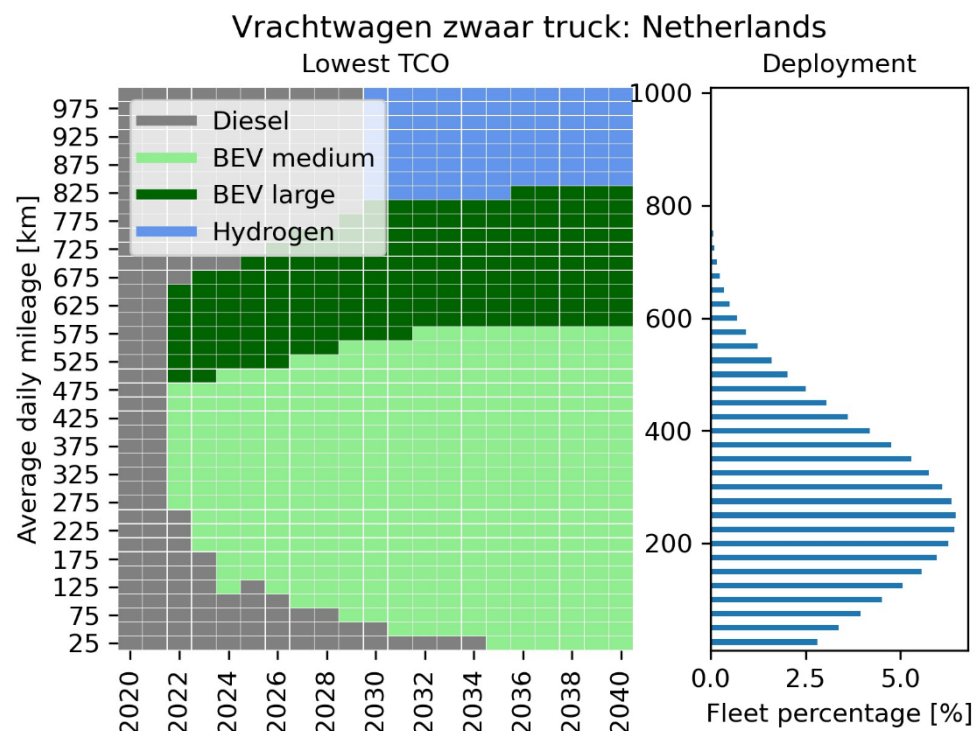




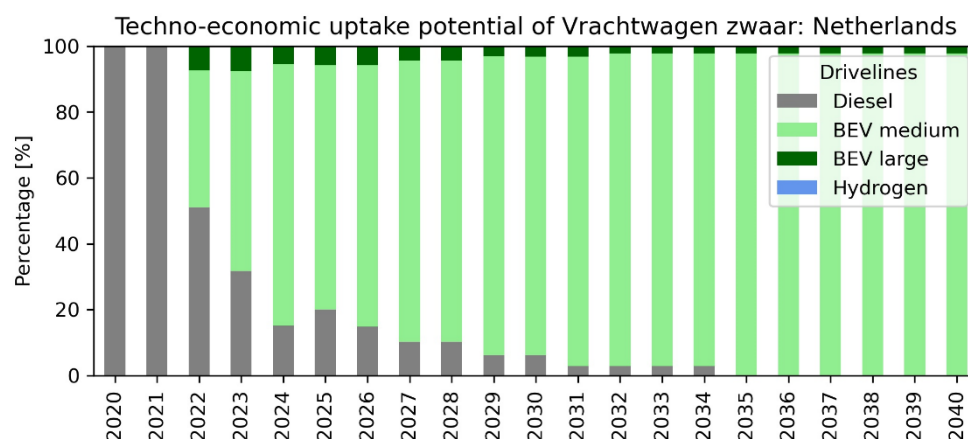
Figuur 19: Techno-economisch ingroeipotentieel van een middelzware vrachtwagen in Nederland met vastgesteld beleid op basis van het TEHUP model.

#### 2.4.6.4 Vrachtwagen zwaar

Figuur 20 laat de resultaten zien van de TCO analyse en bijbehorend ingroeipotentieel voor zware zero-emissievrachtwagens in Nederland. Vanaf 2022 is voor ca. 50% van de nieuwverkopen de zero-emissieaandrijving de goedkoopste optie. In 2035 is dit toegenomen tot 100%.







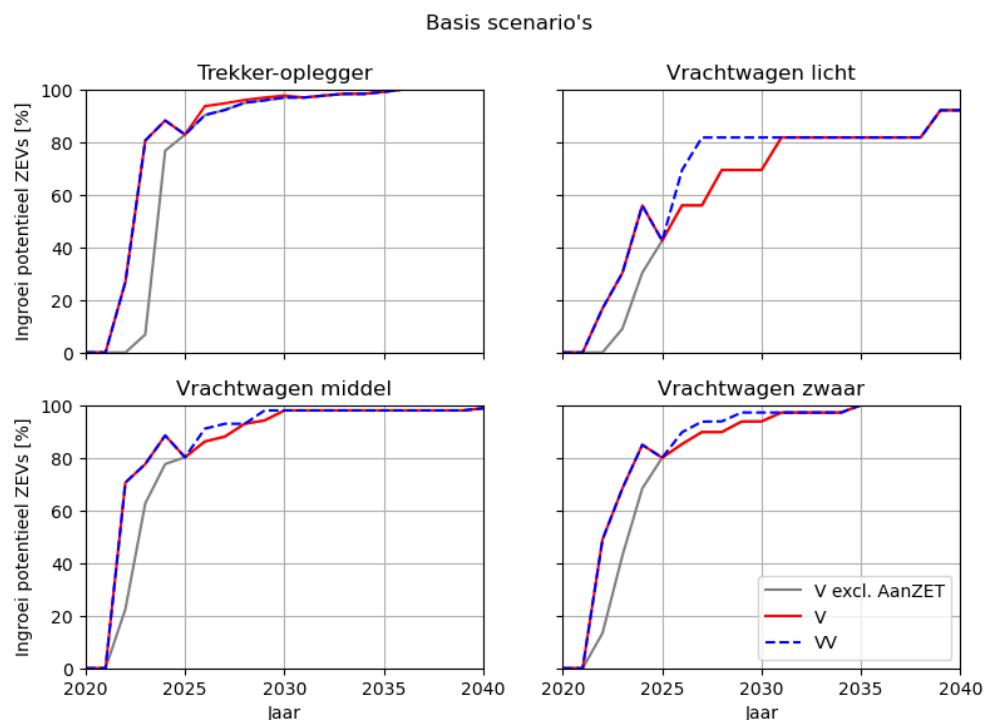
Figuur 20: Techno-economisch ingroei potentieel van een zware vrachtwagen in Nederland met vastgesteld beleid op basis van het TEHUP model.

#### 2.4.6.5 Vastgesteld en voorgenomen beleid

Het totaal beeld van de ingroei van zero-emissie voertuigen is weergegeven in Figuur 21. Hier zijn ook de scenario's zonder AanZET-subsidie en van vastgesteld en voorgenomen beleid gevisualiseerd. En is de ingroei elektrisch gedefinieerd als batterij elektrisch en FCEV.

Op basis van de omvang van het verkoopvolume per type truck, de berekende aanschafkosten en de vastgestelde budgetten (Tabel 3 en Tabel 4) is een inschatting gemaakt van het aantal vrachtwagens dat per voertuigtype kan worden gesubsidieerd.

De met TEHUP gemaakte inschatting laat zien dat in scenario 'vastgesteld beleid' de ingroeipotentie voor ZE-vrachtwagens aanzienlijk groter is dan het aantal voertuigen dat gebruik zou kunnen maken van de AanZET-subsidie. Er is daarom een extra analyse gedaan waarbij er geen subsidiebeleid is meegenomen. Behalve in 2022 voor vrachtwagen licht en trekker oplegger is het geraamde ingroeipotentieel dusdanig hoog dat ook deze groep niet volledig in aanmerking kan komen voor de subsidie. Voor de subsidieregeling op basis van de 'terugsluis' in de periode 2026 tot en met 2030 is een zelfde analyse gedaan. Ook hier geldt dat de ingroeipotentie in een scenario zonder subsidies groter is dan het aantal vrachtwagens dat van de subsidieregeling gebruik zou kunnen maken. Dit laat zien dat er op basis van TCO voor een groot deel van de toepassingen geen sprake is van een zogeheten 'onrendabele top'. Tegelijkertijd zijn er naast kosten verschillende factoren die eindgebruikers zullen meenemen in de beslissing welk type aandrijftechnologie zij zullen aanschaffen. Sommige van deze factoren zijn in het nadeel van zero-emissietechnologieën, zoals flexibiliteit en de noodzaak voor laadinfrastructuur. In dat geval kunnen subsidies ertoe bijdragen dat de extra risico's van de inzet van zero-emissietrucks economisch voldoende worden afgedekt waardoor ze de ingroei van zero-emissievrachtwagens toch kunnen stimuleren.

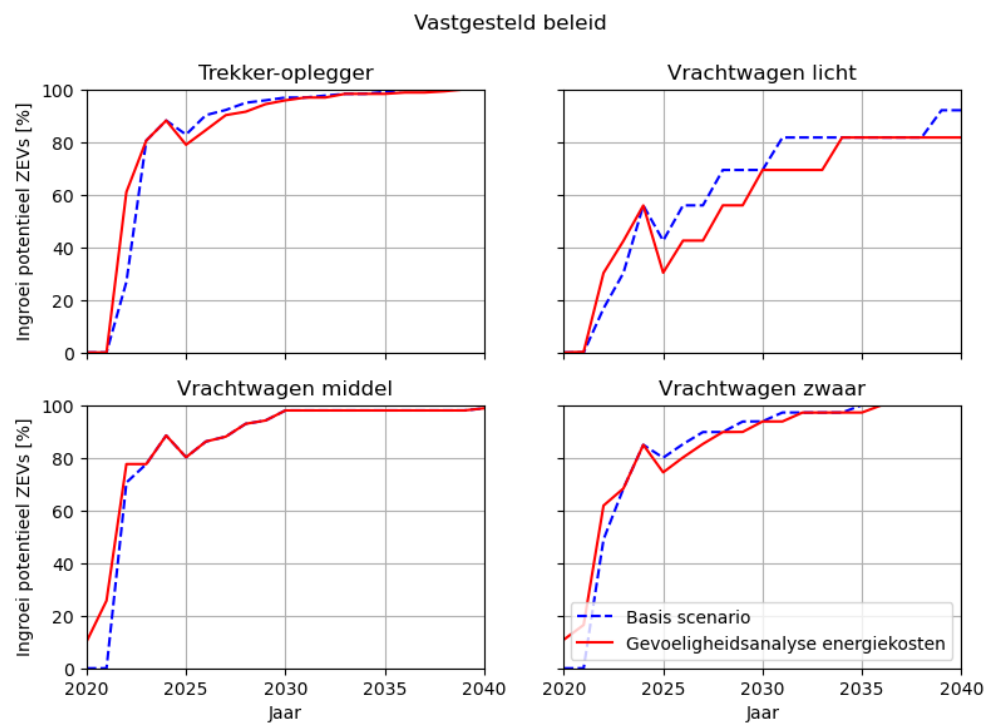


Figuur 21: Techno-economische ingroeipotentie van de scenario's vastgesteld (V) en vastgesteld en voorgenomen (VV) beleid op basis van TEHUP. Ook is er een analyse met het vastgestelde beleid waarbij er geen AanZET subsidie is meegenomen.

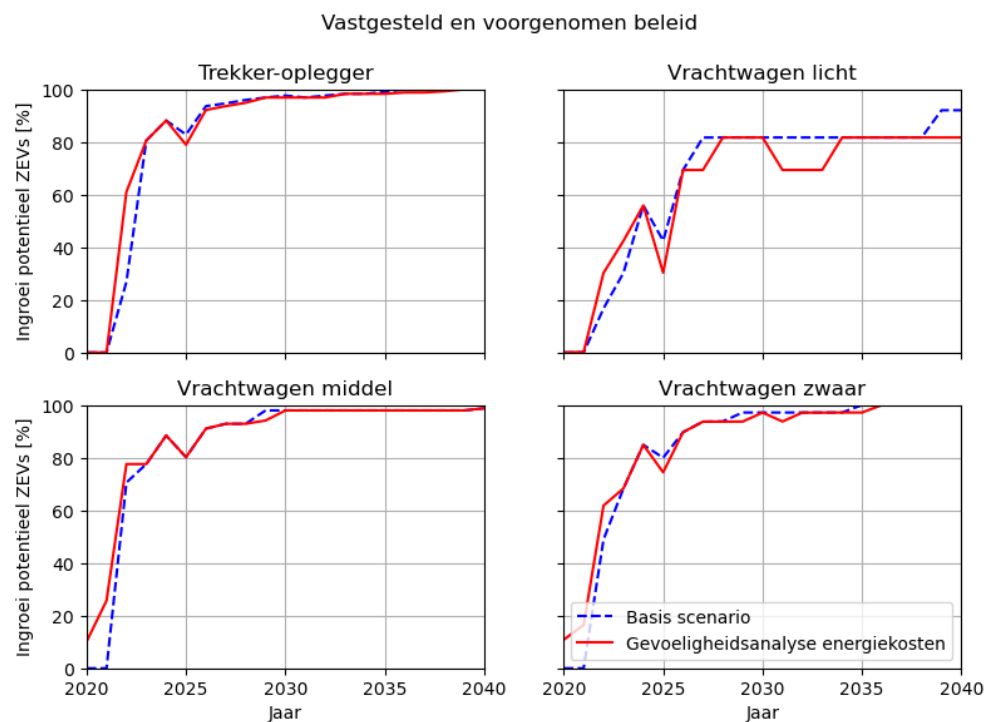
#### 2.4.6.6 Gevoeligheidsanalyse energiekosten

In Figuur 22 en Figuur 23 zijn de resultaten gevisualiseerd van resp. het vastgesteld beleid en vastgesteld en voorgenomen beleid voor de twee energiekostenscenario's zoals gedefinieerd in paragraaf 2.4.4. De kosten voor snel-laden en waterstof zijn in beide scenario's gelijk, verschillen tussen de dieselprijs en de prijs voor depotladen zijn dan de oorzaak van verschillen in ingroeipotentieel.

Op korte termijn, de periode tot 2025 is diesel in dit scenario goedkoper in het PBL-energiescenario, na 2025 is diesel duurder in het PBL energiescenario. Voor depotladen geldt juist het tegenovergestelde, tot 2025 is het tarief voor depotladen hoger in het PBL energiescenario en na 2025 is het lager. Op basis hiervan is de verwachting dat op korte termijn het ingroeipotentieel hoger is in het alternatieve scenario, na 2025 is dit juist andersom. In de onderstaande figuren is te zien dat deze verwachting overeenkomt met de resultaten. Daarnaast is het opvallend dat het verschil tussen beide energiescenario's relatief groot is voor de lichte vrachtwagen. Dit wordt veroorzaakt doordat de TCO's van de diesel en elektrische aandrijflijn dicht bij elkaar liggen. Een kleine verandering in de uitkomst van de TCO berekening kan een voordeel al snel doen omslaan in een nadeel of vice versa. Dit blijkt ook uit een vergelijking van Figuur 22 en Figuur 23 waaruit op te maken is dat de terugsluis subsidie voor vrachtwagen licht het grootste effect heeft.



Figuur 22: Gevoeligheidsanalyse energiekosten vastgesteld beleid. Basis is het scenario vastgesteld beleid met de PBL energieprijzen.



Figuur 23: Gevoeligheidsanalyse energiekosten vastgesteld en voorgenomen beleid. Basis is het scenario vastgesteld en voorgenomen beleid met de PBL energieprijzen

## 2.4.7 Conclusies en discussie

### 2.4.7.1 Conclusies

In sectie 2.4 zijn de resultaten beschreven van analyses naar het techno-economische ingroeipotentieel van elektrische trucks (batterij elektrisch en FCEV) met het TEHUP model. Uit de resultaten blijkt dat over de hele linie het ingroeipotentieel van met name batterij elektrische trucks groot is. De verwachting is dat dit potentieel voor 2025 80% van de nieuw verkochte trucks zal zijn met uitzondering van de lichte vrachtwagens waar dit potentieel rond 2035 behaald wordt.

Voor middelzware en zware vrachtwagens en voor trekker-opleggers lijkt vanuit techno-economisch perspectief 80% elektrische ingroeipotentieel mogelijk in 2023 oplopend tot 100% rond 2030. Voor de zware vrachtwagen en trekker-opleggers wordt dit voor een beperkt deel met FCEV ingevuld, resp. 0,02% en 1,2% in 2040. Indien er voertuigen komen met grotere batterijen dan hier aangenomen, zal dit aandeel FCEV nog kleiner zijn.

Het ingroeipotentieel van lichte vrachtwagens lijkt wat achter te blijven op de overige truck segmenten en het potentieel blijft na 2030 steken rond de 80%. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat bij een beperkte inzet er te weinig kilometers worden gemaakt om de meerkosten van de gedimensioneerde trucks te compenseren met lagere kosten per kilometer. Mogelijk kan dit worden ingevuld met een elektrische truck met een kleiner accupakket, dit is hier niet nader onderzocht.

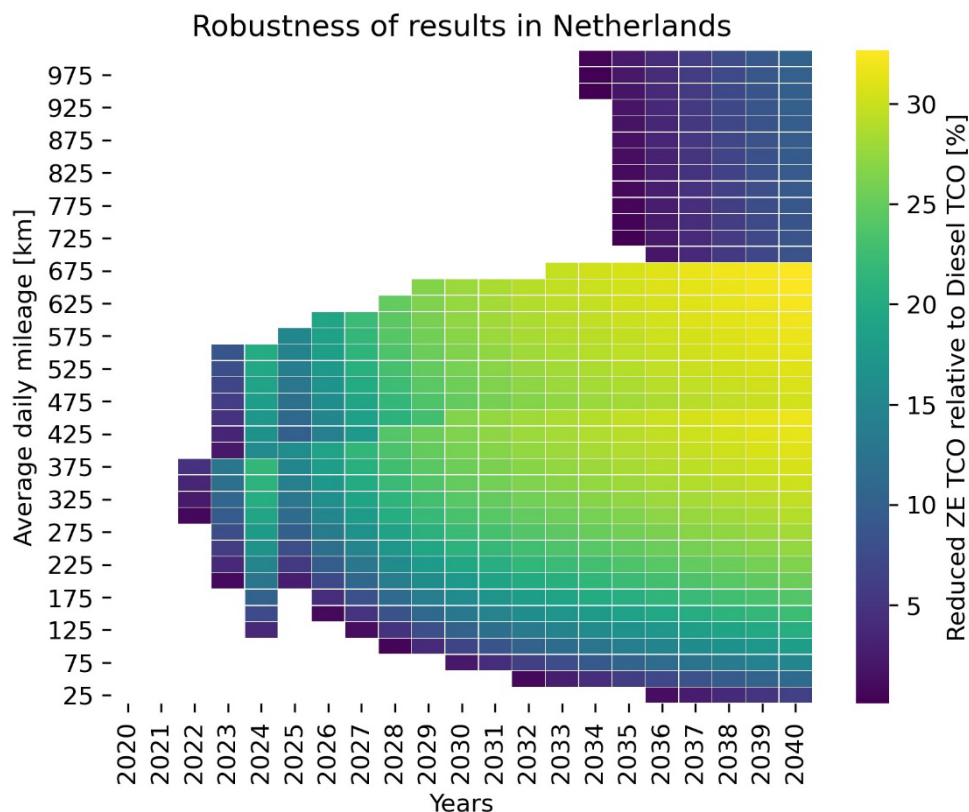
### 2.4.7.2 Discussie

De resultaten van de analyses zoals in deze notitie beschreven zijn afhankelijk van de aannames die zijn gedaan waaronder de dimensionering van de truck, energieprijzen en inzet. In de figuren 16 – 19 is te zien dat elektrische trucks onder deze aannames niet altijd voldoende actieradius hebben om toepasbaar te zijn bij hoge gemiddelde dagkilometrages. Indien er op termijn vraag zal zijn naar batterij-elektrische voertuigen met nog grotere actieradius, zou ook voor dergelijke voertuiginzet batterij-elektrisch de meest kosteneffectieve aandrijftechniek kunnen zijn. Dit zou ook het geval kunnen zijn als er langer of sneller geladen zou kunnen worden dan aangenomen. Voor beide gevallen geldt dat dit wel zal leiden tot een grotere vraag naar grondstoffen voor batterijen, naar meer laadinfrastructuur en een grotere belasting op het elektriciteitsnetwerk.

Uit vergelijking van de resultaten hier met de resultaten in eerder onderzoek (TNO, 2022a) blijkt dat de resultaten gevoelig kunnen zijn voor de dimensionering van de voertuigen. Relatief kleine variaties in de dimensionering kan er bijvoorbeeld toe leiden dat waterstof voor hoge gemiddelde dagkilometrages toch aantrekkelijk wordt. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit richting 2040 minder geldt voor batterij-elektrische trucks, zie ook Figuur 24.

In Figuur 24 is het TCO voordeel te zien van een elektrische trekker-oplegger (BEV of FCEV) ten opzichte van diesel equivalent. In combinatie met Figuur 17 kan opgemaakt worden dat een gemiddeld dagkilometrage van ca. 700 kilometer een batterij-elektrische truck goedkoper is en dat er hierna potentieel ontstaat voor brandstofcel elektrische trekker-oplegger trucks.

Ook is te zien dat het TCO voordeel van een batterij-elektrische truck ca. 30% is en dat het voordeel voor de FCEV truck beperkt is (ca. 5%). Dit laat zien dat als er een groter batterijpakket wordt aangenomen dan nu het geval is geweest de toepasbare range zal toenemen en batterij-elektrische trucks het deel dat nu wordt ingevuld met brandstofcel elektrische trucks zal kunnen overnemen op basis van de TCO.



Figuur 24: Relatieve TCO ten opzichte van diesel voor Trekker-oplegger bij vastgesteld beleid

Voor de hier uitgevoerde analyses is gebruik gemaakt van VECTO inzetprofielen. Uit de analyses blijkt dat de verhouding in energiegebruik tussen elektrisch en diesel onder meer afhankelijk is van de inzet. In een stedelijke inzet ('urban') is een elektrische truck efficiënter doordat er in dit profiel sprake is van relatief veel stops en de elektrische truck remenergie kan terugwinnen waar dit voor de dieseltruck niet kan. Naarmate er minder stops in de cycli zijn opgenomen neemt deze verhouding af. In de toekomst wordt nader onderzocht in welke mate VECTO cycli representatief zijn voor Nederlandse inzet.

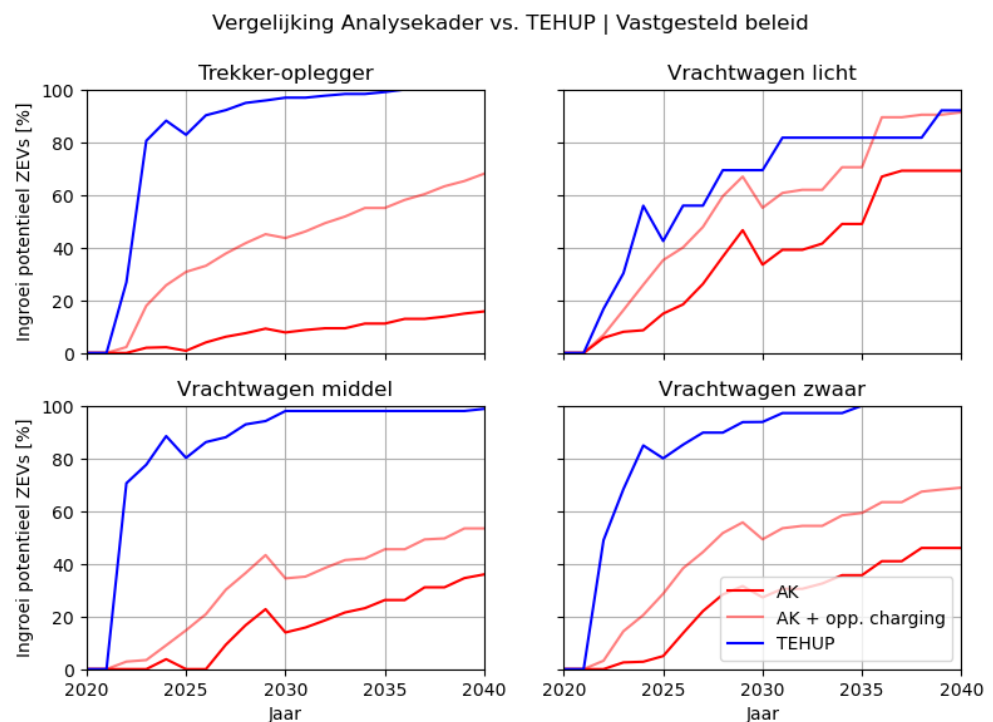
Het is niet de verwachting dat het hier berekende techno-economische ingroeipotentieel ook daadwerkelijk gerealiseerd wordt door factoren die de groei van elektrische trucks belemmeren. Deze meer 'softe' factoren zijn beschreven in paragraaf 2.6.

## 2.5 Vergelijking van resultaten

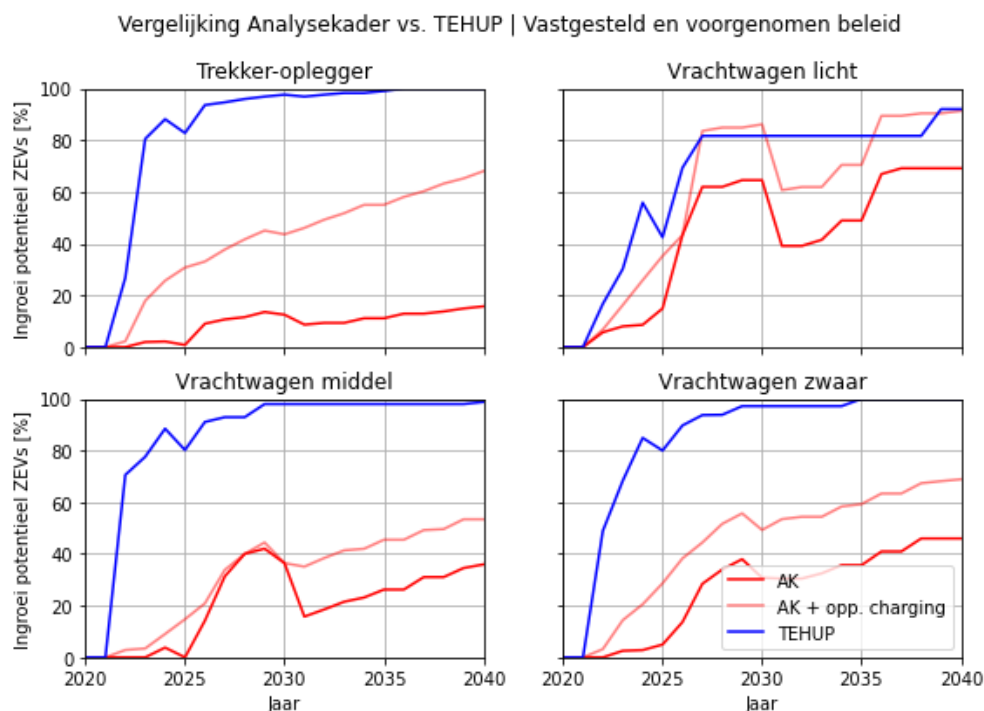
In deze paragraaf worden de resultaten van de analyses op basis van het Analyse kader vergeleken met de resultaten op basis van het TEHUP model.

In onderstaande figuren wordt telkens het vastgesteld en voorgenomen beleid gevisualiseerd op basis van zowel het Analyse kader bestel-vracht (AK) als op basis van het TEHUP model. In de hierna volgende sub paragrafen wordt op een aantal modelparameters de verschillen tussen beide modellen verder toegelicht.

Voor alle vrachtwagen segmenten geldt dat het ingroeipotentieel groter is in het TEHUP model. Voor de lichte vrachtwagen liggen de resultaten van beide modellen het dichtst bij elkaar. Dit is opvallend omdat het ingroeipotentieel van de lichte vrachtwagen in het TEHUP model het laagst is terwijl dit voor het Analyse kader het hoogst is.



Figuur 25: Ingroeipotentieel Analyse kader vs. TEHUP voor vastgesteld beleid



Figuur 26: Ingroeipotentieel Analyse kader vs. TEHUP vastgesteld en voorgenumen beleid

Voor de analyse met TEHUP is in paragraaf 2.4.6.2 aangegeven dat de lichte vrachtwagens niet veel kilometers maken. Hierdoor is het in vergelijking met andere vrachtwagens moeilijker om de hogere aanschafkosten van elektrische vrachtwagens terug te verdienen. Voor de overige vrachtwagens stijgt het techno-economisch potentieel in de periode tot en met ca. 2024 snel naar 80 tot 90% waarna de potentie langzaam verder groeit tot 100%. het ingroeipotentieel van de vrachtwagens die geanalyseerd zijn met behulp van het Analyse kader blijven daarbij ver achter.

In het vervolg van deze paragraaf is voor verschillende parameters een vergelijking gemaakt tussen het Analyse kader en het TEHUP model om de verschillen nader te duiden.

### 2.5.1 Voertuig dimensionering

Uit de analyses is gebleken dat de aangenomen actieradius van elektrische vrachtwagens veel impact heeft op het techno-economisch potentieel. In Tabel 16 zijn de batterijcapaciteiten waarmee de voertuigen zijn gedimensioneerd gegeven voor het TEHUP model en het Analyse kader. In het Analyse kader wordt uitgegaan van een batterijpakket dat toeneemt in de tijd terwijl in het TEHUP model de batterijcapaciteit gelijk gehouden is. Uit de tabel blijkt dat de elektrische vrachtwagens met de middelgrote batterijcapaciteit redelijk overeenkomen met de batterijgroottes zoals deze zijn aangenomen in het Analyse kader voor 2020 met uitzondering van vrachtwagen middelzwaar. In 2040 zijn de batterijgroottes in het Analyse kader toegenomen maar – met uitzondering van vrachtwagen middel – nog wel steeds kleiner dan voor de vrachtwagens met het grote batterijpakket.

Tabel 16: Batterijcapaciteit TEHUP vs. AK [kWh]

| Voertuig type           | TEHUP |       | AK   |      |
|-------------------------|-------|-------|------|------|
|                         | BEV-M | BEV-L | BEV  |      |
|                         | 2020  | 2020  | 2020 | 2040 |
| Lichte vrachtwagen      | 100   | 150   | 100  | 133  |
| Middelzware vrachtwagen | 125   | 200   | 280  | 373  |
| Zware vrachtwagen       | 350   | 569   | 350  | 467  |
| Trekker-oplegger        | 440   | 715   | 400  | 533  |

Ondanks dat de batterijgroottes voor de vrachtwagens met de middel batterijen redelijk overeenkomen, is de actieradius van de vrachtwagens zonder uitzondering groter dan het geval is in het Analyse kader, zie Tabel 17. Dit geldt voor zowel 2020 als voor 2040. Voor de vrachtwagens met de grote batterijpakketten is de actieradius in alle gevallen meer dan dubbel zo groot, waardoor de inzetbaarheid van de vrachtwagens zoals gedimensioneerd in TEHUP groter is.

Tabel 17: Actieradius TEHUP vs. AK

| Voertuig type           | TEHUP |      |       |      | AK   |      |
|-------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
|                         | BEV-M |      | BEV-L |      | BEV  |      |
|                         | 2020  | 2040 | 2020  | 2040 | 2020 | 2040 |
| Lichte vrachtwagen      | 200   | 260  | 300   | 390  | 100  | 150  |
| Middelzware vrachtwagen | 180   | 240  | 300   | 380  | 140  | 200  |
| Zware vrachtwagen       | 390   | 490  | 620   | 780  | 145  | 210  |
| Trekker-oplegger        | 350   | 430  | 560   | 700  | 165  | 240  |

### 2.5.2 Energiegebruik

In het TEHUP model wordt het energiegebruik van de trucks bottom-up gesimuleerd op basis van het ADVANCE model, hierin wordt ook het terugwinnen van energie meegenomen waardoor het elektrische vrachtwagens tot wel ruim drie keer zuiniger zijn dan conventionele vrachtwagens. In het Analyse kader is voor het energiegebruik gebruik gemaakt van schattingen gebaseerd op literatuur en is deze factor maximaal twee. Hiermee is het energiegebruik zoals gebruikt in het TEHUP model beter onderbouwd. Het effect hiervan is tweeledig, enerzijds is het relatieve verschil in kosten per kilometer tussen diesel en elektrische vrachtwagens groter in TEHUP (energiekosten per kilometer zijn lager voor elektrische vrachtwagens, en dit verschil wordt hierdoor groter) en daarnaast wordt voor dezelfde batterijcapaciteit ook de inzetbaarheid groter. Beide effecten zullen als gevolg hebben dat het techno-economisch potentieel toeneemt. Dit leidt tot een hoger ingroeipotentieel in het TEHUP model

### 2.5.3 Voertuiginzet

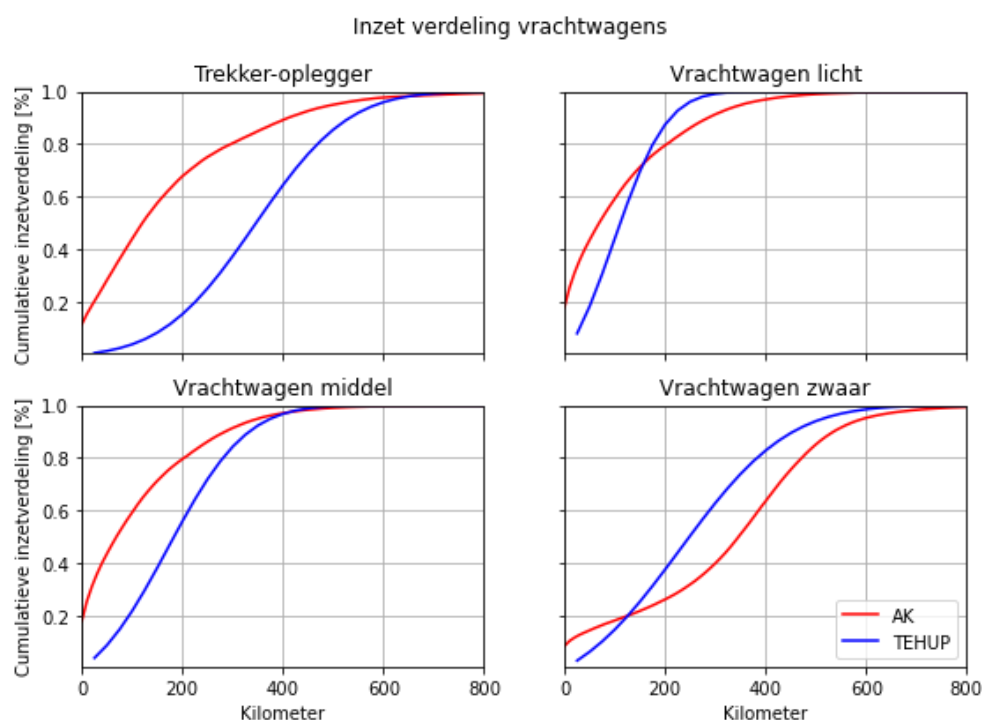
In Figuur 27 is de cumulatieve inzetverdeling zoals deze in beide modellen is meegenomen, gevisualiseerd. Uit de figuur blijkt dat voor trekker-oplegger en voor vrachtwagen middelzwaar in het Analyse kader (AK) de cumulatieve inzetverdeling harder oploopt dan het geval is in het TEHUP model. Voor vrachtwagen licht en zwaar geldt dit juist omgekeerd.

Deze verschillen kunnen worden verklaard doordat in het TEHUP model een extra analyse is gedaan op de inzet van voertuigen.



Daarnaast is in het TEHUP model gebruik gemaakt van de inzet in de eerste vijf jaar aangezien verwacht wordt dat de gebruikperiode is van de eerste eigenaar van de vrachtwagens. Ook is de inzet waarmee in TEHUP wordt gerekend genormaliseerd. In Figuur 8 en Figuur 9 is te zien dat er een piek zit rond de 25 kilometer per dag die bij de normalisatie wegvalt. Dit verschil leidt er toe dat in het Analyse kader – bij eenzelfde voertuig – de ingroeipotentie hoger kan zijn. Dit is echter ook afhankelijk van andere factoren zoals energiegebruik. Voor vrachtwagen licht en zwaar geldt dat de kilometrage verdeling na deze piek afvlakt waardoor deze achterblijft op de normaalverdeling.

Daarnaast valt op dat behalve voor vrachtwagen licht, voor alle vrachtwagen segmenten geldt dat het punt waarop de cumulatieve verdeling 100% bereikt ongeveer bij dezelfde kilometrages bereikt wordt.



Figuur 27: Cumulatieve inzetverdeling vrachtwagens AK vs. TEHUP

#### 2.5.4 *Laden*

In het TEHUP model is aangenomen dat voertuigen naast een volle batterijlading tot maximaal drie kwartier kunnen bijladen op 1C (laadvermogen waarbij de batterij in 1 uur volgeladen is) tot maximaal 350 kW. In het Analyse kader worden twee scenario's onderscheiden: één zonder bijladen (dus één volle batterij per dag) en één met bijladen (twee volle batterijen per dag). Dit is gegeven bovenstaande voorwaarden in combinatie met de gedimensioneerde vrachtwagens niet mogelijk in het TEHUP model. Dit kan leiden tot extra ingroeipotentie in de analyses met het Analyse kader.

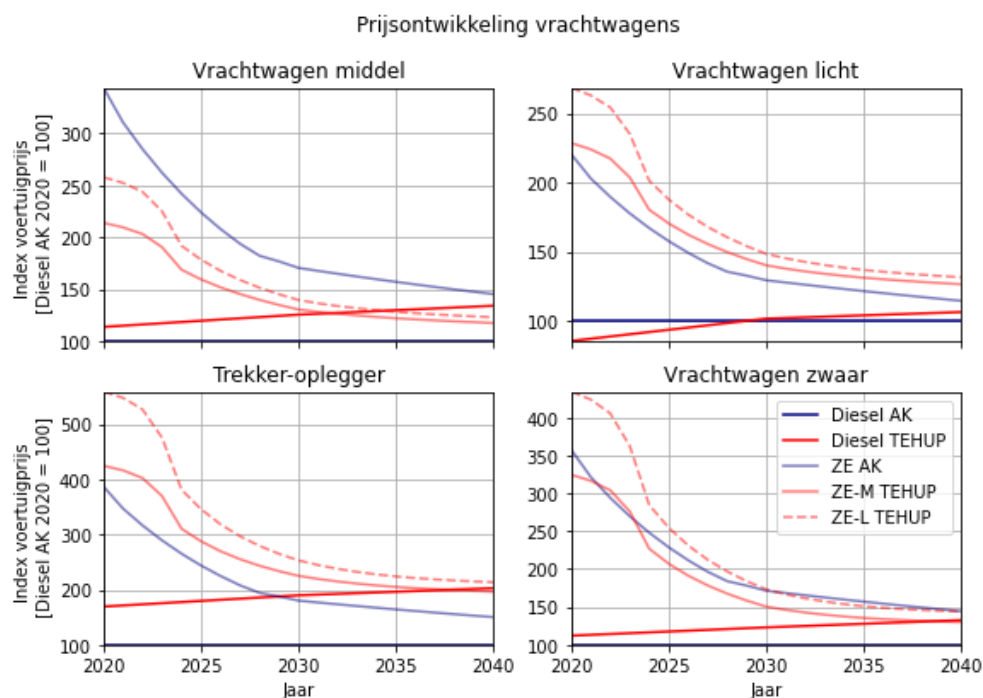
#### 2.5.5 *Kostenontwikkeling*

In 2.4.3 zijn de ontwikkelingen van de voertuigprijzen zoals meegenomen in het TEHUP model weergegeven.

In Figuur 28 zijn deze kostenontwikkelingen per vrachtwagen afgezet tegen de ontwikkeling uit het Analyse kader. Hierbij is voor ieder vrachtwagentype de prijs van de dieselvrachtwagen uit het Analyse kader in 2020 op 100 gesteld, en zijn de prijzen van de andere vrachtwagens hier tegen afgezet. In het TEHUP model is uitgegaan van een constante batterijcapaciteit over tijd terwijl in het Analyse kader is verondersteld dat de batterijcapaciteit in de tijd toeneemt.

Uit de figuur blijkt dat voor het TEHUP model geldt dat in 2040 voor alle vrachtwagens met uitzondering van de lichte vrachtwagen de prijzen van de elektrische vrachtwagens vergelijkbaar zijn met hun conventionele evenbeeld. Voor de lichte vrachtwagen is de berekende aanschafprijs in 2040 nog ca. 45% hoger dan de dieselvariant. Het Analyse kader laat juist een tegenovergesteld beeld zien, daar is de aanschafprijs van de lichte vrachtwagen het dichtst bij de prijs van de conventionele variant gekomen. Voor de overige vrachtwagens geldt dat deze in 2040 nog ca. 45% duurder zijn dan de dieselvarianten. Dit verschil kan worden verklaard door het verschil in aangenomen batterijprijsontwikkeling (zie 2.5.6) en het verschil in batterijcapaciteit.

Deze prijsontwikkelingen hebben een grote impact op de techno-economische ingroeipotentie van de specifieke vrachtwagens. Het relatief grote verschil in de prijs tussen de diesel trekker-oplegger in het Analyse kader en TEHUP kan worden verklaard doordat er in het TEHUP model voor de trekker-oplegger ook kosten voor de trailer meegenomen worden.

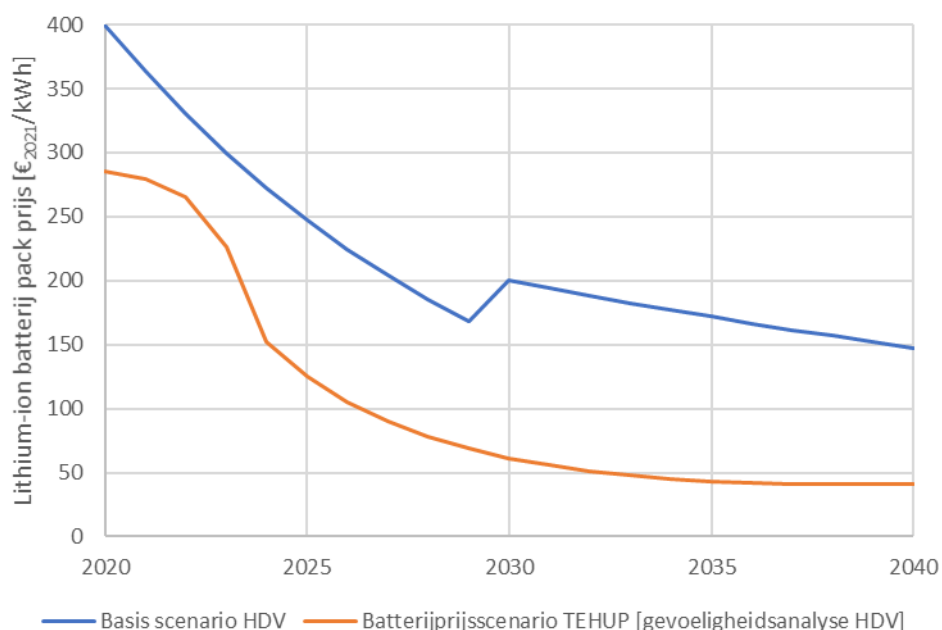


Figuur 28: Vergelijking kostenontwikkeling AK vs. TEHUP. Diesel 2020 AK = 100

### 2.5.6 Batterijprijsontwikkeling

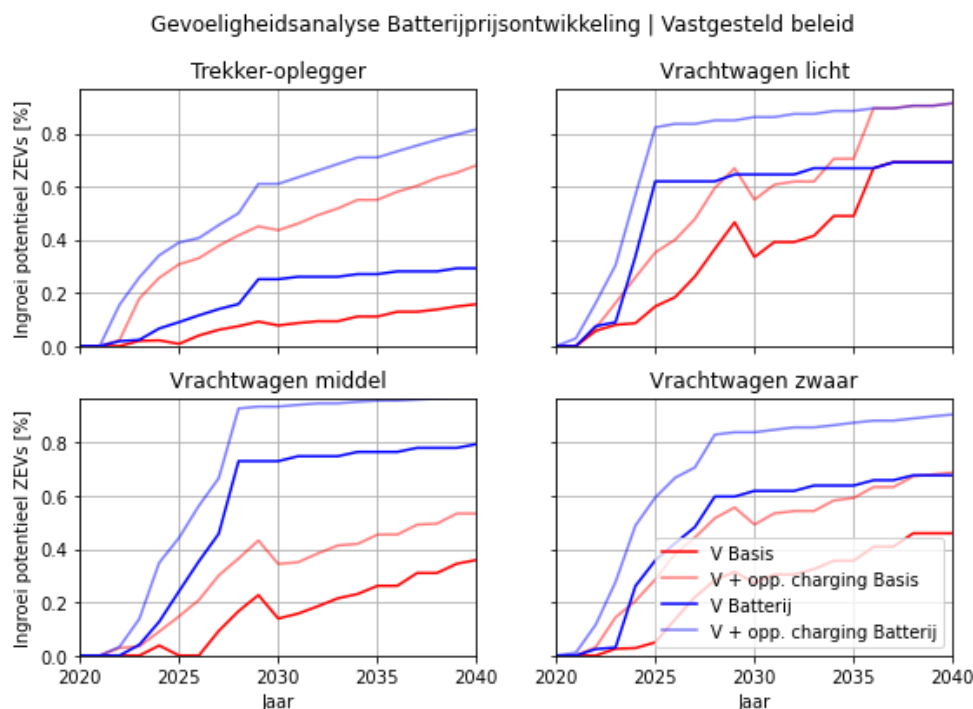
De batterijprijs is onderdeel van de voertuigprijs. In (TNO, 2022) is een nieuwe prijsontwikkeling voor batterijprijzen van elektrische vrachtvoertuigen ingeschat.

Deze nieuwe prijsontwikkeling is gebaseerd op een volumeontwikkeling waarbij deze prijzen gelden. Daarnaast is beter onderbouwd welke technologische ontwikkelingen verondersteld zijn. De nieuwe Deze prijsontwikkeling leidt tot significant lagere batterij prijzen dan aangenomen voor in het Analyse kader. Beide prijsontwikkelingen zijn opgenomen in Figuur 29. Doordat het aanbod van kritieke materialen de vraag niet kan bijhouden, in combinatie met onzekerheid in de markt als gevolg de oorlog in Oekraïne, zijn de prijzen van kritieke materialen die nodig zijn voor de productie van batterijen enorm gestegen. Het is de verwachting dat op termijn de prijzen op termijn zullen dalen maar het is onzeker op welke termijn dit het geval zal zijn. Dit kan er toe leiden dat de batterijprijzen minder snel zullen dalen als hier aangenomen.



Figuur 29: Batterijprijsontwikkeling voor zware vrachtoetuigen

Vanwege de grote verschillen tussen beide batterijprijsontwikkelingen is er hiervoor een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor het vastgestelde beleid met behulp van het Analyse kader. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn gevisualiseerd in Figuur 30. Wanneer de lagere batterijprijzen worden gebruikt, neemt de ingroeipotentie aanzienlijk toe en liggen de resultaten veel meer in de buurt van de resultaten op basis van het TEHUP model. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de resultaten erg gevoelig zijn voor voertuigprijsontwikkelingen en daarmee voor batterijprijsontwikkelingen.



Figuur 30: Gevoeligheidsanalyse batterijprijsontwikkeling met vastgesteld beleid op basis van het Analyse kader. Basis is het basis batterijprijs scenario. Batterij duidt de scenario's aan met de lagere batterijprijzen. In de "+ opportunity charging" scenario's is verondersteld dat gedurende de werkdag een volledige batterijlading bijgeladen wordt.

### 2.5.7 Conclusie

In sectie 2.5 zijn verschillende modelparameters toegelicht die naar verwachting het grootste deel van het verschil tussen de resultaten van het Analyse kader en het TEHUP model kunnen verklaren. De gevoeligheidsanalyse met een lagere batterijprijs laat zien dat dit veel effect heeft. Indien dezelfde batterijprijs wordt gebruikt, liggen de resultaten van beide modellen veel dicht bij elkaar. Daarnaast is gebleken dat de actieradius van de vrachtwagens zoals gedimensioneerd in het Analyse kader beperkt is waardoor het ingroeipotentieel achterblijft in een situatie waarbij het niet mogelijk is om de hele batterij gedurende de dag op te laden. Het verschil in actieradius wordt deels veroorzaakt door de batterijgroottes waarmee de voertuigen zijn uitgerust maar ook door het aangenomen energiegebruik. Uit de gevoeligheidsanalyse voor de energiekosten is gebleken dat dit beperkt effect heeft.

## 2.6 Belemmerende factoren en randvoorwaarden voor in de ingroei van uitstootvrij zwaar wegverkeer

Naast de factoren op basis waarvan het technische en economische ingroeipotentieel van zero-emissie (ZE) voertuigen is bepaald, zijn meerdere randvoorwaarden van belang voor de ingroei van ZE-voertuigen in het wagenpark. Deze randvoorwaarden hebben ieder een zekere mate van impact op de ingroei en kunnen een vertragend of juist een versnellend effect hebben. Daardoor verloopt de werkelijke ZE-ingroei en ook de ZE-vlootomvang anders wat er puur op basis van het techno-economisch potentieel kan worden verwacht.

In deze notitie worden 10 belangrijke randvoorwaarden beschreven (in willekeurige volgorde) en kwalitatief beoordeeld.

De randvoorwaarden zijn beoordeeld op,

- **Aandeel van de vloot:** hiermee wordt het aandeel van de vloot inschat waarop het belemmerende factor invloed heeft.
- **Termijn:** hierbij is beschreven of het effect vooral op korte termijn of op lange termijn van invloed is op de ingroei van zero-emissie voertuigen.
- **Vertraging:** de mate van vertraging op de ingroei.
- **Beleidsinvloed:** Hoeveel invloed kan er worden uitgeoefend op nationaal of Europees niveau om het negatieve effect te verkleinen.

In onderstaande tabel is een samenvatting gepresenteerd van de samenvattingen. Daarbij zijn kleur (groen: klein effect, oranje: behoorlijk effect en rood: groot effect) gebruikt om de relevantie aan te duiden. In de secties hieronder is ieder aspect en de daarbij behorende overwegen beschreven in meer detail.

Tabel 18: Factoren die de ingroei van elektrische vrachtvoertuigen kunnen belemmeren

|                                | Impact op ingroei termijn                                                                                                                                   | Kans dat dit voorkomt                                                                                                                         | Risico / kans die ontstaat                                                          | Invloed                                                                                 |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Productie capaciteit           | Grote impact want voertuigen moeten te koop zijn en ook invloed op de prijs. Vooral relevant in de opstart fase.                                            | Beperkt, bestaande productielijnen kunnen worden gebruikt.                                                                                    | Klein                                                                               | Invloed op Europees niveau (Bijvoorbeeld, ZE mandate, CO <sub>2</sub> normen).          |
| Materiaal schaarste            | Grote invloed maar zeer onzeker en onvoorspelbaar. Op dit moment een vertragende en kostenverhogende factor. Onvoorspelbaar Afhankelijk van de schaarste.   | Verwachting is dat het op midden-lange-termijn wordt opgelost maar blijft onzeker.                                                            | Aanzienlijk voor korte termijn.                                                     | Beperkt invloed. Grotere vraag creëert meer aanbod.                                     |
| Infrastructuur & Netcapaciteit | Zeer groot. Beperkte infrastructuur resulteert in beperkte FCEV en BEVs. Vertraging door netcapaciteit loopt momenteel al op tot >5 jaar.                   | Er is wetgeving in de maak voor openbare laad en tank infra.                                                                                  | Groot.                                                                              | Invloed op nationaal niveau. Prioriteren van netaansluiting. Regels voor netbeheerders. |
| Fysieke ruimte                 | Beperkt. Kan voor kleine distributeurs een probleem zijn. Wanneer een groter deel elektrisch is, is meer ruimte nodig.                                      | Onbekend.                                                                                                                                     | Onbekend.                                                                           | Onbekend.                                                                               |
| Personeel (onderhoud)          | Beperkt. Korte-termijn probleem tot er voldoende geschoold personeel is. Beperkt als onderhoudsintensiteit meevalt.                                         | Aanzienlijk, gezien de huidige personeelskrapte.                                                                                              | Aanzienlijk.                                                                        | Invloed op nationaal niveau.                                                            |
| Merk-loyaliteit                | Beperkt. De meeste merken zijn bezig met ZE voertuigen. Korte-termijn tot meer modellen beschikbaar komen                                                   | Beperkt. Zeker als concurrentie groeit als BEVs of FCEVs goedkoper worden.                                                                    | Beperkt.                                                                            | Beperkt invloed                                                                         |
| Flexibiliteit                  | BEV en FCEV hebben een door kortere actieradii een impact op de hoeveelheid ritten welke ZE kunnen worden uitgevoerd.                                       | Groot vooral op korte termijn. Op lange termijn kunnen optimalisatie processen of veranderingen in logistieke concepten de impact verkleinen. | Verbeteringen in accutechniek verkleinen het risico.                                | Sturen op oplossingen voor uitdagende lange-afstandsritten.                             |
| Terughoudendheid               | Beperkt. Op korte termijn wel vertragend door 'range-anxiety' of onzekerheid over levensduur. Zeker als positieve ervaringen van 'early-adopters' ontstaan. | Groot op korte termijn omdat een nieuwe techniek bedrijfsrisico's met zich meebrengt.                                                         | Vooraf voor logistieke dienstverleners met een kleine vloot een vertragende factor. | Beperkt. Informatieverstrekking, pilots etc.                                            |
| Energiekosten onzekerheid      | Neutraal (kan positief of negatief zijn).                                                                                                                   | Groot, energiekosten kunnen erg variëren.                                                                                                     | Aanzienlijk op korter termijn.                                                      | Invloed op nationaal niveau via belastingen en subsidies.                               |

Tabel 19: Factoren die de ingroei van elektrische vrachtvoertuigen kunnen versnellen

|                                                                                   | Impact op ingroei termijn                                             | Kans dat dit voorkomt                                                                                                                                       | Risico / kans die ontstaat     | Invloed                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Energiekosten<br>onzekerheid                                                      | Neutraal (kan positief of negatief zijn).                             | Groot, energiekosten kunnen erg variëren.                                                                                                                   | Aanzienlijk op korter termijn. | Invloed op nationaal niveau via belastingen en subsidies. |
| Additioneel beleid (zoals ZE-zones)                                               | Aanzienlijk voor bepaalde categorieën die regelmatig in de stad komen | Aanzienlijk, kans van invoering is groot.                                                                                                                   | Aanzienlijk                    | Aanzienlijk                                               |
| Bereidheid van consumenten en bedrijven om meerprijs te bepalen voor ZE-logistiek | Beperkt                                                               | Beperkt onder huidige omstandigheden: in het geval van meerkosten als gevolg van het gebruik van ZE-transport is moeilijk duidelijk te maken aan consument. | Beperkt                        | Beperkt                                                   |

## 2.6.1 *Beschikbaarheid*

### 2.6.1.1 *Aanbod*

Het aanbod van zero-emissietrucks is afhankelijk van de vraag naar zero-emissietrucks bij actuele marktprijzen en de mate waarin fabrikanten genoodzaakt zijn om zero-emissietrucks te fabriceren bijvoorbeeld vanwege (Europese) wetgeving.

De marktprijzen zijn momenteel hoog als gevolg van

- schaarste aan materialen, personeel
- kleine productieschaal waardoor het productieproces (van componenten en voertuigen) relatief arbeidsintensief is
- het doorrekenen van gemaakte kosten bijvoorbeeld als gevolg van de ontwikkelingen van nieuwe technologieën.

Naast de hoge kosten zijn er meer factoren die maken dat de vraag naar zero-emissietrucks nog beperkt is. Dit gaat bijvoorbeeld om onzekerheid over de inzet mogelijkheden vanwege de beperktere actieradius en de beperkte hoeveelheid beschikbare laadinfrastructuur voor vrachtwagens. Bovendien leidt de snel ontwikkelende batterijtechnologie ertoe dat de kosten en actieradius van elektrische trucks snel verbeteren waardoor het in bepaalde gevallen economisch verstandiger is om de aanschaf van dergelijke trucks uit te stellen.

Daarnaast geldt dat fabrikanten bij de CO<sub>2</sub>-normen in het vaststaande beleid niet genoodzaakt zijn om nu al aanzienlijke hoeveelheden trucks te verkopen met zeer lage of geen CO<sub>2</sub>-emissies. Als gevolg hiervan is het aanbod van trucks op elektriciteit en waterstof nog zeer beperkt.

De verwachting is dat de kosten van zero-emissietrucks op termijn aanzienlijk zal afnemen, doordat schaarste en productieschaal voordeliger zullen worden. Bovendien zal de inzetbaarheid vergroten door grotere actieradius en meer laadinfrastructuur.

Echter, vanwege de hoge investeringen die in het verdelen zijn gedaan en de risico's die de overgang naar nieuwe technologieën (bijvoorbeeld nieuwe investeringen), is het voor fabrikanten wenselijk om dieseltrucks te blijven verkopen. Als gevolg hiervan zou het aanbod kunnen achterblijven bij de vraag. Indien de aangekondigde herziening eind 2022 van Europees beleid leidt tot lagere de CO<sub>2</sub>-normen, kan dit een extra driver worden voor het opschalen van het aanbod. Het effect van deze driver zal erg afhangen van de hoogte van de normen. Aangezien er nog geen zicht is op de toekomstige normen, is het niet mogelijk om te bepalen hoe dit effect zal hebben op het aanbod van zero-emissietrucks

### 2.6.1.2 *Productie*

Om een groot aandeel van ZEV's in het wagenpark van zware bedrijfsvoertuigen te realiseren moeten de fabrikanten voldoende voertuigen produceren om aan die vraag te voldoen. Dit vergt veranderingen in de totale voertuigproductieketen, van onderdelenfabrikanten tot eindassemblage. Momenteel zijn de productievolumes van vrachtwagens met nul-emissies zo beperkt dat bepaalde onderdelen in beperkte batches worden geproduceerd en de assemblage gedeeltelijk buiten de



geautomatiseerde standaardproductielijnen om gebeurt. Dit resulteert in hogere kosten en lagere volumes.

#### 2.6.1.3 *Materialen*

Voor de productie van cruciale zero-emissie onderdelen zoals batterijen en brandstofcellen zijn kritische materialen nodig die wereldwijd in een beperkt aantal landen worden gewonnen en verwerkt (IEA, 2021). Het onvermogen van het grondstoffenaanbod om de vraag bij te houden, mede als gevolg van de huidige situatie in Oekraïne, heeft geleid tot een enorme prijsstijging voor essentiële batterijmaterialen zoals nikkel, kobalt en lithium.

Verwacht wordt dat deze prijsstijging de productie van materialen zal doen toenemen omdat deze winstgevender wordt. Verwacht wordt dat deze extra vraag een dempend effect zal hebben op de materiaalprijzen. De omvang van dit effect en de termijn waarbinnen het kan worden verwacht blijven onzeker.

Het (tijdelijke) tekort aan kritieke materialen leidt niet alleen tot een stijging van de productiekosten. Dergelijke tekorten kunnen echter ook leiden tot een beperking van het aantal geproduceerde voertuigen en dus van de beschikbaarheid van emissievrije vrachtwagens. Dit kan de daadwerkelijke invoering ervan beperken.

#### 2.6.2 *Infrastructuur*

Eindgebruikers van emissievrije vrachtwagens hebben infrastructuur nodig om hun voertuigen op te laden of bij te tanken. Technologische ontwikkelingen om het laadvermogen van opladers en de waterstofstroom te verhogen zijn aan de gang en zien er veelbelovend uit. Laadvermogens tot 1 MW en hoger worden momenteel al getest. Dit zou vrachtwagens in staat stellen tijdens de verplichte pauzes van 45 minuten voldoende op te laden om nog 4,5 uur door te rijden tot de volgende verplichte pauze. Ook de stromingsniveaus van waterstof worden verbeterd om de vereiste bijval te verkorten.

Om het vermogen te kunnen leveren dat door de opladers technisch gezien kan worden geleverd, moet het elektriciteitsnet echter voldoende capaciteit hebben op het vereiste tijdstip en de vereiste plaats. Momenteel is die capaciteit niet beschikbaar op veel plaatsen waar opladers nodig zullen zijn, zoals verzorgingsplaatsen, 'overnight truck parking', bedrijventerreinen en particuliere opslagplaatsen. De modernisering van het elektriciteitsnet vergt aanzienlijke investeringen in tijd en budget. Wanneer dit niet tijdig wordt gerealiseerd kan dit ook de invoering van batterij-elektrische vrachtwagens vertragen. Positief is dat andere sectoren, zoals de industrie en de gebouwde omgeving, waarschijnlijk ook behoefte hebben aan modernisering van het elektriciteitsnet om de energietransitie mogelijk te maken. De keerzijde is echter dat beperkte middelen ertoe kunnen leiden dat deze andere sectoren moeten concurreren om de netten te versterken. Zo is onlangs in Limburg en Noord-Brabant al een stop gezet op nieuwe aanvragen van aansluitingen op het netwerk vanwege capaciteitsproblemen.<sup>21</sup>

Ook voor waterstof kan de distributie een grotere uitdaging zijn dan het realiseren van tankstations met een voldoende hoog afzetcapaciteit. Waterstof kan worden

---

<sup>21</sup> [Stroomnetwerk Limburg en N-Brabant vol, nieuwe bedrijven niet aangesloten | NOS](#)

vervoerd in vrachtwagens met tube-trailers, via pijpleidingen of het kan lokaal geproduceerd worden met (duurzame) elektriciteit.

Vrachtwagens met tube-trailers kunnen slechts relatief kleine hoeveelheden waterstof vervoeren, waardoor vele retourritten nodig zijn van de waterstofbron en het tankstation. Distributie via pijpleidingen is alleen mogelijk op locaties waar het station voldoende dicht bij een pijpleiding ligt die ook voor andere doeleinden wordt gebruikt, zoals de industrie. Zelfs dan zal de waterstof waarschijnlijk moeten worden gezuiverd om in brandstofcellen te kunnen worden gebruikt. Voor lokale productie is voldoende elektrische stroom nodig, die ook nu niet beschikbaar is op locaties waar tankstations nodig zijn. Naast elektriciteit zou een dergelijke locatie ook opslagcapaciteit voor waterstof vereisen.

### 2.6.3 *Acceptatie door eindgebruikers*

#### 2.6.3.1 *Fysieke ruimte voor laadpunten*

Voor batterij-elektrische vrachtwagens zullen de meeste voertuigen 's nachts worden opgeladen bij of in de buurt van particuliere depots. Hierdoor kan een lagere energieprijis worden gerealiseerd dan aan de openbare snelladers. Dit betekent dat er voldoende fysieke ruimte nodig is om alle voertuigen in de buurt van een lader te parkeren, en gedurende een lange periode (ongeveer acht uur) op te laden. Dit zal niet op alle locaties het geval zijn.

#### 2.6.3.2 *Onderhoud*

Sommige transportbedrijven onderhouden hun eigen wagenpark. Zodra er ZE-vrachtwagens in hun vloot komen, zal het onderhoudspersoneel geschoold moeten zijn om twee of mogelijk zelfs drie verschillende soorten aandrijflijnen te onderhouden. Tegelijkertijd moet er voor al deze aandrijflijnen onderhoudsapparatuur beschikbaar zijn.

#### 2.6.3.3 *Merk-loyaliteit*

Vooraf in de beginfase van de overgang naar zero-emissievrachtwagens is het mogelijk dat niet alle van alle merken in dezelfde mate voertuigen beschikbaar zijn die voldoen aan de eisen van bepaalde eindgebruikers. Vanwege loyaliteit aan een bepaald merk of voorkeur voor een bepaald merk kunnen eindgebruikers terughoudend zijn bij de aanschaf van ZE-vrachtwagens totdat deze van dat specifieke merk beschikbaar zijn.

#### 2.6.3.4 *Flexibiliteit*

Zoals geconcludeerd in de bovenstaande analyse, zullen batterij-elektrische aandrijvingen op termijn waarschijnlijk een toepasbare en de goedkoopste technologie zijn voor een groot deel van de vrachtwagenvloot. Ondanks dat het voertuiggebruik nauwkeurig is geanalyseerd, betreft het een vereenvoudiging van de werkelijkheid. In de werkelijkheid kan het bijvoorbeeld zijn dat een bepaalde rit op het laatste moment wordt gewijzigd of verlengd. Als met een dergelijke wijziging geen rekening is gehouden, is het mogelijk dat de truck niet voldoende is opgeladen om die extra rit te dekken zonder dat er extra tijd nodig is voor het opladen. Terwijl dit op basis van gemiddelde dag-afstanden wel verwacht was. In vergelijking met dieselveertuigen en in mindere mate waterstofvoertuigen vereisen batterij-elektrische vrachtwagens een striktere planning vanwege hun beperkte actieradius.

Dit probleem is vooral op bedrijfsniveau zichtbaar en niet wanneer de situatie op vlootniveau wordt beschouwd. Bedrijven moeten in de toekomst, het bedrijfsproces optimaliseren met deze extra afstandsbeperking. Hoe kleiner het bedrijf is hoe groter die opgave is. Daar komt bij dat de aankoop van een vrachtwagen met meer batterijcapaciteit zorgen voor meer flexibiliteit, maar deze flexibiliteit gaat wel ten koste van de prijs. Door de grotere batterij zullen deze voertuigen duurder zijn en het hogere gewicht vermindert de energie-efficiëntie. Logistieke bedrijven zouden er daarom voor kunnen kiezen om te wachten tot de kosten en het gewicht van de batterij zijn gedaald om vrachtwagens met een grotere batterij voor dezelfde prijs aan te schaffen. In feite zou dit de overgang vertragen.

#### 2.6.3.5 *Terughoudendheid voor nieuwe technieken*

Dieselve vrachtwagens zijn in Europa al vele decennia de norm. Het is een volwassen en betrouwbare technologie. Overschakelen op een nieuwe technologie met (vermeende) opstartproblemen kan sommige eindgebruikers afschrikken, ook al is deze nieuwe technologie goed toepasbaar en betaalbaarder dan conventionele dieselaandrijvingen.

Daardoor zal in de begin jaren met name de 'early-adopters' instappen op deze nieuwe technieken. Overschakelen en testen van de nieuwe aandrijflijnen is ook makkelijker voor grotere logistieke partijen. De grotere bedrijven kunnen met een relatief kleiner deel van de vloot ervaringen opdoen en ook het risico verkleinen.

Hierbij speelt het vervangingstempo van de voertuigen ook een rol. Dit is voor veel bedrijven ca. 5 tot 8 jaar. Bedrijven met een grotere vloot vervangen dus iedere jaar 1/8<sup>ste</sup> van de vloot. Voor ZZP'ers of kleine vervoerders kan de vervangingscyclus net verkeerd uitvallen om nog niet een stap te durven maken naar elektrisch, waardoor de groei vertraagt.

#### 2.6.3.6 *Onzekerheid over energiekosten ontwikkelingen*

Ontwikkelingen in energieprijzen zijn inherent onzeker. Zoals uiteengezet in paragraaf 2.3.3 variëren de energieprijzen in de tijd. Daarom beïnvloeden prijsveranderingen in de toekomst de TCO van een in het heden gekochte vrachtwagen. In het jaar van aankoop kan een dieselve vrachtwagen bijvoorbeeld een lagere TCO hebben dan een FCEV, uitgaande van de prijsniveaus in dat jaar. Maar als de prijsontwikkeling over een periode van vijf jaar in aanmerking wordt genomen, kan de TCO van de FCEV gunstiger zijn dan die van de dieseltruck.

Dit effect is verwerkt in het TCO-model, aangezien het technisch-economisch potentieel wordt geëvalueerd over de eerste gebruiksperiode van de truck. Hoewel de resultaten vrij robuust zijn, dat wil zeggen dat de gevoeligheid voor afwijkingen van het centrale scenario beperkt is, kan een potentiële investeerder worden afgeremd om in nieuwe technologie te investeren.

## 2.7 Referenties

- BNEF. (2021). 2021 Lithium-Ion Battery Price Survey: Rising commodity prices starting to bite.
- Cuelenaere, R., & et al. (2021). Achtergrondnotitie over beprijzings- en normeringsmaatregelen voor reductie van de NOx emissies in de mobiliteit. TNO 2021 R10450.
- Energie, N. (2021). Vervolgonderzoek veiligheidsrisico's biobrandstoffen gebruik in binnenvaart. [www.nen.nl/energie](http://www.nen.nl/energie). 17 december 2021.
- ICCT. (2019). CO<sub>2</sub> standards for heavy-duty vehicles in the European Union. Brussels: ICCT.
- ICCT. (2022). Cost of renewable hydrogen produced onsite at hydrogen refueling stations in Europe.
- IEA. (2021). The Role of Critical Mineral in Clean Energy Transitions: World Energy Outlook Special Report.
- IEA. (2021). World Energy Outlook 2021.
- IEA. (2022). Global EV Outlook 2022: securing supplies for an electric future.
- (2019). Interdepartementaal beleidsonderzoek (IBO). Eindrapport Luchtkwaliteit.
- Mensch, P. v., Merriënboer, S. v., Tol, D., Rondaij, A., Harmsen, J., & Fransen, R. (2022). Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw. TNO 2022 R11048.
- National Renewable Energy Laboratory. (2021). Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2021 Update. Golden, CO: National Renewable Laboratory.
- NEN. (2021). Vervolgonderzoek veiligheidsrisico's biobrandstoffen gebruik in binnenvaart. [www.nen.nl/energie](http://www.nen.nl/energie).
- PBL. (2022). Klimaat- en Energieverkenning 2022. Den Haag.
- TNO. (2019). Effectbepaling van een vrachtwagenheffing en verschillende terugsluismaatregelen op de wagenparksamenstelling en emissies van het vrachtverkeer in Nederland. TNO R11725v2.
- TNO. (2020). Programma aanbesteding Innovaties in de Kustlijnzorg.
- TNO. (2021). Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel- en vrachtvoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040. TNO R11987.
- TNO. (2022). Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw.
- TNO. (2022). Verkenning duurzaamheidsopties zoete waterbouwwloot.
- TNO. (2022a). Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe. TNO R11862.
- TNO. (2022b). The potential of e-fuels for heavy duty road transport in the Netherlands. TNO.
- Verbeek, R., Karaarslan, S., Quispel, M., & Tachi, K. (2020). Impact assessment biobrandstoffen voor de binnenvaart. <http://publications.tno.nl/publication/34637419/wHTZ8b/TNO-2020-R11455.pdf>: TNO 2020 R11455.
- Vonk, W. (2020). Factsheets stikstofmaatregelen mobiliteit. Ministerie IenW: Referentie TNO 2022 R10644, 2020-STL-RAP-100332271.

Wilde, H. d., Eijk, E. v., Verbeek, M., Gijlswijk, R. v., Daey Ouwens, J., Verbeek, R., . . . Ligterink, N. (2020). TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2019 NRMM, Binnenvaart en Zeevaart. TNO 2019 P12134.

## 3 Non Road Mobile Machinery

*Auteurs: Pim van Mensch, Annette Rondaij*

### 3.1 Inleiding

Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een zeer breed spectrum aan machines, die niet behoren tot de categorieën wegvoertuigen, schepen of vliegtuigen<sup>22 23</sup>. NRMM is een relevante bron van zowel CO<sub>2</sub> als luchtverontreinigende stoffen.

Het doel van dit hoofdstuk is het duiden van de belangrijkste trends en inzichten in de sector NRMM en de invloed hiervan op de emissies van CO<sub>2</sub> en luchtverontreinigende stoffen. De focus ligt hierbij op de emissies van bouwmachines, omdat voor deze categorie mobiele werktuigen de grootste beleidsontwikkelingen spelen. Dit hoofdstuk draagt zowel bij aan de onderbouwing van de Klimaat- en Energieverkenning 2022 (KEV 2022) als aan de *Emissieramingen Luchtverontreinigende stoffen*, die PBL heeft toegevoegd aan KEV 2022. De KEV wordt jaarlijks gepubliceerd door het PBL en geeft inzicht in het huidige beeld en de toekomstige ontwikkelingen in het Nederlandse energiesysteem en de uitstoot van broeikasgassen. Eenmaal in de twee jaar worden ook de emissies van luchtverontreinigende stoffen geraamd.

In het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) wordt samen met de bouwsector een routekaart en convenant opgesteld om het traject naar een schone en emissieloze bouwsector in 2030 vorm te geven. Een onderdeel van SEB is sinds mei 2022 de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB). SSEB is bedoeld om de aanschaf van en ombouw naar emissieloos en emissiearm bouwmaterieel (bouwwerktuigen, hulpfuncties en bouwvoertuigen) te stimuleren. Ook bevat de regeling een innovatieonderdeel. SSEB richt zich op bouwbedrijven in Nederland en bedrijven die bouwmaterieel verhuren. Het doel van deze regeling is om de stikstofuitstoot van bouwmachines te reduceren en tegelijkertijd ook bij te dragen aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord en Schone Lucht Akkoord.

PBL heeft TNO gevraagd om voor de KEV 2022 een inschatting te maken van de ingroei van emissieloze bouwmachines door SSEB. Er wordt onder andere gerekend aan de effecten van maatregelen in bestaand beleid (vastgesteld beleid SSEB t/m 2026) en nieuw beleid (voorgenomen beleid verlenging SSEB t/m 2030). Deze knip is gemaakt omdat een subsidieregeling volgens de wet maximaal 5 jaar mag lopen. De regeling kan vervolgens na een evaluatie verlengd worden. De Rijksoverheid heeft de intentie uitgesproken de regeling tot 2030 te laten lopen.

Tot slot is er nog geagendeerd beleid dat gaat over de transitiepaden voor SEB.

---

<sup>22</sup> Deze groep omvat ook dieseltreinen, binnenvaartschepen, aggregaten en bouwmachines. In EU (2016) wordt NRMM beschreven als alle verbrandingsmotoren die niet onder andere wetgeving vallen. Daaronder vallen ook motoren die extra op voertuigen zijn gemonteerd.

<sup>23</sup> De veel gebruikte Nederlandse term "mobiele werktuigen" beslaat slechts een deel van het NRMM park, namelijk alle NRMM machines, maar dan zonder schepen, treinen en vliegtuigen (Ligterink et al., 2018).

De transitiepaden zijn opgesteld voor diverse emissiebronnen in de bouwuitvoeringsfase, namelijk bouwmachines, specialistisch spoorbouwmaterieel, wegvoertuigen voor bouwtransport en schepen in de waterbouw. Per tijdsperiode zijn maatregelen voorgeschreven om de inzet van bouwmaterieel te verduurzamen. Dit rapport geeft onderbouwing voor de berekeningen van de effecten van SSEB en de transitiepaden, die TNO voor de KEV 2022 heeft uitgevoerd. De focus ligt hierbij op de bouwmachines.

SSEB bestaat uit drie sporen van instroom van schone bouwmachines: SSEB Aanschaf, SSEB Retrofit en SSEB Innovatie. De Innovatieregeling is in de doorrekening voor de KEV 2022 buiten beschouwing gelaten, omdat dit een kennisprogramma is voor haalbaarheidsstudies en experimentele projecten op het gebied van praktijkervaring of technische ontwikkelingen van emissieloze bouwmachines en de benodigde infrastructuur. SSEB Innovatie ondersteunt daarmee indirect SSEB Aanschaf en SSEB Retrofit, omdat het aanbod van machines en de toepasbaarheid daarvan (bijvoorbeeld door verbeterde infrastructuur) potentieel verbeterd wordt. De directe bijdrage aan het reductiepotentieel van emissies als gevolg van de Innovatieregeling laat zich echter moeilijk kwantificeren. Ook is de specifieke keuze en inzet van schone machines geen onderdeel van de SSEB. De Aanschaf- en Retrofitregelingen zijn beide wel meegenomen in de effectberekeningen. SSEB Aanschaf is bedoeld voor de aanschaf van nieuwe emissieloze bouwmachines. Bedrijven kunnen in aanmerking komen voor SSEB Retrofit indien zij bouwwerktuigen of bouwvaartuigen, die al in gebruik zijn, laten ombouwen naar emissiearm of emissieloos. Dit kan door de aanschaf en installatie van resp. een SCR-katalysator<sup>24</sup> of een emissieloze aandrijflijn.

Om de effecten van SSEB te berekenen zijn het emissiemodel mobiele machines (EMMA-model<sup>25</sup>) en het prognosemodel Mephisto gebruikt. Het EMMA-model wordt gebruikt voor de modellering van de landelijke emissiecijfers voor mobiele werktuigen <sup>26</sup>(<sup>OBJ</sup>). MEPHISTO raamt toekomstige emissies en sluit naadloos aan op EMMA.

Deze notitie geeft de onderbouwing, resultaten en duiding van de effectberekeningen van SSEB voor achtereenvolgens vastgesteld beleid en de combinatie van vastgesteld en voorgenomen beleid. Ten slotte volgt ook de onderbouwing en toelichting op de denkbare effecten van geagendeerd beleid, waar het diverse transitiepaden voor de uitstoot van mobiele werktuigen volgens de contouren van de routekaart SEB betreft.

De routekaart SEB bevat ook transitiepaden voor voer-, vaar- en spoorwerktuigen in de bouw. Deze zijn geen onderdeel van deze notitie.

---

<sup>24</sup> Een SCR (Selective Catalytic Reduction) katalysator verlaagt de uitstoot van stikstofoxiden.

<sup>25</sup> Het EMMA model bevat een inschatting over de aantallen machines, machinetypen, eigenschappen (motortypen, vermogen, bouwjaar/emissienorm), de inzet (draaiuren, brandstofgebruik, motorbelasting etc.) en emissiefactoren (Hulskotte & Verbeek, 2009). Het energiegebruik en bijbehorende emissies van o.a. CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> worden berekend aan de hand van de verwachte draaiuren en de emissiefactoren van de machines zoals volgen uit de normen en uitgevoerde metingen.

<sup>26</sup> [Alle emissiegegevens op één plek | Emissieregistratie](#)

De routekaart is op het moment van schrijven nog niet definitief vastgesteld en heeft daarom in de KEV de status van geagendeerd beleid gekregen. Effectschattingen voor dit beleid moeten als indicatief worden beschouwd.

### 3.2 Vastgesteld beleid

De subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB) is beschikbaar tot en met 2026. Dit is vastgesteld beleid. De autonome ingroei van emissieloze mobiele werktuigen is ingeschat tussen 2022 en 2030. Vervolgens is een raming gemaakt van de ingroei van emissieloze mobiele werktuigen ten gevolge van SSEB.

Het MEPHISTO prognosemodel (Dellaert, 2023, Hulskotte, 2016) is toegepast om emissieberekeningen voor toekomstige jaren te maken. PBL gebruikt dit model ook voor de emissieramingen voor mobiele werktuigen. Het MEPHISTO prognosemodel houdt rekening met vier machinekenmerken, die invloed hebben op de ingroei van emissieloze materieeltypen:

- 1 Beschikbaarheid van emissieloos materieel;
- 2 Bekabelbaar, dus te verbinden met elektriciteitsnet (ja/nee);
- 3 Accugrootte (kWh);
- 4 Inzet (in dagen).

#### 3.2.1 Budget

Tabel 20 geeft een overzicht van de budgetten waarmee gerekend is voor SSEB Aanschaf. Daarnaast is er budget beschikbaar vanuit de SSEB retrofit regeling. In 2022 is hiervoor gerekend met 6,5 miljoen Euro voor bouwwerktuigen (op basis van aanvragen in 2022). Voor de opvolgende jaren tot en met 2025 is gerekend met 4,5 miljoen Euro per jaar. De budgetten voor retrofit van bouwwerktuigen kunnen in de komende jaren anders zijn als er meer subsidies worden aangevraagd voor SCR retrofit installaties op bouwwerktuigen of voor retrofit van zeevaartuigen.

Voor de ingroei van emissieloos materieel is onderscheid gemaakt in benodigde subsidiebedragen voor retrofit materieel en nieuwverkoop emissieloos materieel (in combinatie met de betreffende beschikbare subsidiebudgetten). In de uiteindelijke emissieberekeningen gaat het om de totale ingroei van emissieloos materieel. Hierbij maakt het dan niet uit of dit middels retrofit is of via nieuwverkoop.

Tabel 20: Aangehouden budgetten SSEB voor bouwwerktuigen en hulpfuncties specifiek op basis van realisaties in 2022 (exclusief bouwvoertuigen).

| SSEB budget      | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|------------------|------|------|------|------|------|
| Aanschaf [mln €] | 23,5 | 13,5 | 18,5 | 18,5 | 23,5 |

#### 3.2.2 Aanvragen 2022 en extrapolatie naar 2026

De realisatie voor 2022 en het daarbij behorende budget is gebruikt om de aangevraagde aantallen te extrapoleren richting 2026. In 2022 is voor ca. 600 emissieloze werktuigen en hulpfuncties subsidie aangevraagd (het is op het moment van schrijven nog niet duidelijk welke subsidieaanvragen wel of niet worden toegekend), niet alle 600 machines/hulpfuncties passen binnen het beschikbare budget. Na het toepassen van een schaling op basis van totale kosten en beschikbaar budget is er ruimte voor ca. 560 werktuigen.



Daarnaast is op eenzelfde manier berekend dat ca. 65 emissieloze machines kunnen worden gesubsidieerd met het retrofit budget in 2022. Het totaal aantal emissieloze machines komt daarmee uit op 625.

In Tabel 21 is het resultaat voor 2022 geschaald voor de daaropvolgende jaren. Hierbij is de aanname gedaan dat de meerkosten met 5% per jaar afnemen en dat het budget volledig benut wordt. Deze aannames worden hieronder nader toegelicht. De vloot groeit hierdoor tot ca. 3.000 emissieloze werktuigen in eind 2026.

#### *Benutten van volledig budget*

Het is niet zeker dat bij een subsidieregeling het beschikbare budget volledig benut wordt. Omdat in 2022 het SSEB budget op de dag van openstelling al overtekend was<sup>27</sup> en omdat momenteel de druk op bouwsector hoog is om te verduurzamen, is de aanname gedaan dat het SSEB budget ook in de komende jaren volledig benut wordt.

#### *Afname van meerkosten met 5%*

In de beginjaren is de meerprijs van elektrisch materieel hoog vanwege relatief kleine oplages en de relatief hoge kosten van het accupakket. Ervanuit gaande dat de meerprijs van elektrisch materieel in 2030 alleen bestaat uit de accukosten, wordt ingeschat dat de aanschafkosten van elektrisch materieel met ca. 5% per jaar daalt. Dit is gebaseerd op de uitkomsten van de studie van (National Renewable Energy Laboratory, 2021), waarin wordt aangegeven dat de prijs van accupakketten kan dalen van 350 dollar in 2020 naar 143 tot 248 dollar in 2030 per kWh. Voor retrofit is geen kostendaling meegenomen. Dit vanwege de kleine oplages en veel benodigd handwerk voor ombouw.

Tabel 21: Extrapolatie aantal ZE werktuigen (2022-2026).

|                                           | 2022       | 2023         | 2024         | 2025         | 2026         |
|-------------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Meerkosten reductie aanname (5% per jaar) | 100%       | 95%          | 90%          | 85%          | 80%          |
| ZE aanschaf aantal                        | 560        | 339          | 490          | 519          | 701          |
| Retrofit ZE aantal                        | 65         | 45           | 45           | 45           | -            |
| <b>Totaal aantal</b>                      | <b>625</b> | <b>384</b>   | <b>535</b>   | <b>564</b>   | <b>701</b>   |
| <b>ZE vloot aantal</b>                    | <b>625</b> | <b>1,009</b> | <b>1,544</b> | <b>2,108</b> | <b>2,809</b> |

In Tabel 21 is de jaarlijkse ingroei en de cumulatieve ingroei van emissieloze machines weergegeven<sup>28</sup>. Het uitgangspunt van deze studie is dat er in het EMMA model tussen de 600 en 700 emissieloze werktuigen in de vloot zijn vanaf 2023 met een groei tot ca. 3.000 ultimo 2026. De ingroei is hiermee gelijk aan het maximaal aantal te subsidiëren machines.

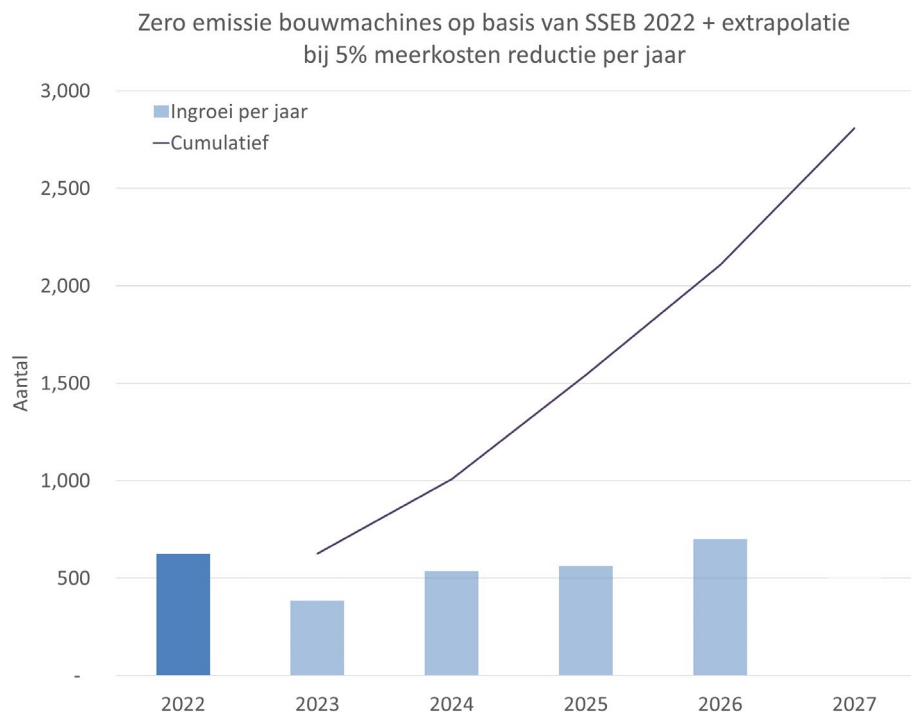
Het type materieel en de daarbij behorende motorvermogens en accucapaciteiten heeft een sterke invloed op de aanschafprijs en daarmee ook op het aantal machines dat binnen het budget kan worden gesubsidieerd. Het jaar 2022 is een momentopname en het is niet vanzelfsprekend dat de machinetypes en motorvermogens in volgende jaren hetzelfde zijn. De aantallen kunnen daarom afwijken, afhankelijk van de gemiddelde machineprijs.

<sup>27</sup> <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D00713>

<sup>28</sup> Werktuigen aangeschaft in 2026 zijn onderdeel van de vloot in 2027 in het EMMA model.

De aangevraagde subsidies in 2022 zijn redelijk goed verdeeld over de verschillende vermogenscategorieën. Voor het grootste deel (ruim 60%) waren dit machines onder de 56 kW (dat is ook de categorie met het grootste vlootaandeel qua aantallen), maar daarmee ook een flink deel tussen de 56 en 300 kW.

Indien de verhoudingen qua vermogenscategorieën in de komende jaren afwijken van 2022 kan dit ook leiden tot een andere impact op emissies. De emissielimieten verschillen per vermogensklasse. Zo zijn bijvoorbeeld de NO<sub>x</sub>-emissielimieten voor de meest moderne dieselmachines (Stage V) minder streng voor machines met een motorvermogen onder de 56 kW ten opzichte van machines met een motorvermogen boven de 56 kW. Aan de andere kant hebben de zwaardere machines in het algemeen een hoger brandstofverbruik, en daarmee hogere CO<sub>2</sub>-emissies per machine.



Figuur 31: Extrapolatie van SSEB realisatie geschaald naar beschikbaar gesteld budget.

### 3.2.3 Aannames voor zichtjaren na 2026

Er is op dit moment geen duidelijke onderbouwing wat er in de markt gebeurt als er geen aanschafondersteuning meer zou zijn voor emissieloos materieel in de jaren na 2026 (conform het huidige vastgestelde beleid). Er is voor aannemers op dit moment in de meeste gevallen nog geen harde noodzaak voor de inzet van emissieloos materieel.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd binnen het MEPHISTO prognose model.

1. De ingroei van emissieloos materieel is al vijf jaar op gang gekomen. Hierdoor is ervaring opgebouwd met de inzet van deze machines. De ingroei zal daarom naar verwachting niet naar nul gaan.

- Daarnaast is het waarschijnlijk dat de stikstofproblematiek verdere verschoning vraagt. Aan de andere kant zal de TCO van emissieloos materieel waarschijnlijk minder competitief zijn dan een vergelijkbare dieselmotor machine. Als ruwe aanname wordt daarom de ingroei van emissieloos materieel gehalveerd in 2027 (zonder subsidie) ten opzichte van 2026 (met subsidie).
2. Vanaf 2027 wordt er wel een bepaalde groei verwacht vanwege (internationale) technologische ontwikkelingen. Ook buiten de sector. Om dit effect mee te nemen is een langzame toename van 10% ingroei per jaar verondersteld. Deze ingroei loopt hierdoor ca. vijf jaar achter op vastgesteld en voorgenomen beleid (zie volgende paragraaf).

### 3.3 Vastgesteld en voorgenomen beleid

Voor vastgesteld en voorgenomen beleid is aangenomen dat de subsidieregeling schoon en emissieloos bouwen (SSEB) beschikbaar is tot en met 2030. Na 2030 is de ingroei constant gehouden. De retrofit regeling is niet meer voorzien in deze periode.

Het MEPHISTO prognosemodel is toegepast om emissieberekeningen voor toekomstige jaren te maken. Hierbij is rekening gehouden met de verwachte emissieloze machineaantallen in 2022-2030 ten gevolge van de subsidieregeling schoon en emissieloos bouwen (SSEB). Tot en met 2026 is de ingroei identiek aan vastgesteld beleid (zie vorige paragraaf).

#### 3.3.1 Budget

Voor de periode 2027- 2030 is gerekend met de onderstaande budgetten, die volledig worden besteed. Deze budgetten zijn aangereikt door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Tabel 22: Aangehouden budgetten SSEB aanschaf 2027-2030

| SSEB budget                                | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|--------------------------------------------|------|------|------|------|
| Aanschaf, exclusief bouwvoertuigen [mln €] | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 28,5 |

#### 3.3.2 Aanvragen 2022 en extrapolatie naar 2030

De realisaties voor 2022 en het daar bijbehorende budget is gebruikt om de aangevraagde aantallen te extrapoleren richting 2030, zie vorige paragraaf voor meer informatie hierover.

In Tabel 23 is het resultaat voor 2022 geschaald voor de daaropvolgende jaren. Hierbij is de aanname gedaan dat de meerkosten met 5% per jaar afnemen tussen 2022 en 2030 (zie toelichting in de vorige paragraaf). De vloot groeit hierdoor tot ca. 6.500 (Figuur 32) emissieloze werktuigen eind 2030. De ingroei is hiermee gelijk aan het maximaal aantal te subsidiëren machines.

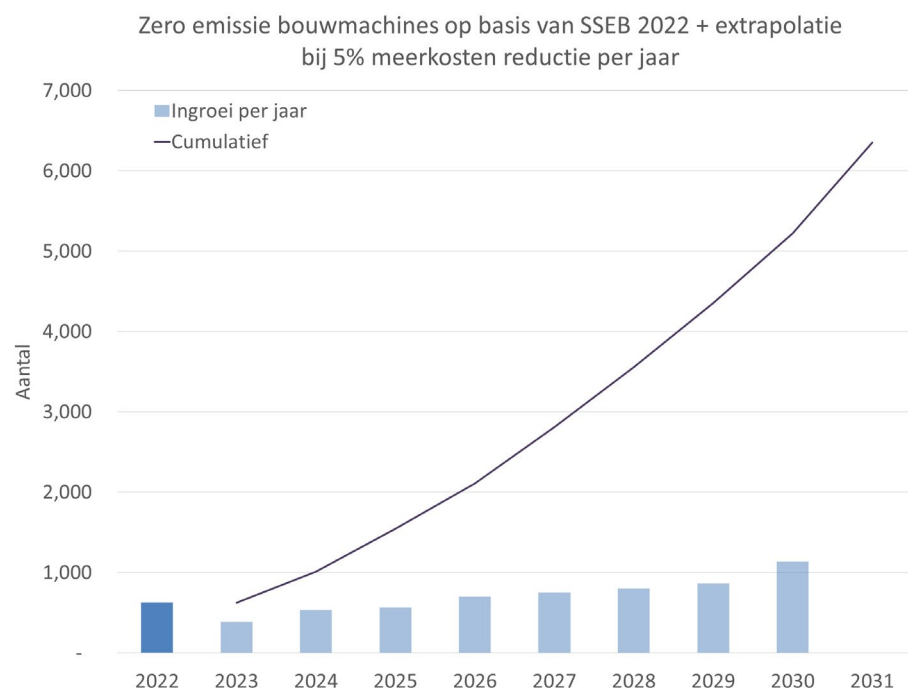
In praktijk zullen de meerkosten afhankelijk zijn van het soort en de grootte van de machines, waarbij grotere machines over het algemeen hogere meerkosten hebben. Omdat het onbekend is waar de subsidies worden ingezet, wordt er met generieke meerkosten gewerkt.

Tabel 23: Aanvragen realisatie en extrapolaties.

|                                                 | 2022       | 2027         | 2028         | 2029         | 2030         |
|-------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Meerkosten reductie<br>aanname<br>(5% per jaar) | 100%       | 75%          | 70%          | 65%          | 60%          |
| ZE aanschaf aantal                              | 560        | 747          | 801          | 862          | 1,133        |
| Retrofit ZE aantal                              | 65         | -            | -            | -            | -            |
| <b>Totaal aantal</b>                            | <b>625</b> | <b>747</b>   | <b>801</b>   | <b>862</b>   | <b>1,133</b> |
| <b>ZE vloot aantal</b>                          | <b>625</b> | <b>3,556</b> | <b>4,357</b> | <b>5,219</b> | <b>6,352</b> |

In Figuur 32 is de jaarlijkse ingroei en de cumulatieve ingroei weergegeven<sup>29</sup>. Het type materieel, en de daarbij behorende motorvermogens en accupaciteiten, heeft een sterke invloed op de aanschafprijs en daarmee ook op het aantal machines dat binnen het budget kan worden gesubsidieerd. Het jaar 2022 is een momentopname en het is niet vanzelfsprekend dat de machinetypes en motorvermogens in volgende jaren hetzelfde is. De aantallen kunnen daarom afwijken, afhankelijk van de gemiddelde machineprijs. Ook de impact op emissies zal daardoor kunnen afwijken, zoals de in de vorige paragraaf toegelicht.

Het uitgangspunt van deze studie is daarom dat er uit het EMMA model tussen de 600 en 700 emissieloze werktuigen in de vloot zijn vanaf 2023 met een groei tot ca. 6.500 ultimo 2030 (zichtbaar in 2031).



Figuur 32: Extrapolatie van SSEB realisatie geschaald naar beschikbaar gesteld budget.

### 3.3.3 Aannames voor zichtjaren na 2030

Er is op dit moment geen inzicht in wat er in de markt gebeurt als er na 2030 geen aanschafondersteuning meer zou zijn voor emissieloos materieel.

<sup>29</sup> Werktuigen aangeschaft in 2030 zijn onderdeel van de vloot in 2031 in het EMMA model.

De markt is daarvoor op dit moment nog te pril. Vaak wordt de eerste marktintroductie van schone technologie gesubsidieerd en worden uiteindelijk normen ingevoerd, die op termijn de inzet van schone technologie verplicht stellen (zoals bij elektrische personenauto's het geval is). Waarna subsidie na verloop van tijd worden afgebouwd. Dergelijke normering is op dit moment nog niet opgenomen in het vastgestelde en voorgenomen beleid.

Daarom zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd om binnen het MEPHISTO prognose model tot een inschatting te komen voor de instroom van emissieloze werktuigen na 2030:

1. De ingroei van emissieloos materieel is dan al negen jaar op gang gekomen en daarmee is ervaring opgedaan met dit materieel. Infrastructurele uitdagingen zijn bekend en mogelijk grotendeels opgelost, bijvoorbeeld met behulp van tijdelijke krachtstroomvoorzieningen. Het aandeel emissieloos in de vloot is toegenomen. Hierdoor is aangenomen dat het in 2030 bereikte marktaandeel in de verkopen constant blijft in de jaren daarna.
2. Omdat er meer ervaring is opgedaan met emissieloos bouwen en de daarbij behorende infrastructuur loopt de ingroeiontwikkeling voor op het 'vastgesteld' scenario.

### 3.4 Geagendeerd beleid

Geagendeerd beleid zijn beleidsintenties, die nog onvoldoende concreet zijn uitgewerkt om onderdeel te laten zijn van de ramingen in de KEV. Sinds 2021 gaat de KEV wel in op de denkbare effecten van geagendeerd beleid. Deze paragraaf gaat in op het geagendeerde beleid op het gebied van emissiereductie van bouwwerktuigen, dat in de routekaart SEB wordt opgesteld.

In de routekaart SEB wordt door de rijksoverheid in een samenwerking van overheden, bedrijven en kennisinstellingen, vastgelegd hoe de transitie naar schoon en emissieloos bouwen tot 2030 vorm krijgt. Voor het reduceren van emissies wordt een tijdspad opgesteld inclusief maatregelen en acties om deze reductie te realiseren. Hieraan zijn doelstellingen op het gebied van CO<sub>2</sub> en luchtverontreinigende stoffen (stikstof en fijnstof) gekoppeld. De routekaart SEB is op het moment van schrijven echter nog niet definitief vastgesteld. Deze rapportage is gebaseerd op een conceptversie uit oktober 2022. Op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat zijn daarom de betreffende transitiepaden niet opgenomen in de rapportage. Afspraken over de uitvoering van deze routekaart, zoals het toepassen van striktere emissie-eisen bij aanbestedingen, moeten worden vastgelegd in het Convenant Schoon en Emissieloos Bouwen.

#### 3.4.1 Transitiepaden

Er worden in de routekaart drie verschillende niveaus onderscheiden voor de transitiepaden: het minimumniveau, het basisniveau en het ambitieniveau. Er wordt beoogd dat het minimumniveau gaat gelden voor de hele bouwsector en het basis- en ambitieniveau alleen vanuit publieke opdrachtgevers. De gestelde zijn minimum eisen aan de Stage-klasse (emissieklasse), het verplicht installeren van een SCR-katalysator (NO<sub>x</sub> reductie) of roetfilter (fijnstof reductie) of het verplicht gebruik van emissieloos materieel. Het tijdspad van de transitie naar schoon en emissieloos bouwen is verdeeld in vier periodes; 2023-2024, 2025-2027, 2028-2029 en 2030 en verder.

Bij het ingaan van een nieuwe periode worden de emissie-eisen voor de betreffende mobiele werktuigen strenger. De eisen verschillen tussen mobiel (zoals een graafmachine) en stationair materieel (zoals pompen en generatorsets). Ook is er een aparte categorie voor specialistisch materieel. Binnen het mobiel materieel zijn de eisen die per periode ingaan ook afhankelijk van de vermogensklasse (<19 kW, 19-37 kW, 37-56 kW, 56-130 kW, 130-560 kW en >560 kW).

Het transitiepad 'basisniveau' verschilt ten opzichte van het transitiepad 'minimumniveau', omdat voor 'basisniveau' strengere eisen eerder ingaan. Het transitiepad van het 'ambitieniveau' laat in elke periode strengere eisen zien ten opzichte van het minimum- en basisniveau. Vanwege de onzekerheid in omvang (aantal deelnemende partijen) van het transitiepad 'ambitieniveau' is dit transitiepad vooralsnog geen onderdeel van de analyse. Indien dit ambitieniveau wel gerealiseerd zou worden zijn dus grotere emissiereducties denkbaar dan hier in dit rapport zijn geraamd.

### 3.4.2 *Juridisch kader*

Het is beoogd dat de eisen gelden voor nieuwe aanbestedingen en vergunningseisen (al is nog niet duidelijk hoe dit wordt vastgelegd in vergunningseisen) en niet voor lopende contracten en opdrachten of reeds vergunde projecten. De uitvoering van het verplichte minimumniveau wordt met de inwerkingtreding van de Omgevingswet (vastgestelde datum van inwerkingtreding is 1 juli 2023) gekoppeld aan het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) waarin een overkoepelende zogenoemde "emissiereductieplicht" voor de algehele bouwactiviteiten is opgenomen ("met als doel om het aandeel van de bouw in de gehele stikstofuitstoot te reduceren"). Een concrete (gekwantificeerde) emissiereductieplicht en de referentiewaarde is momenteel nog niet gespecificeerd in de wettekst. Ook is het beoordelingskader momenteel niet opgenomen in de wettekst. De Bbl gaat over vergunningsplichtige en meldingsplichtige bouwwerken. Specifiek gaat dit om Artikel 7.19a (stikstofemissie): "Bij het verrichten van bouw- en sloopwerkzaamheden worden adequate maatregelen getroffen om de emissie van stikstofverbindingen naar de lucht te beperken". De routekaart is bedoeld ter invulling van een 'adequate maatregel'. Het is nog niet bekend hoe de routekaart exact in wettekst opgenomen wordt.

In het convenant (zoals genoemd in de inleiding) tekenen partijen uit de bouwsector voor afspraken, die worden gemaakt over het toepassen van de maatregelen en acties in de routekaart. Het basisniveau en het ambitieniveau zijn direct gekoppeld aan het convenant. Het basisniveau en het ambitieniveau zijn beoogd voor de (nieuwe) publieke aanbestedingen. Voor de partijen, die het convenant ondertekenen, geldt een inspanningsverplichting. Doordat de naleving van convenanten juridisch moeilijk kan worden afgedwongen en belangen van niet-deelnemende partijen niet worden behartigd, kan de effectiviteit van het convenant beperkt zijn.

Het juridisch kader lijkt daarom beperkt tot vergunningsplichtige activiteiten en eisen in nieuwe openbare aanbestedingen. Om de effectiviteit van de opgestelde emissie-eisen te vergroten wordt aanbevolen om het juridisch kader te verbreden. Bijvoorbeeld door het instellen van milieuzones voor bouwmachines. Het juridische kader is momenteel echter nog niet volledig uitgewerkt en bekend. Voor een deel van de bouwsector worden de eisen mogelijk pas later van kracht (bestaande doorlopende activiteiten). Dit aandeel is momenteel niet bekend.

De wettekst rondom emissiereductie in de bouwsector met het bijbehorende structurele pakket aan maatregelen en het convenant met de sector is/was opgenomen in de context van de partiële vrijstelling van de Natura 2000-vergunningplicht voor bouwen, slopen en aanleggen (bouwvrijstelling). De Raad van State heeft echter geoordeeld dat de bouwvrijstelling, artikel 7.19a, niet toegepast mag worden<sup>30</sup>. De Habitatrichtlijn 92/43/EEG staat een dergelijke uitzonderingsregel niet toe. Het is nog onduidelijk welke consequenties het wegvallen van de bouwvrijstelling heeft op de uitvoering van de routekaart, met name rondom het minimumniveau, welke gekoppeld is aan de Bbl.

### 3.4.3 *Belangrijke aandachtspunten*

Luchtkwaliteit en stikstofdepositie hangen direct samen met de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen, waarbij zowel het type bouw materieel (zoals in de routekaart) als de daadwerkelijke inzet van het bouw materieel van belang zijn. Bijvoorbeeld, een emissieloze machine die weinig gebruikt wordt, of opgeladen wordt met een (diesel aangedreven) generatorset, of een schonere dieselmachine die meer uren draait, levert minder milieuvoordeel op dan nu ingeschat. De doelgerichtheid van het sturen op een groter aandeel schoon en emissieloos materieel in het machinepark voor milieu en klimaat is daarmee niet gegeven, zonder voldoende aandacht en handhaving voor daadwerkelijke inzet van schone en emissieloze machines. In de effectschatting wordt ervan uitgegaan dat een deel van de machines defecte of gemanipuleerde emissiebehandelingssystemen heeft. In de effectschatting is ook weergegeven wat het effect is als hier een goede toezicht en handhaving op plaats zou vinden. In de effectschatting is wel aangenomen dat de beloofde machines worden ingezet volgens het transitiepad. Ook daar is toezicht en handhaving op nodig.

Naast (juridische) kaders om de beoogde emissiereductie te borgen zijn er een aantal andere belangrijke aandachtspunten, die samenhangen met de mate waarin de transitie naar schoon en emissieloos kan plaatsvinden. Over de gehele periode van het transitiepad geldt (zowel voor minimum- als basisniveau), dat het totaal aantal geweerde machines hoog is (en daarmee een hoge benodigde ingroei van schonere machines). Doordat de eisen - in het geval van het minimumniveau - beoogd zijn voor de hele Nederlandse bouwsector, zal het in veel gevallen nauwelijks mogelijk zijn om de te weren bouw machines voor andere doeleinden in te zetten. Daardoor zullen nog goedwerkende machines eerder vervangen moeten worden, mogelijk op grote schaal.

De ingangsdatum van de eerste periode is in 2023. Het convenant zal echter niet direct aan het begin van 2023 in werking treden. Partijen krijgen implementatietijd. Momenteel is deze implementatietijd nog niet bekend. Wel zal op relatief korte termijn een hoog aandeel van de huidige machines geweerd moeten worden volgens het transitiepad (zowel voor minimum- als basisniveau). Voor de meeste categorieën zijn de geweerde aantallen hoger dan het aantal wat er jaarlijks (autonoom) nieuw ingroeit. Voldoende voorbereidingstijd is van belang voor machine-eigenaren.

In sommige gevallen moeten geweerde machines in 2023 vervangen worden door nieuwere dieselmachines volgens de eisen van het transitiepad.

---

<sup>30</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/11/02/raad-van-state-bouwvrijstelling-mag-niet-gebruikt-worden>

Deze nieuwere machines kunnen vervolgens slechts een beperkt aantal jaren worden ingezet (vanwege een strengere eis die opvolgend in werking treedt).

Ook in de latere perioden zorgen de strenger wordende eisen voor zeer hoge weringspercentages. Met name de eisen rondom ingroei emissieloos materieel zijn zeer ambitieus. De benodigde ingroei ligt op een hoger niveau (factoren hoger) dan nu voorzien in de Subsidieregeling SEB (SSEB). Daarnaast zorgt de benodigde snelheid van ZE-ingroei voor versnelde afschrijving van nog goedwerkend bouwmaterieel. Het vereist gedetailleerde verificatie door marktpartijen ten aanzien van de mogelijke versnelling van vlootvernieuwing en de snelheid van ingroei van ZE.

Een van de aandachtspunten is dat er voldoende beschikbaarheid vanuit de markt moet zijn van emissieloos materieel en/of ombouwcapaciteit. Daarnaast is het van belang dat er voldoende tank- en laadinfrastructuur beschikbaar is (op uiteenlopende bouwplaatsen en bouwlocaties) en dat het Nederlandse stroomnet is berekend op de energie- en vermogensvraag. Gezien de knelpunten die nu al optreden in het elektriciteitsnet op verschillende plekken in Nederland is dat niet vanzelfsprekend. Andere relevante aspecten waaraan ook aandacht wordt besteed in het programma SEB en de Nationale Agenda Laadinfrastructuur, zijn wet- en regelgeving voor energie op de ééébouwplaats (bijvoorbeeld rondom veiligheid en standaardisatie). Een ander belangrijk aandachtspunt is bijvoorbeeld ook de afname van meerkosten voor een betere TCO en een verhoogde investeringsbereidheid.

Tot slot, strenge eisen vragen om een goede handhaving en daarmee een goede registratie (wat er momenteel niet is). Hoe (en door wie) wordt dat opgepakt? En binnen welk wettelijk kader kan dit verplicht gesteld worden?

Omdat deze vragen niet beantwoord worden in de huidige beleidsplannen, is er door deze vrijblijvendheid een onzekerheid over de haalbaarheid van de emissiereductiedoelen.

#### 3.4.4 Impact op emissies

In deze sectie is het reductiepotentieel van de transitiepaden kort beschreven. Bij het reductiepotentieel is ervan uitgegaan dat de routekaart de volledige bouwsector treft in de betreffende periodes (voor zowel overheids- als niet-overheidsopdrachten).

Dat stelt zeer hoge eisen op een drietal gebieden:

- De ingroei van emissieloze machines en de versnelde ingroei van schone dieselmachines. Het is nog onzeker of de machineleveranciers voldoende capaciteit hebben om hierin te voorzien.
- De ontwikkeling van de tank- en laadinfrastructuur voor emissieloze machines inclusief benodigde netcapaciteit op de juiste plaatsen.
- Toezicht en handhaving op de correcte inzet van emissieloze en schone dieselmachines.

Bij het reductiepotentieel is ervan uitgegaan dat de geschetste paden behaald worden én dat aan bovenstaande eisen wordt voldaan, hetgeen niet zeker is.



Omdat bij het doen van deze effectschatting nog niet bekend is hoe er met bovenstaande eisen wordt omgegaan in de routekaart en aanpalende beleidstrajecten, moet de effectschatting daarom worden gezien als een potentieelschatting.

Gedragmaatregelen, zoals het voorkomen van onnodig stationair draaien, zijn nu niet (nog) meegenomen in transitiepaden en daarmee ook niet in de doorrekening. Het verschil in effect van het 'basisniveau' aanvullend op het 'minimumniveau' is vooral zichtbaar in de periode tot 2030. Daarna worden de eisen grotendeels vergelijkbaar met het minimumniveau. De onderstaande emissiereductiepotentiëlen zijn daarom gericht op het minimumniveau.

#### 3.4.4.1 *Impact op CO<sub>2</sub>-emissies*

Met het (concept)transitiepad (minimumniveau) in de huidige vorm is er een CO<sub>2</sub> reductiepotentieel van ca. 20-30% in 2030 ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van mobiele werktuigen in de bouw in 2018. Met name de ingroei van uitstootvrij materieel draagt bij aan de reductie in CO<sub>2</sub>-emissies.

Als gevolg van autonome vlootverjonging (los van de emissie-eisen in de routekaart) wordt een reductie van ca. 2% verwacht in 2030 ten opzichte van 2018.

#### 3.4.4.2 *Impact op NO<sub>x</sub>-emissies*

De uitstoot van NO<sub>x</sub> kan in 2030 volgens het (concept) transitiepad (minimumniveau) met potentieel ca. 50% gereduceerd worden ten opzichte van de uitstoot in 2018. Circa de helft van de reductie komt door de geplande ingroei van emissieloos materieel. De overige reductie komt vanwege de ingroei van schoon dieselmaterieel in de vermogenscategorieën vanaf 56 kW. Dit is inclusief het effect van de autonome verjonging (reguliere vervanging van oude mobiele werktuigen door nieuwe die aan strengere Europese emissie-eisen voldoen). Handhaving is hierbij nodig om te controleren of de juiste machines worden ingezet.

Als gevolg van autonome vlootverjonging (los van de emissie-eisen in de routekaart) wordt een reductie van ca. 23% verwacht in 2030 ten opzichte van 2018.

Het monitoren van de emissiereductie in de praktijk is essentieel. Met name omdat een SCR-katalysator niet effectief is als er veel op lage motorbelasting wordt gedraaid (zoals stationair draaien), omdat de uitlaatgassen dan te koud blijven voor een goede katalysatorwerking. Bij verder aangescherpte handhaving op de inzet van schoon materieel, kan het 50% NO<sub>x</sub>-reductiepotentieel uit het (concept) transitiepad verhoogd worden naar 65% ten opzichte van 2018. Het uitgangspunt is dat betere handhaving leidt tot meer detectie van defecten of manipulatie van SCR-katalysatoren.

#### 3.4.4.3 *Impact op fijnstof emissies*

De uitstoot van fijnstof kan in 2030 volgens het (concept)transitiepad (minimumniveau) met potentieel ca. 93% gereduceerd worden ten opzichte van 2018. Dit is inclusief het effect van autonome verjonging.

Als gevolg van autonome vlootverjonging (los van de emissie-eisen in de routekaart) wordt een reductie van ca. 70% verwacht in 2030 ten opzichte van 2018. Dit wordt verklaard, doordat naar verwachting een groot deel van het toekomstig materieel over een roetfilter beschikt. Ook zonder routekaart. In 2030 zijn – volgens het transitiepad - vrijwel alle machines uitstootvrij of voorzien van roetfilters.

Het is van belang dat dit gesloten roetfilters betreft en niet half-open roetfilters, aangezien deze minder effectief zijn. Tevens is het van belang om in de praktijk met metingen te controleren of de roetfilters nog goed functioneren. Een defect, of verwijdering van het roetfilter, kan buitenproportionele verhoging van fijnstofemissies veroorzaken. Gezien de verschuiving naar machines met roetfilter wordt deze controle extra van belang. Zonder controle en handhaving zal het reductiepotentieel niet behaald worden. Hetzelfde geldt voor de reductie als gevolg van de autonome verjonging.

### 3.5 Referenties

- Dellaert, S. (2023) Geactualiseerde gebruikershandleiding MEPHISTO (Machinery Emissions Prognosis Helped by Information on Sales of Technology and Oils). TNO-publicatie in voorbereiding.
- EU (2016) VERORDENING (EU) 2016/1628 ([wetten.nl - Regeling - Uitvoeringsbesluit EU-verordening emissiegrenswaarden voor motoren in niet voor de weg bestemde mobiele machines - BWBR0041089 \(overheid.nl\)](https://wetten.nl/Regeling-Uitvoeringsbesluit-EU-verordening-emissiegrenswaarden-voor-motoren-in-niet-voor-de-weg-bestemde-mobiele-machines-BWBR0041089-overheid.nl)).
- Hulskotte, J. (2016). MEPHISTO 1.1 gebruikershandleiding Machinery Emissions Prognosis Helped by Information on Sales of Technology and Oils, Utrecht: TNO.
- Ligterink, N., Louman, R., Buskermolen, E., Verbeek, R. (2018). De inzet van bouwmachines en de bijbehorende NO<sub>x</sub>- en CO<sub>2</sub>-emissies. TNO 2018 R104, 4 mei 2018.

## 4 Impact Renewable Energy Directive III

*Auteur: Ayla Uslu*

The author is thankful to Maarten Thoen, Gerben Geilenkirchen (PBL), Hein de Wilde (TNO), Marco Ubada (Ministry IenW), Jose Muisers (RVO) and Eric van den Heuvel (Platform Hernieuwbare Brandstoffen) for their support and constructive feedback.

*Updated by 9 November 2022*

### 4.1 Introduction

PBL (Netherlands Environmental Assessment Agency) publishes the 'Netherlands Climate and Energy Outlook' (KEV) report annually. The KEV provides an integral insight into the past, present, and future of the Dutch energy system and its greenhouse gas (GHG) emissions. A great deal of attention is paid to national policies and their expected effects on the future energy use and emissions. Mobility is one of the sectors covered in the KEV.

The KEV projections of this year (referred to as KEV2022) are based on the existing and agreed (vastgesteld en voorgenomen) policies, with a cut-off date of 1 May 2022. The proposal to revise the Renewable Energy Directive (referred to as REDIII), which was part of the Fit-for-55 package, and its possible effects on the projections for 2030 are not included. Instead, REDIII is considered as an agenda setting policy rather than "vastgesteld" and/or "voorgenomen beleid" in KEV2022. The REDIII proposal was published in 2021. It has been discussed at technical level within the Council's working parties responsible for the policy area concerned. More recently, the European Parliament voted for the revision of the REDIII and the amendments to the proposal were published. At the final stage there will be negotiations involving the European Commission, the Parliament and the EU member states - so-called trilogies. Once the final version of the REDIII is officially adopted, the Dutch government will start procedures to transpose this to the national law and legislations.

This study concentrates on the REDIII published by the Commission in 2021. Compared to the REDII published in 2018, the REDIII proposal included many changes to the articles related to the decarbonisation of the transport sector using renewable energy. In this context, PBL has requested TNO to assess the main elements of the REDIII related to the transport sector, as well as the possible developments regarding the (renewable) energy carriers up to 2030. Thus, this study introduces the key elements of the REDIII related to the transport sector and analyses the significance of those elements for the Dutch transport sector. While the main focus is on Article 25 "Greenhouse gas intensity reduction in the transport sector from the use of renewable energy", other relevant articles are also reviewed.

More specifically, the following questions are addressed:

- What does the 'intensity-reduction' target imply vs "the share of renewable energy" target, how is this (currently) implemented in Dutch policy?
- What is the Impact of widening the scope to all fuels (including bunker fuels)?

- What is the impact of cancelling double counting factors?
- What is the impact of specific targets for advanced biofuels and RFNBOs?
- How does the interaction between electrified transport and other renewable fuels, including biofuels, change due to the REDIII (vs the REDII implementation)?

The next paragraph presents an overview of articles related to the current implementation of REDII transport decarbonisation in the Netherlands. Paragraph 4.3 introduces REDIII related to the transport sector and compares this with the current implementation plans in the Netherlands. In Paragraph 4.4, the level of the GHG intensity reduction potential of KEV2022 projections is quantified. This is followed by the comparison of sub-targets introduced in REDIII and the Dutch Ordinance. This paragraph further elaborates on the level of additional renewable energy demand that will be needed to meet the overall GHG intensity reduction target of 13%. Furthermore, the important role of electrification versus supply of RFNBO and biofuels is discussed. Paragraph 4.5 provides the main conclusions of this study and the important discussion points.

## 4.2 Overview of REDII implementation in the Netherlands

The European Commission published the Renewable Energy Directive recast (REDII) in December 2018. This directive set, among other things, the framework for the use of renewable transport fuels in the European Unions (EU) for the period 2021-2030. In the context of the implementation of this Directive and also the Climate Agreement the Dutch government issued an Ordinance (IenW, 2021) in December 2021. This Ordinance details the renewable energy obligations up to 2030.

The key elements of this draft ordinance can be summarised as follows:

- It introduces a renewable energy blending obligation of at least 17.9% in 2022, increasing to 28.0% in 2030. These targets are administrative targets, which means they include multiple counting for various renewable supply options.
- This obligation is set for suppliers of diesel, gasoline and heavy fuel oil to road and rail transport, non-road mobile machinery, including agricultural tractors and forest machines and recreational boating (when not at sea) based on the energy content of these fuels.
- A sub-target on advanced biofuels, produced from Annex IX Part A of the REDII, is included. The contribution of these advanced biofuels should at least be 1.8% in 2022, increasing to 7% in 2030. These fuels can be double counted. Thus, the physical contribution should be at least 3.5% in 2030.
- The share of biofuels, produced from Annex IX Part B, is capped to the 2020 values. This limit was 5% without double counting and 10% with double counting.
- The share of biofuels produced from food and feed crops are capped to 2020 level, which was 1.4% of the total diesel and gasoline consumed in transport.
- Liquid biofuels from crops that do not entail a risk of agricultural land expansion (i.e., catch and cover crops) can be counted towards the target.
- Delivery of biofuels produced from food or feed crops to shipping will not be counted towards the overall renewable energy target. However, delivery of advanced biofuels (Annex IX Part A) and other renewable fuels to aviation and shipping can be counted towards the target up to 1 January 2025.

After that, this opt-in option will be eliminated. Delivery of Annex IX Part B biofuels are not accounted in (sea) shipping.

- This Ordinance includes multiple counting based on the energy content of the certain renewable fuels and energy used in the transport sector.

These are:

- Renewable fuels of non-biological origin (RFNBO) will be counted 2.5 times to the overall target.
- Renewable electricity in road transport will be counted 4 times. Renewable electricity in rail transport will not be counted.
- As stated above, biofuels from Annex IX Part A and B will be double counted towards the target
- Biofuels used in aviation will be counted 1.2 times, biofuels used in maritime will be counted 0.8 times.

Figure 4-1 presents the KEV2022 projections related to electricity<sup>31</sup> and renewable hydrogen use in road transport and biofuel use in road and rail transport and non-road machinery for the period 2022-2030. These projections are based on the implementation of the Ordinance. KEV2022 projections for 2030 indicates an additional 6.8PJ biokerosene and 1.1 PJ e-kerosine for aviation bunkering. These relate to the sub-targets introduced for aviation in the RefuelEU Aviation regulation proposal. Next, 2 PJ biofuel use in inland shipping is included in the KEV2022 projections for 2030. These are not included in the figure below. When included, the total amount of biofuel projections for 2030 adds up to 51.5 PJ and the total renewable energy that includes biofuels, RFNBO and renewable electricity adds up to 77.8 PJ.

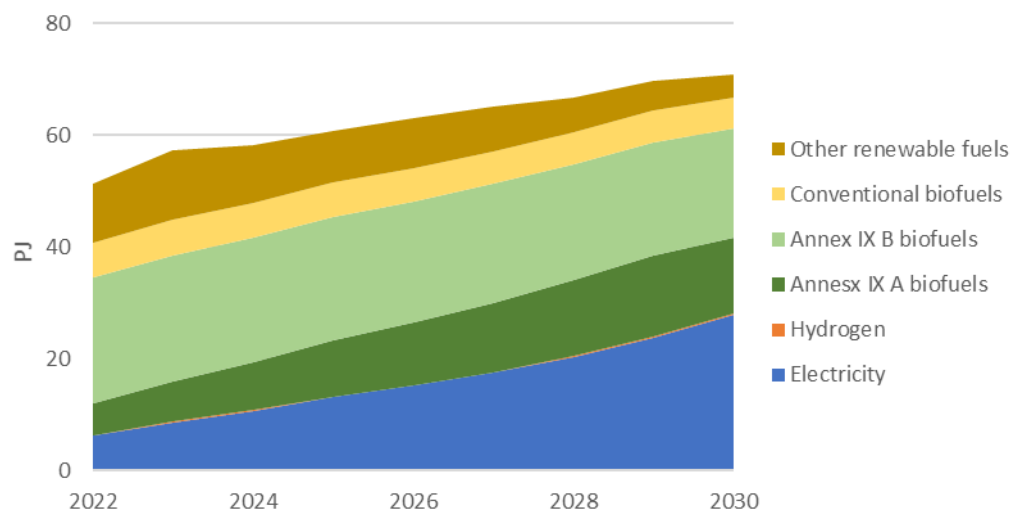


Figure 4-1: KEV2022 projections for electricity and renewable energy relevant to the obligation within the framework of the Ordinance (physical values). Other renewable fuels refer to additional biofuels.

<sup>31</sup> The figure includes total electricity use in road transport rather than renewable electricity. The renewable share will be related to the renewable share of electricity in the previous years.

### 4.3 REDIII comparison with the Dutch Ordinance

The European Commission published a proposal to revise the Renewable Energy Directive (referred to as REDIII) as part of the Fit-for-55 package in July 2021. The overall ambition of this proposal has been to increase the current EU-level target of at least 32% of renewable energy sources in the overall mix to at least 40% by 2030. This proposal included many changes for the transport sector, when compared with the REDII.

These changes can be grouped as:

- Change of overall renewable energy target for the transport sector to GHG intensity reduction target and the implications to multipliers
- Expansion of the sector coverage to all transport modes
- Change of sub-target levels and the introduction of a new sub-target for renewable fuel of non-biological origin (RFNBO).

The European Council and the European Parliament have also adopted their positions. Nevertheless, the Commission's proposal of July 2021 is used as the baseline for REDIII in this study and the related changes are elaborated in the following sections. The main differences with the Dutch Ordinance and also the possible implications in regard to the renewable energy demand are qualitatively evaluated. Table 4-1 summarises the comparison of the main elements among REDII, the Ordinance and REDIII.

#### 4.3.1 *GHG intensity target versus renewable energy target and the implications to multipliers*

The REDII and the Dutch Ordinance have introduced a renewable energy target. REDIII proposes to replace this with a 13% GHG intensity reduction target for transport for 2030. This GHG intensity reduction target ensures some consistency<sup>32</sup> with the approach chosen under the Fuel Quality Directive (FQD) and refers to the life cycle emissions. Thus, by 2030, the Well-to-Wheel (WtW) GHG emissions of the total amount of energy used in transport will need to be 13% lower, in comparison to the Baseline. While the calculation method appears to be comparable to the FQD, there are some methodological changes. The Baseline, in the FQD, was calculated by multiplying the total energy, including electricity, supplied to the transport sector by 94.1 gCO<sub>2eq</sub>/MJ. This number represented the GHG intensity of the average liquid fossil fuel mix in the EU. In REDIII, the fossil fuel comparator for electricity use in transport has changed from 94 gCO<sub>2eq</sub>/MJ to 183 gCO<sub>2eq</sub>/MJ, which represents the GHG intensity of fossil-derived electricity. Renewable electricity<sup>33</sup> used in vehicles is assumed to be zero carbon, and the GHG savings are calculated as 183 gCO<sub>2eq</sub>/MJ–0 gCO<sub>2eq</sub>/MJ. According to the Directive, the emissions savings of a typical hydrotreated vegetable oil (HVO) produced from Annex IX- B (i.e., used cooking oil (UCO)), are around 87% (i.e., 92 gCO<sub>2eq</sub>/MJ emission saving), whereas each unit of energy of renewable electricity makes a contribution towards the 13% GHG target about 2.2 times as large as for one unit of HVO.

<sup>32</sup> There are also inconsistencies in respect to a larger scope (all transport modes) and the energy carriers included.

<sup>33</sup> The amount of renewable electricity supplied to the transport sector is determined by multiplying the amount of electricity supplied to that sector by the average share of renewable electricity supplied in the territory of the Member State in the two previous years.

When compared with the food and feed crop-based biofuels with the 50% emission saving, the contribution of each unit of renewable electricity towards the 13% GHG target is about 4 times as large as for one unit of food-based biofuel.

By setting a GHG intensity reduction target, REDIII eliminates almost all of the multipliers associated with the renewable fuels and renewable electricity used in transport. The 1.2x multiplier for aviation and maritime fuels remains in REDIII and it only covers advanced biofuels from Annex IX -A feedstock and RFNBO. It does not apply to biofuels produced from Annex IX-B feedstocks and recycled carbon fuels (RCFs). This counting relates to sub-target achievement, and it is not included in the GHG intensity reduction target.

Within the renewable energy target set in REDII and the Dutch Ordinance, all fuels were required to pass a well-to-wheel GHG emissions reduction threshold to be eligible for the renewable energy target.

The threshold was defined depending on the construction date of the facility. Any facility that was constructed by 1 January 2020 and onwards would need to comply with the 65% GHG emission reduction threshold. For the RFNBO this was set to 70%. The renewable target does not favour renewable fuels with much higher emission reduction performances. They are all treated equally, provided that they are above the threshold. With the 13% GHG intensity reduction target, while the same GHG emission saving thresholds still apply, this policy instrument aims to stimulate renewable value chains with higher GHG emission saving potentials.

Member states are free to decide on counting the use of biofuels produced from food and feed crops towards the transport target. If the member states decide to not count them, they may reduce the GHG intensity reduction target accordingly, assuming that food and feed crop-based biofuels save 50% GHG emissions, compared to the baseline fossil fuel comparator, which is 94 g CO<sub>2eq</sub>/MJ. This corresponds to the typical values set out in an annex to the REDIII for the most relevant production pathways of food and feed crop-based biofuels, as well as the minimum savings threshold applying to most installations producing such biofuels.

#### 4.3.2 *Comparison of the sector coverage*

The Dutch Ordinance covers diesel, petrol and heavy fuel oil supplied to road and rail transport, non-road machinery and recreational boating (when not at sea). It excludes fuels supplied to (international) maritime and aviation bunkering. REDIII, however, proposes to expand the size of the fuel pool and covers all types of fuels and energy from the transport sectors, including aviation and maritime. This means that both the GHG intensity reduction target and the sub-targets on certain renewable fuels introduced in REDIII will likely be larger than the targets set in the Ordinance. The transport sector according to Eurostat refers to five main types of transport modes, namely air, inland waterways, rail, road and maritime (sea). Off-road use in agriculture and forestry is excluded from transport and is instead counted towards the final energy consumption of the agriculture and forestry sector. Fuel used in fishing ships is also excluded from transport and included in the final energy consumption of the fishing sector. As it is very difficult to distinguish between diesel for mobile machineries and road transport the Dutch implementation has been including this sector under the transport sector.

Therefore, the non-road mobile machinery related energy use is included in this study when REDIII implications are discussed. To put this change of total fuel and energy coverage into perspective, the total amount of fuels under obligations according to the Ordinance and REDIII can be compared. Based on the KEV2022 projections, the obligation set by the Ordinance will relate to 389.5 PJ in 2030. The total amount of fuels used in the transport sector, according to the REDIII coverage<sup>34</sup>, will be around 1076 in 2030. Thus, REDIII almost triples the fuel pool, when compared with the obligations introduced in the Ordinance based on the 2020 values.

#### 4.3.3 *Comparison of the sub-targets and caps*

##### 4.3.3.1 *Sub-target for advanced biofuels from Annex IX A list*

The Dutch Ordinance sets the advanced biofuel sub-target to 7% in 2030, which includes double counting. Thus, the physical contribution should be at least 3.5% of the energy content of fuels delivered to road and rail, non-road machinery, and recreational boating. REDIII proposes the advanced biofuels target to be 2.2% of energy supplied to all transport modes. It removes the double counting. While the relative share introduced in REDIII appears to be lower than the Ordinance, the size of the demand for such biofuels is likely to be larger due to the coverage of the larger pool.

##### 4.3.3.2 *A cap to biofuels produced from feedstocks in Annex IX-B*

The Dutch Ordinance caps the biofuels produced from feedstocks listed in Annex IX, Part B. These feedstocks are used cooking oil (UCO) and animal fats (AF). Use of biofuels from these fuels is limited to the 2020 levels, which was 5% of the national transport without double counting and 10% with double counting. REDIII does not change the cap introduced in REDII, which is 1.7% of the energy supplied to the transport sector in 2030. In this study it is assumed that, regardless of where the biofuel is used, the total amount of these biofuels shall be kept to 1.7%. This means also use in the aviation or maritime sectors will need to be limited. It is important to note that this is the REDIII perspective. Neither FuelEU Maritime nor the Refuel Aviation regulation proposals refer to this limit.

##### 4.3.3.3 *A cap to biofuels produced from food or feed crops*

REDIII has maintained the same text as REDII, which states that the share of those biofuels and bioliquids should be limited to their 2020 level. If the 2020 level was lower than 7% the MS can increase this limit with 1% point. The Dutch Ordinance follows the REDII and keeps it to 2020 level, which was 1.4% of the total amount of diesel and gasoline consumed in the Netherlands. The total amount of biofuels produced from food or feed crops was only 5.1 PJ in 2020 (NEa, 2021). This amount corresponds to 0.5% of the total transport fuel, including bunker fuels in 2020<sup>35</sup>. Consequently, according to REDII and REDIII, the share of biofuels from food and feed crops shall not be more than one percentage point higher than 0.5%. If the share is below 1% in a Member State, it may be increased to a maximum of 2% of the final energy consumption in the road and rail transport sectors. This means that the share of such biofuels can be max 0.8%.

<sup>34</sup> This includes fuels in maritime and aviation, but excludes non-road machinery.

<sup>35</sup> According to CBS total final energy use in transport was 389.5 PJ and bunkering was 590.4 PJ in 2020.



As part of the Climate Agreement, it was agreed that the 1% point increase would not be allowed. Therefore, in this study the cap is set to 0.5%.

#### 4.3.3.4 Sub-target for RFNBO

Neither REDII nor the Dutch Ordinance includes a sub-target for RFNBO. Differently, REDIII introduced a minimum of 2.6% sub-target for these fuels by 2030. For the calculation of the share of RFNBO, member states can also include RFNBO when they are used as intermediate products to produce conventional fuels. So, the sub-target can be met using the following options:

- Direct use of RFNBO in the vehicle fleet, vessels, and aircrafts. This refers to renewable hydrogen or other e-fuel options.
- Use of RFNBO as intermediate product to produce conventional fuels<sup>36</sup>, such as in refineries. This relates to use of hydrogen produced from renewable electricity in the production of conventional fuels. This second option will contribute to the Well-to-tank GHG emissions intensity reduction of conventional fuels.

Table 4-1: Comparison of REDII, REDIII and the Dutch ordinance

|                                                             | REDII transport target                                                                 | Dutch Ordinance                                                                                                                                                                            | REDIII                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fuel suppliers subject to the obligation                    | Total energy used in road and rail transport                                           | Diesel, gasoline, and heavy fuel oil supplied to: Road and rail transport<br>Non-road mobile machinery, Agricultural tractors and forest machines, Recreational boating (when not at sea). | Total energy used in all transport modes: Road and rail transport<br>Inland shipping<br>Aviation and maritime sector, including international bunkers<br>Non-road, agricultural tractors are accounted towards the overall RED target (article 7) but not considered to be part of transport |
| Type and level of target                                    | Overall RES target (energy content) at least 14% by 2030 (including multiple counting) | Overall RES target (energy content) at least 17.9% RES in 2022, increasing to 28% in 2030 (including multiple counting)                                                                    | Overall GHG emissions intensity reduction target 13% reduction by 2030, compared to the baseline calculated (no multiple counting)                                                                                                                                                           |
| Sub-target for advanced biofuels from Annex IX-A feedstocks | At least 0.2% in 2022, 1% in 2025 and 3.5% in 2030. These include double counting.     | Linear growth from 1.8% in 2022 to 7% in 2030. These include double counting.                                                                                                              | At least 0.2% in 2022, 0.5% in 2025 and 2.2% in 2030. No double counting. When used in aviation and maritime counted 1.2 times.                                                                                                                                                              |
| Sub-target for RFNBOs (e-fuels)                             | No sub-target                                                                          | No sub-target                                                                                                                                                                              | At least 2.6% in 2030. It includes both direct uses, and/or use as intermediate product for                                                                                                                                                                                                  |

<sup>36</sup> There is an ongoing discussion regarding whether to also include renewable hydrogen use in biofuel production.

| REDII transport target                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Dutch Ordinance                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | REDIII                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | the production of conventional fuels. When used in aviation and maritime counted 1.2 times                                                                                                                                                           |
| Limit to biofuels and bioliquids from food and feed crops | No more than 1% point higher than 2020 share in road and rail transport, with a maximum of 7%. Member States may set a lower limit and may distinguish between different biofuels from food or feed crops                                                                                                           | Limited to the 2020 level, which is 1.4% of the total diesel and gasoline consumed in transport.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Limit is same as REDII, with the difference that transport sector is expanded to also cover aviation and maritime. If a Member State decides to further limit the share, that Member State may reduce the greenhouse gas intensity reduction target. |
| Limit to biofuels from Annex IX-B feedstocks              | Limited to 1.7 % <sup>37</sup> of the energy content of transport fuels in 2030.                                                                                                                                                                                                                                    | Limited to the 2020 levels, which is 5% without double counting and 10% with double counting.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Same as REDII, with the difference that transport sector is expanded to also cover aviation and maritime                                                                                                                                             |
| Multiple counting                                         | Biofuels and biogas from annex IX- A and B can be double counted<br>Renewable electricity can be counted 4 times when supplied to road vehicles and 1.5 times when supplied to rail transport<br>Advanced biofuels and other renewable fuels in aviation and maritime can be counted 1.2 times their energy content | Biofuels and biogas from annex IX list- A and B can be double counted<br>Renewable electricity in road transport counted 4 times its energy content. Renewable electricity in rail transport is not counted.<br>RFNBO counted 2.5 times to the overall target<br>Advanced biofuels and other renewable fuels to aviation and shipping can be counted towards the target up to 1 January 2025. After that they will not be counted.<br>Biofuels from Annex IX-A and RFNBO in aviation can be counted 1.2 times their energy content (on top of feedstock multipliers);<br>Annex IX-A in maritime can be counted 0.8 times their energy content (on | No multiple counting. Only 1.2 times counting for RES (annex IX A, and RFNBO) when used for aviation and maritime                                                                                                                                    |

<sup>37</sup> This limit refers to counting towards transport sector targets. (Article 25). They are accountable towards the overall target (Article 7).

| REDII transport target        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Dutch Ordinance                | REDIII                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | top of feedstock multipliers). |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| GHG emission saving threshold | At least 65% for installations producing biofuels from 1 January 2021 onwards<br>at least 70% for installations producing RFNBO and RCF.                                                                                                                                                                       | Same as REDII                  | Same as REDII                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Renewability of electricity   | The average share of renewable electricity in a MS as measured two years before the year in question.<br>In the case of electricity obtained from a direct connection to an installation generating renewable electricity and supplied to road vehicles, that electricity shall be fully counted as renewable. | Same as REDII                  | The average share of renewable electricity in the two previous years.<br>In case electricity is obtained from a direct connection to an installation generating renewable electricity and supplied to the transport sector, that electricity shall be fully counted as renewable. |
| Renewability RFNBO            | The average share of electricity from renewable sources, as measured two years before the year in question, shall be used to determine the share of renewable energy                                                                                                                                           | Same as REDII                  | A draft delegated act is published that introduces the methodology to illustrate the renewable origin of the electricity used in the production of RFNBO                                                                                                                          |
| Other biofuels                | Liquid biofuels from crops that do not entail a risk of agricultural land expansion (i.e., catch and cover crops) can be counted towards the target.                                                                                                                                                           | Same as REDII                  | Same as REDII                                                                                                                                                                                                                                                                     |

#### 4.4 Quantitative assessment of REDIII and comparison to KEV projections for 2030

##### 4.4.1 GHG intensity reduction calculation methodology

The GHG intensity reduction is calculated using the formula below.

$$\text{GHG intensity reduction} = \frac{\text{Reference GHG emissions} - \text{Base GHG emissions}}{\text{Base GHG emissions}}$$

REDIII has introduced the rules to calculate the GHG intensity reduction. However, there are some unclarities about these rules. On the one hand, the GHG emissions saving calculation for renewable electricity is mentioned to be calculated by multiplying the amount of renewable electricity that is supplied to all transport modes by the fossil fuel comparator, which is 183 gCO<sub>2eq</sub>/MJ. On the other hand, the baseline is mentioned to be calculated by multiplying the total amount of energy, including electricity, supplied to the transport sector by the fossil fuel comparator, which is 94 gCO<sub>2eq</sub>/MJ. Thus, it is unclear whether the GHG intensity reductions related to the renewable electricity use in transport should be based on 183 gCO<sub>2eq</sub>/MJ or 94 g CO<sub>2eq</sub>/MJ. Next to that, within the Fuel Quality Directive the GHG intensity reduction was calculated using the respective well to-wheel GHG emissions of different fossil fuels. The FuelEU Maritime Regulation proposal also introduces a GHG intensity limit for the maritime sector to reduce GHG emissions. The GHG intensity limit calculation is based on the GHG emission factors of different fossil fuels. This methodology appears to be more in line with the FQD and less with the REDIII methodology.

Given these unclarities two different approaches were followed in this study. In Approach 1, the reference GHG emissions related to fossil fuel use were based on the respective emission intensities of each type of fossil fuel. So, fossil fuels with lower emission intensities in comparison to the base emission factor of 94 gCO<sub>2eq</sub>/MJ, contribute to the GHG intensity reduction. This approach follows almost the same approach as FQD. Only the electricity use is treated differently<sup>38</sup>. This approach also appears to be better in line with the methodology introduced in the FuelEU Maritime Regulation proposal. Given that REDIII covers all sectors, including maritime, a more harmonised approach appears to make sense.

In Approach 2, all types of fossil fuels were assumed to have the emission factor of 94 gCO<sub>2eq</sub>/MJ. Therefore, no differentiation was made among the different fossil fuel types and related emission factors in road and rail, inland shipping, aviation and maritime. This approach follows the REDIII methodology but appears not very much in line with the emission reduction method introduced in the FuelEU Maritime Regulation proposal.

Table 4-2 introduces the calculation details. The emission factors used in the calculations can be found in Annex I.

<sup>38</sup> In FQD the GHG intensity of electricity use in road transport was based on the life cycle GHG emission intensity of electricity generation in the country.

Table 4-2: Summary of the calculation methodologies

|                                                         | Approach 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Approach 2                                                                                              |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reference GHG emissions                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                         |
| Fossil fuels                                            | Amount of fossil fuels are multiplied by the respective Well-to-Wheel (WtW) emission factors. <ul style="list-style-type: none"><li>• The emission factors related to fossil fuel use in road, rail and inland shipping are derived from NEa.</li><li>• The emission factors related to fossil fuel use in maritime are derived from FuelEU Maritime Regulation proposal.</li><li>• The emission factor for fossil kerosene is derived from diesel emission factors.</li></ul> | The total amount of fossil fuels used in all transport modes is calculated by 94 gCO <sub>2eq</sub> /MJ |
| Biofuels                                                | Total amount of biofuels used in transport sector is multiplied with the respective Well-to-tank (WtT) emission factors. These emission factors are derived from REDII, Annex V <sup>39</sup> . The typical values are used for the calculations. The default values are considered for the sensitivity check.                                                                                                                                                                 |                                                                                                         |
| Renewable electricity use in transport                  | The renewable electricity amount is calculated using the average share of renewable electricity in 2028 and 2029. KEV2022 projections for 2030 are used for this calculation and the average of the two years is 68%. The emission factor for this amount is considered as zero.                                                                                                                                                                                               |                                                                                                         |
| RFNBO use in transport, including H <sub>2</sub> use    | The total amount of RFNBO is multiplied by the WtT emission factors. These emission factors are derived from JRC (JEC, V5). This database assumes that RFNBO are produced from renewable electricity from wind energy.                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                         |
| Base GHG emissions                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                         |
| All liquid and gaseous fuels, including renewable fuels | The total amount of all liquid and gaseous fuels is multiplied by 94 gCO <sub>2eq</sub> /MJ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                         |
| Electricity use                                         | All amounts of electricity are multiplied by 183 gCO <sub>2eq</sub> /MJ for the base emission calculations.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                         |

#### 4.4.2 KEV2022 projections and related GHG intensity reduction

The results indicate that the KEV2022 projections for 2030 would cause around 9% GHG intensity reduction in the transport sector<sup>40</sup> when the calculations are based on the respective emission factors for different fossil fuels (Approach 1). When Approach 2 is followed, the renewable fuel projections for 2030, including renewable electricity in the transport sector, bring about 8% GHG intensity reduction.

<sup>39</sup> NEa also introduces the average default values for biofuels used in the L, however, these values have been changing in each year. Therefore, the default and typical values have been used in the calculations.

<sup>40</sup> It should be noted that the transport sector includes road and rail transport, non-road machinery, inland shipping, aviation and maritime.

Thus, the REDIII GHG intensity reduction target of 13% cannot be met according to the calculations that follow the two different approaches. As stated previously, the KEV2022 projections on renewable fuels and electricity are based on the Dutch Ordinance. Table 4-3 introduces the calculated average emission factors according to Approach 1 and Approach 2. The average emission factor for total fossil fuels appears lower than 94 g CO<sub>2eq</sub>/MJ when the respective emission factors of different fossil fuels are used as done in Approach 1. This relates to the large amount of bunker fuels, which have relatively lower emission factors.

Table 4-3: GHG intensity reduction based on the KEV projections for 2030 (Approach 1 and 2, using typical emission factors for biofuels)

|                          |                         | Approach 1       | Approach 2       |
|--------------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Average emission factors |                         |                  |                  |
| Fossil fuels             | g CO <sub>2eq</sub> /MJ | 92.8             | 94.0             |
| Biofuels*                | g CO <sub>2eq</sub> /MJ | 16.9-18.5        | 16.3-18.5        |
| RFNBO                    | g CO <sub>2eq</sub> /MJ | 1.4              | 1.4              |
| <i>Total average</i>     | g CO <sub>2eq</sub> /MJ | <i>87.9-88.0</i> | <i>89.0-89.1</i> |
| <i>Base emission**</i>   | g CO <sub>2eq</sub> /MJ | <i>97,0</i>      | <i>97,0</i>      |
| Emission saving          |                         | 9.5%-9.3%        | 8.3%-8.2%        |

\* the range refers to use of typical versus default values from Annex V in REDII.

\*\* for all fossil fuels 94 gCO<sub>2eq</sub>/MJ is implemented as emission factor. For electricity use 183 gCO<sub>2eq</sub>/MJ is implemented.

The GHG intensity reduction potential calculated in this study should be carefully considered. Companies are allowed to use different emission factors that represent their value chains more properly. This means that lower emission factors can be used, and this will increase the GHG intensity reduction potential. In fact, the emission factors introduced in the recent NEa reports appear to be lower than the typical emission factors introduced by the Commission. These emission factors have been changing over the years, depending on the mixture of biofuels used in the transport sector.

#### 4.4.3 *Comparison of the KEV2022 renewable fuel and electricity projections with REDIII demand*

REDIII introduces different sub-targets for biofuels produced from annex IX-A list and also a sub-target for RFNBO. In addition, REDIII expands the coverage from road and rail transport to all transport. Given these significant changes, the amount of renewable energy demanded for the transport sectors is likely to be different than the KEV22 projections for 2030.

##### *Annex IX- A and B biofuels*

As highlighted earlier, the sector coverage has been expanded in REDIII. Thus, the denominator has changed. Table 4-4 presents the comparison of the denominator and the sub-targets and caps according to KEV22 projections and the REDIII for 2030. Even though the sub-target for advanced biofuels produced from Annex IX-A in REDII and Ordinance is higher than REDIII, the absolute demand for such biofuels will be larger according to REDIII. Biofuels from Annex IX-A will need to more than doubled in comparison to the KEV2022 projections and supplying such large amounts will be challenging.

In 2020, biofuels from Annex IX-A feedstocks were around 6 PJ, of which 90% was related to ethanol that can be blended with gasoline with a maximum of 10% volume. The remaining 10% was Fatty Acid Methyl Esther (FAME) that can be blended with diesel with a maximum of 10% volume. In 2021, these biofuels were increased to around 12 PJ, of which 80% was related to biofuels that can be blended with gasoline and diesel in limited amounts. When we assume that the blend walls will stay the same in 2030 it becomes important to a) supply biofuels that are almost identical to conventional biofuels, or b) consider possible adaptations to the vehicle engines so that they can use other types of biofuels, i.e., methanol, DME or ammonia. In this study we assumed that the majority of biofuels is used in inland transport and only a limited amount is used in the aviation sector.

REDIII keeps the 1.7% cap to Annex IX-B biofuels. We apply this cap to all transport fuels including hydro processed esters and fatty acids (HEFA) produced from Annex IX-B for aviation. In KEV2022, in line with the Ordinance, a 5% cap was implemented to diesel and gasoline supplied to road and rail transport and non-road machinery. An additional 6.8 PJ biokerosene was considered for the aviation sector. We assume that this 6.8 PJ biokerosene relates to HEFA and falls under the 1.7% cap. KEV2022 assumes biofuels from Annex IX-B to be around 19.5 PJ in 2030, whereas in this study it is calculated to be around 18.3 PJ to comply with the REDIII cap<sup>41</sup>. Biofuels from Annex IX- B feedstocks mainly consist of used cooking oil methyl ester (UCOME), a diesel substitute that can be blended with a maximum of 7%vol, hydrotreated vegetable oil (HVO), a diesel substitute that can be blended in high amounts and even can be drop-in, and HEFA, which can be blended with kerosene in aviation. In 2020, these biofuels were around 22.7 PJ and more than 90% was related to UCOME (NEa, 2021). According to REDIII, the total amount of these fuels will need to be lowered.

#### *Biofuels from food and feed crops*

KEV2022 follows the Ordinance and set the 1.4% cap to biofuels from food and feed crops. REDIII includes the specific rules for these biofuels. These rules are as follows:

*the share of biofuels and bioliquids, as well as of biomass fuels consumed in transport, where produced from food and feed crops, shall be no more than one percentage point higher than the share of such fuels in the final consumption of energy in the transport sector in 2020 in that Member State, with a maximum of 7% of the final consumption of energy in the transport sector in that Member State.*

Biofuels from food and feed crops amounted to 5.1 PJ in 2020 (NEa, 2021). This corresponded to 0.5% of total transport fuels in 2020<sup>42</sup>. So, biofuels from food and feed crops will be 5.4 PJ in 2030, corresponding to 0.5% of the total energy demand in transport. KEV2022 projections indicate 5.5 PJ in 2030.

<sup>41</sup> The Netherlands might still apply the national cap to Annex IX-B, even though it might only report 18.3 to EU as the REDIII cap is 1.7%. So the actual volume of Annex IX-B, also under the REDIII scenario, could still be 19.5.

<sup>42</sup> According to CBS, the total final energy use in inland transport was 389.5 PJ and the total bunker fuels were 590.4 PJ in 2020. Adding the two up, the total transport fuels amounted to 979.9 PJ in 2020.

*RFNBO sub-target*

REDII and the Ordinance did not include any sub-targets for RFNBO. Nevertheless, KEV2022 projections indicate in total 1.4 PJ RFNBO in 2030, of which 0.3 PJ relates to H<sub>2</sub> use in road transport and 1.1 PJ e-kerosine use in aviation (in line with the sub-target introduced in the ReFuel EU Aviation regulation proposal<sup>43</sup>). REDIII introduces a sub-target of 2.6%, which refers to a total of 28 PJ RFNBO. This RFNBO can be supplied in the form of direct H<sub>2</sub> supply, other synthetic fuels and/or H<sub>2</sub> use as intermediate product to produce conventional fuels.

- In this study, we assumed that all this additional RFNBO is in the form of e-diesel and calculated the emission reduction potential accordingly.
- A recent study conducted by Uslu, et al (2022) indicated the RFNBO use as intermediate product in the production of conventional fuels production to be in the range of 8-18 PJ. The low value assumes only on-site captive hydrogen production via SMR can be replaced. The high value also includes the substitution of externally supplied merchant hydrogen. It can be concluded that a substantial portion of the RFNBO sub-target can be in the form of green H<sub>2</sub> use in refineries. This option will, however, need to be clarified in relation to whether and how it will contribute to the 13% emission reduction target. When the emission reduction of conventional fuels is relatively low, more renewable energy in addition to the sub-targets of biofuels from Annex IX A and RFNBO and/or further electrification of road transport will be necessary.

Table 4-4: Amount of biofuels and RFNBO according to KEV2002 projections for 2030 and the REDIII

|                                                   |    | KEV2022 projections<br>for 2030 | REDIII-targets<br>for 2030 |
|---------------------------------------------------|----|---------------------------------|----------------------------|
| <b>Total transport fuels/Denominator</b>          | PJ | 389,5                           | 1075.5                     |
| <b>Minimum sub-target for biofuels Annex IX-A</b> | %  | 3.5%                            | 2.2%                       |
| <b>Biofuels Annex IX-A</b>                        | PJ | 10.5                            | 23.7                       |
| <b>Cap to biofuels from Annex IX-B</b>            | %  | 5%                              | 1.7%                       |
| <b>Biofuels from Annex IX-B</b>                   | PJ | 19.5                            | 18.3                       |
| <b>Cap to biofuels from food and feed crops</b>   | %  | Share in 2020                   | Share in 2020              |
| <b>Biofuels from food and feed crops</b>          | PJ | 5.5                             | 5.4                        |
| <b>Minimum sub-targets for RFNBO</b>              | %  | -                               | 2.6%                       |
| <b>Total amount of RFNBO</b>                      | PJ | 1.4                             | 27.7                       |
| <b>Total amount of biofuels [PJ]*</b>             |    | 51.5                            | 47.3                       |

- *This value includes also other renewable fuels as biofuel to meet the overall obligation*

<sup>43</sup> In KEV2022, ReFuel EU aviation regulation proposal is considered 'intended policy', whereas the FuelEU Maritime regulation proposal was considered as 'agenda setting policy'.



#### 4.4.4 Calculating GHG intensity reductions

##### 4.4.4.1 KEV2022 projections and REDIII obligations

The assessment of the KEV2022 transport sector projections for 2030 shows that the amount of renewable energy will not be sufficient to meet the overall 13% GHG intensity reduction. Also, when the sub-targets and caps introduced in REDIII are implemented the amount of renewable fuels and renewable electricity used in the transport sector does not suffice to meet the 13% GHG intensity reduction target. Figure 4-2 illustrates the renewable energy deployment in 2030 in all transport modes according to KEV2022 projections and according to the REDIII obligations. It also shows the calculated GHG intensity reduction for both based on the two approaches introduced before. The lower GHG intensity reduction figures relate to Approach 2 and the higher intensity reduction figures relate to Approach 1. The renewable share of electromobility in both cases is based on the average renewable electricity share in the previous two years, thus 2028 and 2029, which is 68% (KEV2022).

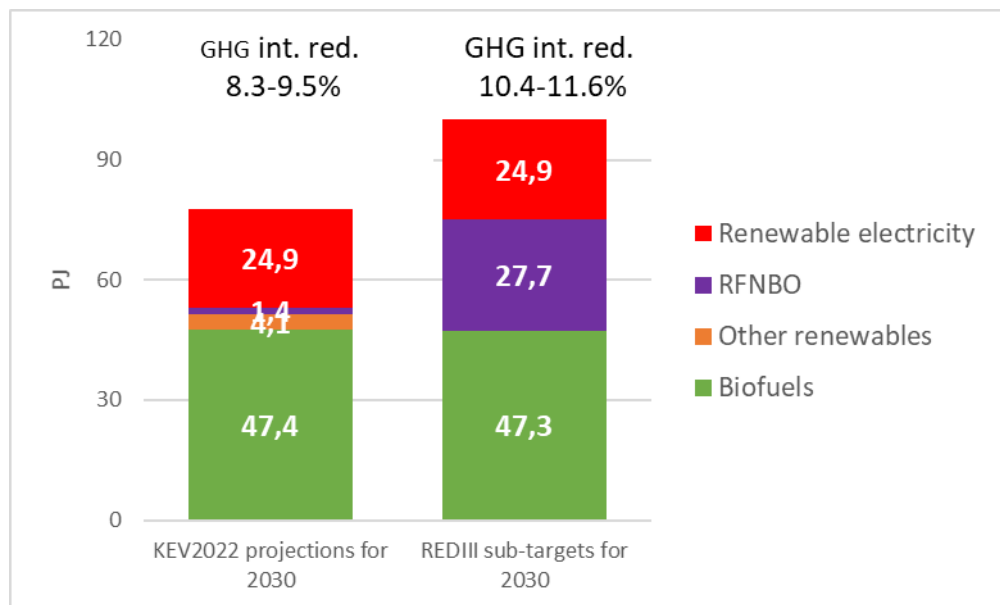


Figure 4-2: Renewable energy deployment and respective GHG intensity reduction according to KEV2022 and REDIII set obligations for 2030

*'Other renewables' to meet the overall blending obligation is assumed to be biofuels.*

##### 4.4.4.2 Achieving the 13% intensity reduction target

Results clearly show that additional renewable fuels and/or further electrification will be needed to meet the emission intensity reduction target.

This additional demand is analysed based on the options below.

- Option 1. Meeting the GHG intensity target by means of additional biofuels. In this option emission intensity of bio-based synthetic diesel is used as the reference emission factor for additional biofuel.
- Option 2. Meeting the GHG intensity reduction target by further electrification. In this option, the renewable share of direct electrification is kept the same.

The renewable share of electricity generation is calculated to be 68%, which is the average of renewable share in electricity generation in 2028 and 2029 (KEV, 2022). Next to that, the energy savings due to electrification are assumed to be 1.94.

#### *Results based on the calculation approach 1*

Meeting the 13% GHG intensity reduction target will require an additional 14.9 PJ biofuels, when compared with the KEV2022 biofuel projections for 2030 for all transport sectors. This is an almost 29% increase. When the 13% GHG intensity reduction is assumed to be met with further electrification (including electricity projections for trains), rather than biofuels, results show that a 32% increase in electromobility, compared to the KEV projections will be needed to meet the target. In absolute terms, the additional electrification is calculated to be around 11.7 PJ, above the 36,6<sup>44</sup> PJ electrification assumed in transport sector in KEV2022.

Table 4-5 presents the detailed results based on this approach. Further electrification reduces the demand for biofuels as both the sub-targets and caps were introduced as share of final energy demand and further electrification will lower the fossil fuel demand thanks to energy efficiency gains. Figure 4-3 illustrates this and shows the total fuel and energy demand broken down to the types of fuels.

Table 4-5: Comparison of the renewable fuels and electricity in 2030

|                                                 | KEV2022<br>projections<br>for 2030 | Achieving 13% GHG intensity reduction               |                                                       |
|-------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                 |                                    | Option 1<br>with additional biofuels                | Option 2<br>with additional<br>electrification        |
| Biofuels from food and feed crops               | 5.5                                | 5.4                                                 | 5.3                                                   |
| Biofuels from Annex IX-A**                      | 10.5 <sup>i</sup>                  | 23.7                                                | 23.2                                                  |
| Biofuels from Annex IX-B                        | 19.5                               | 18.3                                                | 17.9                                                  |
| Other biofuels                                  | 16.0 <sup>ii</sup>                 | -                                                   | -                                                     |
| RFNBO*                                          | 1.4                                | 27.7 (28 when use in aviation is 1.2 times counted) | 27.2 (27.4 when use in aviation is 1.2 times counted) |
| Electricity***                                  | 36.6                               | 36.6                                                | 36.6                                                  |
| <i>...of which renewable</i>                    | <b>24.9</b>                        | <b>24.9</b>                                         | <b>24.9</b>                                           |
| Additional biofuels to meet the target          | -                                  | 19                                                  |                                                       |
| Additional electricity to meet the target       |                                    |                                                     | 11.7                                                  |
| <i>...of which renewable</i>                    |                                    |                                                     | <b>7.9</b>                                            |
| Total renewable fuels and renewable electricity | <b>77.8</b>                        | <b>119</b>                                          | <b>106.3</b>                                          |

<sup>44</sup> Total electrification includes road and rail transport and also electricity use in the harbour(walstroom).

- \* e-kerosene in aviation is kept the same as in the KEV2022 projections, which is 1.1 PJ, in all cases to simplify calculation. This amount is 1.2 times counted towards the RFNBO sub-obligation. Maritime projections are kept the same as KEV2022 projections, which means no role for biofuels or RFNBO.
- \*\* It is assumed that biofuels from Annex IX-A are used in inland transport to simplify the calculations. If and when they are used in aviation and maritime, that can be counted 1.2 times to the relevant sub-target.
- \*\*\* Total electricity includes use in road (27.8 PJ and rail (7.5 PJ) and also shore port (1.3 PJ)
  - i) Updated. This number was forgotten in the previous version.
  - ii) Updated. In the previous version it was 8.8PJ.

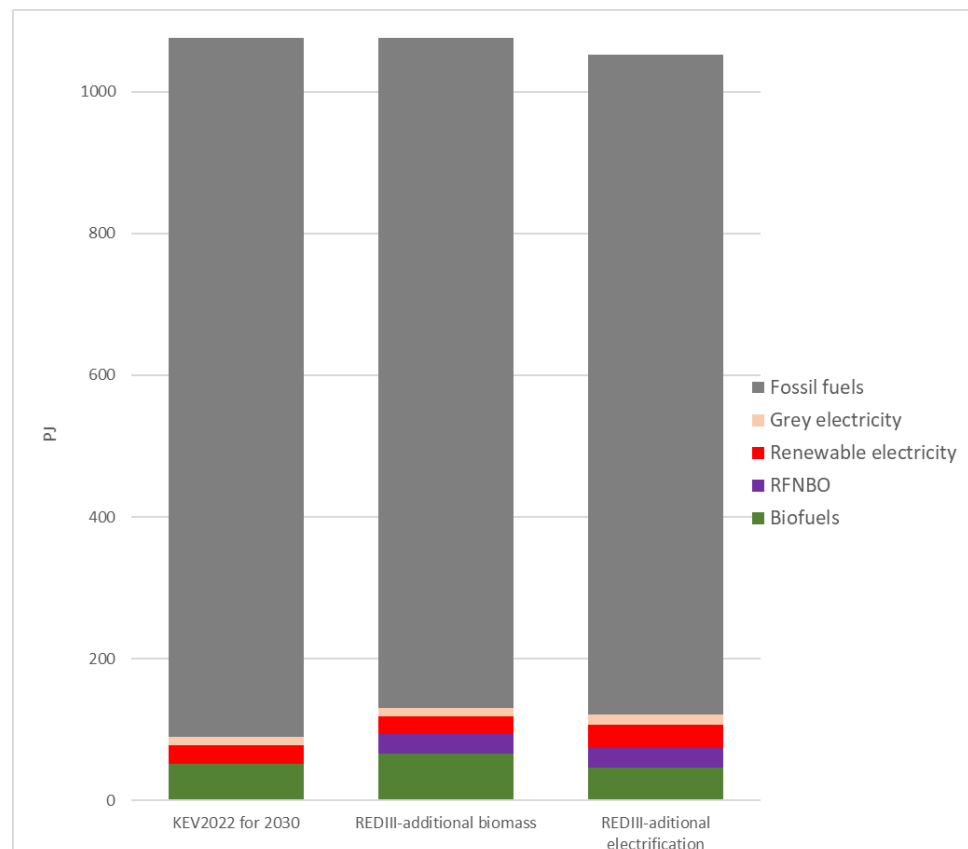


Figure 4-3: Fuel mix of the two options to achieve the 13% GHG intensity reduction in 2030 in comparison to KEV2022 projections for 2030

#### *Based on the calculation approach 2*

This approach assumes that all fossil fuels use the same GHG emission factor, which is 94 g CO<sub>2</sub>eq/MJ. So, the different type of fossil fuels and related GHG emission factors (i.e., LPG, LNG, MDO, HFO, diesel and gasoline), used in different transport modes, are ignored in this approach. Only the contribution of renewable fuels and renewable electricity to the GHG intensity reductions are taken into account.

Table 4-6 presents the demand for renewable fuels and electricity to meet the 13% GHG intensity reduction.

The results show higher demand for biofuels and/or renewable electricity to achieve the 13% intensity reduction target, when compared with the approach 1. The results show an additional 30.8 PJ of biofuels, or almost a 60% increase, when compared with the KEV2022 projections for 2030. When the achievement is mainly based on further electrification, an additional 21.7 PJ electrification will be needed, in addition to the KEV2022 projections for electromobility. This higher demand for renewable energy, in comparison to Approach 1, relates to the implementation of a single emission factor to all types of fossil fuels. In this approach, the contribution of fossil fuels with lower GHG emission intensities are ignored.

Table 4-6: Comparison of the renewable fuels and electricity in 2030

| Presents                                        | KEV2022<br>projections for<br>2030 | Achieving 13% GHG intensity reduction              |                                                      |
|-------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                 |                                    | Option 1<br>with additional<br>biofuels            | Option 2<br>with additional<br>electrification       |
| Biofuels from food and feed crops               | 5.5                                | 5.4                                                | 5.2                                                  |
| Biofuels from Annex IX-A**                      | 10.5                               | 23.7                                               | 22.7                                                 |
| Biofuels from Annex IX-B                        | 19.5                               | 18.3                                               | 17.6                                                 |
| Other biofuels                                  | 16.0 <sup>i</sup>                  | -                                                  | -                                                    |
| RFNBO*                                          | 1.4                                | 27.7(28 when use in aviation is 1.2 times counted) | 26.6(26.9 when use in aviation is 1.2 times counted) |
| Electricity                                     | 36.6                               | 36.6                                               | 36.6                                                 |
| ...of which renewable                           | 24.9                               | 24.9                                               | 24.9                                                 |
| Additional biofuels to meet the target          | -                                  | 35                                                 | -                                                    |
| Additional electricity to meet the target       |                                    |                                                    | 21.7                                                 |
| ...of which renewable                           |                                    |                                                    | 14.7                                                 |
| Total renewable fuels and renewable electricity | 77.8                               | 135                                                | 111.7                                                |

\* e-kerosene in aviation is kept the same as KEV2022 projections, which is 1.1 PJ, in all cases to simplify calculation. This amount is 1.2 times counted towards the RFNBO sub-obligation. Maritime projections are kept the same as KEV2022 projections, which means no role for biofuels or RFNBO.

\*\* It is assumed that biofuels from Annex IX-A are used in inland transport to simplify the calculations. If and when they are used in aviation and maritime that can be counted 1.2 times to the relevant sub-target.

<sup>i)</sup> Updated. In the previous version it was 8.8 PJ.

The results show the significant importance of the GHG intensity reduction calculation methodology. Figure 4-4 shows the fuel mix required to meet the 13% GHG intensity reduction target, in comparison to the KEV2022 projections.

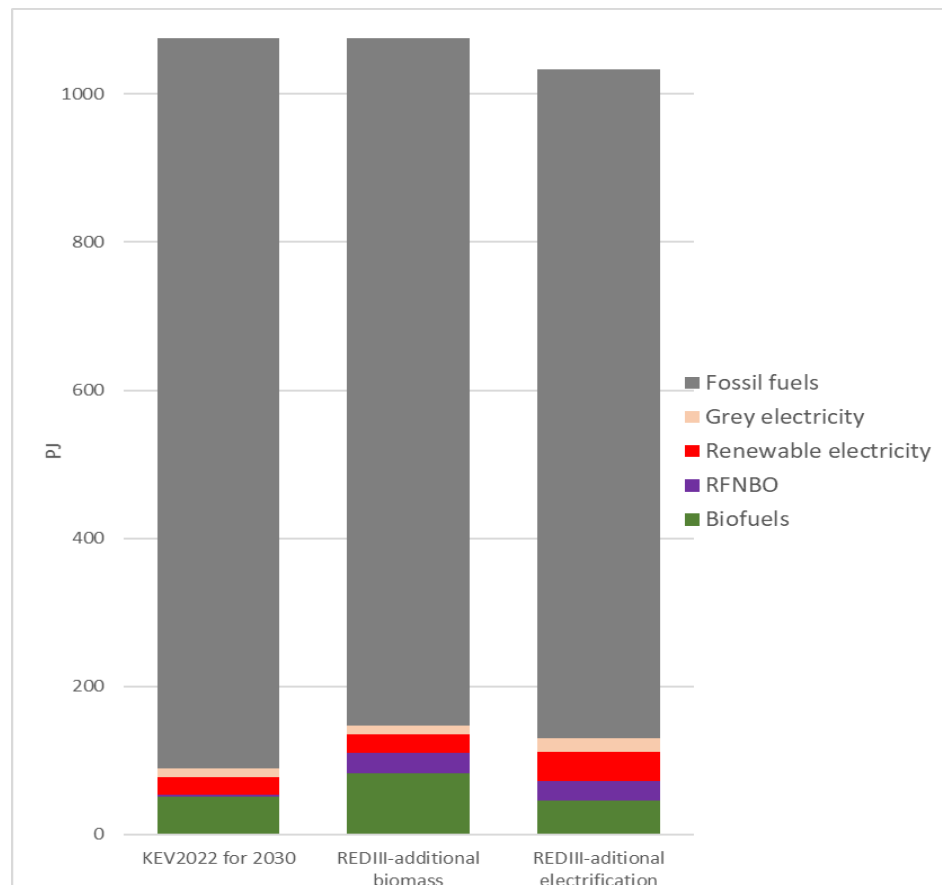


Figure 4-4: Fuel mix in 2030 to meet the 13 GHG intensity reduction target in comparison to KEV2022 projections, according to approach 2.

The sub-target in REDIII indicates a significant demand for RFNBO, which is around 27-28 PJ. According to REDIII, this sub-target can also be met via green H<sub>2</sub> use in the production of conventional fuels. REDIII, however, does not specify how to count this option towards the GHG intensity reduction target. Within the oil refineries substantial amounts of hydrogen are used to convert heavy aromatics products to lighter products, such as gasoline, diesel, and jet fuel by means of a hydrocracking process. Moreover, hydrogen is used to reduce the sulphur content of fuels by hydro-desulfurization to comply with the regulations. A significant share of this hydrogen demand is currently met by internal production of hydrogen during the catalytical reforming of naphtha. Nevertheless, supplementary hydrogen comes from steam reforming natural gas or by partial oxidation of heavy fuel oil fractions. Replacing a certain share of this hydrogen supply with green hydrogen and related GHG intensity reduction needs to be researched. Crude refining emissions comprise only 8% of total GHG emissions of fossil fuels well-to-wheel (WtW) emissions. A general conclusion can be that the intensity reduction via this route will be relatively low. Therefore, when this route is followed, larger amounts of biomass, e-fuels and/or electromobility are likely to be needed to achieve the GHG intensity reduction target.

#### 4.4.5 European Parliament amendments to REDIII

On 14 September 2022, the European Parliament amended the REDIII proposal.

These amendments will be discussed during the trilogy talks and a final agreement will be set. The REDIII amendments proposal from the Parliament includes many changes, including the changes below, which will greatly affect the order of magnitude of renewable energy demand.

- The GHG intensity reduction targets are increased to 16% in 2030.
- The sub-target for RFNBO is increased to 5.7% in 2030
  - A sub-target for the use of RFNBO in the maritime sector is introduced. By 2030, fuel suppliers shall deliver at least 1.2% RFNBO, including renewable H<sub>2</sub>, to maritime mode.

Figure 4-5 shows the renewable fuel and electricity demand to meet the 16% GHG intensity reduction. Based on the Approach 1 calculations, the total renewable fuel and electricity demand increases to 152 PJ, whereas with approach 2 it increases to 168.5 PJ. It is important to note that the majority of the RFNBO is assumed to be liquid e-fuels, more specifically e-diesel in this study.

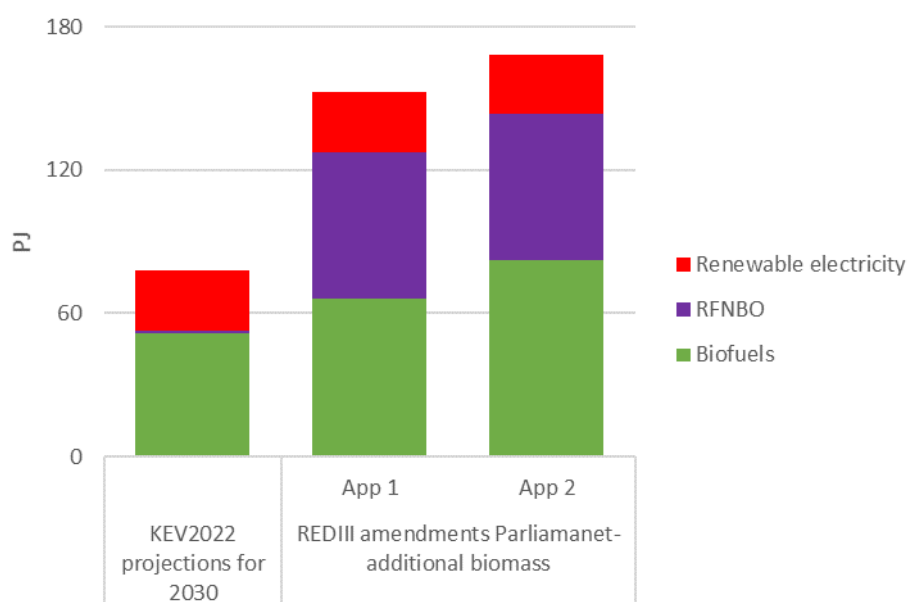


Figure 4-5: RED III amendments from the Parliament related demand for renewable energy in 2030 in comparison to KEV2022 projections

The REDIII was also discussed at technical level within the European Council's working parties. The Council introduced the possibility to choose between 13% GHG intensity reduction, or a binding target of at least 29% renewable energy in 2030. Furthermore, the Council added a cap to the amount of final consumption of energy in the maritime sector to be included in the calculation of their specific transport targets. This is particularly important for the Netherlands, with the large maritime bunkering. Hence, member states are allowed to cap the final energy consumption in the maritime transport at 15% in the calculation of the specific transport targets. If the gross final consumption of energy in the maritime transport sector is disproportionately high, more than a third of road and rail consumption, the cap would be 5%. Such a cap is not assessed in this study, however the effect to the results regarding the renewable energy demand will certainly be significant.

## 4.5 Conclusions and discussions

### 4.5.1 Conclusions

Results show that the transport sector GHG intensity reduction will be in the range of 8.2-9.5% based on the KEV2022 projections on renewable fuel and electricity for 2030. This range relates to the implementation of the two different calculation approaches and highlights the significant importance of methodological choices. The higher intensity reduction was based on the approach where the specific emission factors for different types of fossil fuels were included (referred to as Approach 1). In the other approach, no differentiation was made between the different fossil fuel types. They were all assumed to have the same emission factor as the baseline, which was 94 g CO<sub>2</sub>eq/MJ.

The REDIII proposal expanded the fossil fuel pool and included the aviation and the maritime sectors. It also introduced a new sub-target for the RFNBO. According to this sub-target, the RFNBO projections in KEV2022 for 2030 will need to be increased from 1.4 PJ to 28 PJ. Furthermore, the 13% GHG intensity reduction target will require substantially higher renewable energy than the KEV2022 projections for 2030. Depending on the type of renewable fuels, the additional demand to meet the intensity reduction target will vary. Figure 4-6 illustrates the total renewable energy demand, based on the two different calculation approaches and the assumptions that i) additional demand is satisfied by biofuels, and ii) additional demand is satisfied by further electromobility and related renewable electricity.

The total required amount of renewable energy appears to be in the range of 106-135 PJ. It is necessary to note that this study did not include the possible effects of the RefuelEU Maritime Regulation proposal. The fuel mix for the maritime bunkering is kept the same as KEV2022 projections.

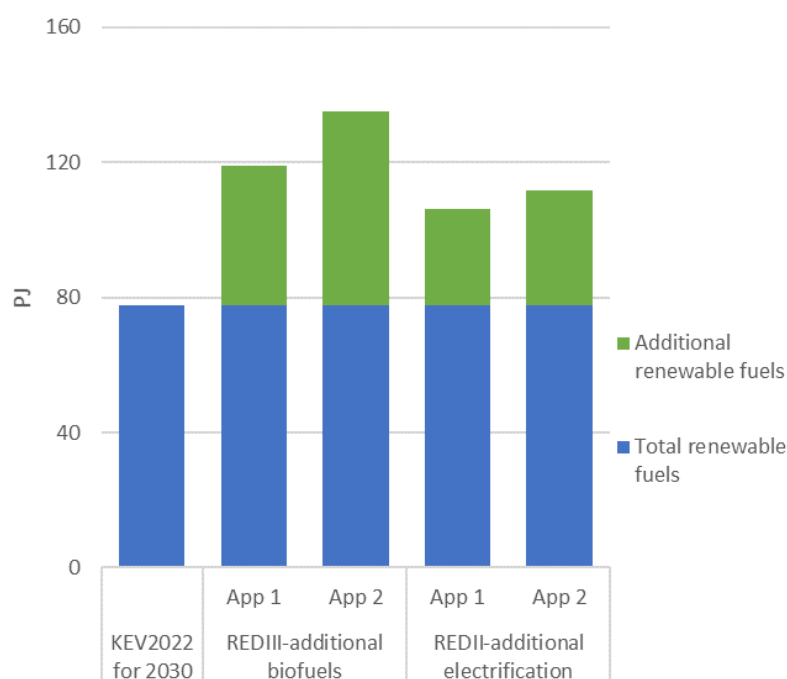


Figure 4-6: Additional renewable energy demand, in comparison to the KEV2022 renewable energy projections in 2030.

The breakdown of the renewable energy and the additional demand, in comparison to the KEV2022 projections for 2030, are presented in Figure 4-7. The additional biofuel demand is in the range of 19-35 PJ, when the emission intensity reduction target is to be met by more biofuels. When the target is to be achieved with further electromobility, the additional renewable electromobility demand appears to be in the range of 8 to 18 PJ. In both cases and approaches, the RFNBO will need to be increased from 1.4 PJ to 28 PJ.

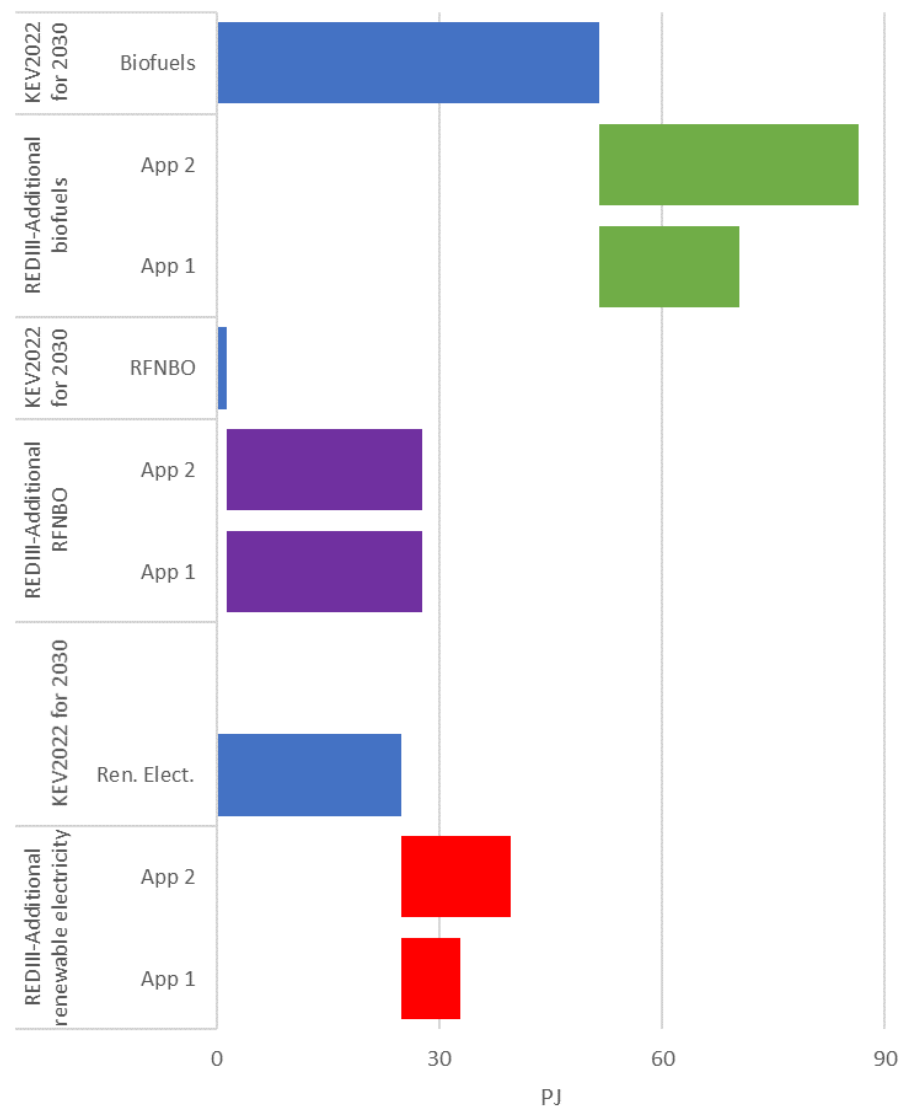


Figure 4-7: Breakdown of additional renewable energy in comparison to the KEV projections

#### 4.5.2 Discussions

The REDIII proposal is currently negotiated, and the targets and sub-targets can be altered during those negotiations. In fact, the European Parliament's amendments to the REDIII include significant changes. The RFNBO sub-target is proposed to be increased to 5.7% in 2030. In addition, the GHG intensity reduction target is set to 16% in this revision. When these are quantified the demand for renewable energy increases to around 150-170 PJ.



Another important topic relates to the supply of RFNBO. The revised directive considers renewable H<sub>2</sub> use as intermediate product in the production of conventional fuels as one of the options to meet the RFNBO sub-target. It, however, does not specify whether and how far this option may contribute to the overall GHG intensity reduction target. In case this option is not included to the GHG intensity reduction achievement, while it may ease the sub-target achievement more, renewable energy will be needed to compensate this and meet the GHG intensity reduction target. Even if this option is counted towards the GHG intensity reduction target it is likely that more renewable energy will be needed. This relates to the fact that the contribution of greening hydrogen use in refineries and related emission reductions that can be attributed to the conventional fuels appears to be quite limited. Nevertheless, this topic requires further analysis.

The results are sensitive to the assumed GHG emission intensities of fossil fuels. In Approach 1, the GHG intensity dataset for fossil fuels in inland transport was derived from NEa (NEa, 2022). For kerosene, the emission factor is calculated based on the diesel emission factor. For the maritime sector, the annex attached to the RefuelEU Maritime regulation proposal was used (EC, 2021c). Literature provides different emission factors for fossil fuels. This relates to the different LCA approaches, for instance the different allocation methods. The effects of different approaches on the emission factors were discussed by Moretti et al. (2017). Furthermore, the emission factors used for biofuels may vary. In this study, the typical values included in REDII were implemented. For sensitivity, the calculations were also done using the default emission factors. The impact was as low as 1%. Emission factors from the NEa reporting were not implemented in this study. This was because over the last three years different emission factors were reported.

The wider scope of REDIII that includes, next to marine bunkers, aviation bunker fuels is likely to cause a shift of biofuels from Annex IX-B to the aviation sector. Thus, a significant share of the cap will be used in aviation sector. Furthermore, the demand for drop-in biofuels will gain more importance when the blend limits related to ethanol and biodiesel (B7 increasing to B10 and E10) are assumed to be kept the same.

#### 4.6 Referenties

- Corsia, 2018. IATA. An Airline Handbook on CORSIA; 2018; pp. 1–54. Available online:  
<https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/corsia-handbook.pdf> (accessed on 3 October 2021)
- EC, 2018. DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast).
- EC, 2021a. Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council, Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council and Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652.

EC, 2021b. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ensuring a level playing field for sustainable air transport.

EC, 2021c. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport and amending Directive 2009/16/EC.

Moretti, C.; Moro, A.; Edwards, R.; Rocco, M.V.; Colombo, E. 2017. Analysis of standard and innovative methods for allocating upstream and refinery GHG emissions to oil products. Applied Energy. Volume 206, pages 372-381. See [Analysis of standard and innovative methods for allocating upstream and refinery GHG emissions to oil products - ScienceDirect](#)

NEa, 2022. Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2021.

#### 4.7 Annex I – Emission factors

Table 4-7: Fossil fuel emission factors

| Type          | Emission factors<br>[g CO <sub>2eq</sub> /MJ] | References                                                                                                                                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diesel        | 95.1                                          | NEa, 2022                                                                                                                                                                                        |
| Gasoline      | 93.3                                          | NEa, 2022                                                                                                                                                                                        |
| LPG           | 73.6                                          | NEa, 2022                                                                                                                                                                                        |
| LNG/CNG(road) | 74.5/69.3                                     | NEa, 2022                                                                                                                                                                                        |
| Kerosine      | 94.1                                          | Own calculation based on the combustion emissions of diesel and kerosine and using the total emission factor of diesel. Corsia (2017) refers to a much lower figure of 89 gCO <sub>2eq</sub> /MJ |
| HFO           | 91.7                                          | EC, 2021c                                                                                                                                                                                        |
| MDO           | 90.8                                          | EC, 2021c                                                                                                                                                                                        |
| LNG(shipping) | 83.9                                          | EC, 2021c                                                                                                                                                                                        |

Table 4-8: Renewable fuel and electricity emission factors

| Type                     | Emission factors<br>[g CO <sub>2eq</sub> /MJ] | References           |
|--------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|
| 1G biodiesel             | 40                                            | EC, 2018             |
| 1G bio-ethanol           | 26.6                                          | EC, 2018             |
| Bio-ethanol(naphtha)     | 15.2                                          | NEa                  |
| Advanced FAME            | 11.3                                          | NEa                  |
| Biogas                   | 21.7                                          | NEa                  |
| UCOME                    | 13.3                                          | EC, 2018             |
| HEFA                     | 16.7                                          | EC, 2018             |
| Drop-in biodiesel        | 15.2                                          | EC, 2018             |
| Renewable H <sub>2</sub> | 3.6                                           | JEC_WTTv5, from wind |
| e-kerosene               | 0.9                                           | JEC_WTTv5, from wind |
| e-diesel                 | 0.9                                           | JEC_WTTv5, from wind |
| Renewable electricity    | 0                                             |                      |

## 5 Binnenvaart

*Auteurs: Ruud P. Verbeek, Ruben W. Fransen, Jessica M. de Ruiter, Norbert E. Ligterink, Jorrit Harmsen, Mark Bolech, René Koch, Arjan Eijk*

### 5.1 Inleiding

Binnenvaart is een relevante emissiebron van de luchtverontreinigende stoffen, in het bijzonder voor stikstofoxiden en fijnstof. Hierbij speelt ook dat de uitstoot door binnenvaartschepen veel dichterbij woningen plaatsvindt dan het geval is bij zeevaart. De steden langs de drukke waterwegen, zoals de Rijn, hebben soms te maken met verhoogde concentraties stikstofdioxide die mede door de binnenvaart worden veroorzaakt (IBO, 2019).

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste trends in de binnenvaart en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen beschreven. Deze analyse dient als onderbouwing voor de *Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen* die PBL heeft gemaakt in de KEV 2022.

Paragraaf 5.2 beschrijft de introductie van Stage V motoren die voldoen aan de meest recente Europese emissie-eisen. Paragraaf 5.3 bespreekt de verschillende beleidsmaatregelen die betrekking hebben op verduurzaming van de binnenvaart. Paragraaf 5.4 geeft een samenvatting van een recente TNO studie naar de binnenlandse zoete waterbouwvloot. In paragraaf 5.5 wordt ingegaan op de energie- en emissieprestaties van de binnenvaartvloot en de ontwikkelingen rondom het binnenvaart vlootmodel POTAMIS voor emissieprognoses. Paragraaf 5.6 sluit dit hoofdstuk af met conclusies over de belangrijkste ontwikkelingen die de emissies van de binnenvaart bepalen.

### 5.2 Introductie Stage V motoren

In deze paragraaf schetsen we de introductie van nieuwe motoren in de binnenvaart die voldoen aan Stage V emissienormen door reguliere vervanging. In paragraaf 5.2.1 wordt ingegaan op vertraging van deze introductie. In paragraaf 5.2.2. bespreken we de NO<sub>x</sub> en ammoniak emissies van STAGE V motoren.

#### 5.2.1 *Vertraging van de introductie van Stage V motoren.*

Vanuit de Europese Unie is lang gewerkt aan de introductie van Stage V emissienormen voor luchtverontreinigende stoffen die o.a. gelden voor de binnenvaart. Stage V vervangt de oudere CCR-I & CCR-II normen door het stellen van aanzienlijk strengere eisen aan de uitstoot van de volgende luchtverontreinigende stoffen: stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), fijnstof (PM), koolstofmonoxide (CO) en koolwaterstoffen (HC). De beoogde introductie voor de Stage V emissienormen was 2019 voor nieuwe motoren met een vermogen onder 300 kW; en 2020 voor nieuwe motoren van 300 kW en hoger.

De introductie van Stage V motoren in de binnenvaart heeft echter vertraging opgelopen, omdat een aantal fabrikanten pas laat begon met de ontwikkeling van deze motoren. De kleine Stage V motoren (tot ca. 300 kW) waren vanaf 2021 beschikbaar.

De zwaardere Stage V motoren met een vermogen boven 300 kW zijn pas beschikbaar sinds begin 2022. De Europese Commissie heeft ook de tijdsperiode verlengd waarin reeds op de markt zijnde motoren (die nog mogen voldoen aan de oudere veel minder ambitieuze normstelling CCR-II) nog verkocht en geïnstalleerd mogen worden. Dit is mede door de COVID-19 pandemie onder voorwaarden verlengd tot september 2022.

In 2021 zijn vermoedelijk enkele tientallen kleinere schepen met Stage V motoren uitgerust. Bij nieuwe binnenvaartschepen lijkt de Stage V motorisering in 2022 goed op gang te komen ([Schepen - Schepen \(vlootschouw.nl\)](#)). Afgaande op het zogenaamde Green-Award “gold” label<sup>45</sup> waren eind 2020 ongeveer 200 diesel aangedreven binnenvaartschepen uitgerust met SCR<sup>46</sup>. Daarnaast waren er 23 LNG aangedreven binnenvaartschepen, waarvan 11 met het Green-Award “gold” label.

In de emissieraming van PBL is reeds rekening gehouden met de latere introductie van Stage V motoren. Deze is verschoven van 2019 naar 2021 (voor kleine schepen, categorie L1) en naar 2022 (voor grote schepen, categorieën L2 en L3). Dit zorgt voor een toename van de berekende emissies. In de emissieraming, is de inzet van Stage V motoren voor 2030 nu geraamd op ca 30%. Dit is overigens een onzekere inschatting omdat er nog weinig data is over de vervangingssnelheden van binnenvaartmotoren. De keuze van de eigenaar van het schip tussen enerzijds complete motorrevisie (waarbij het oorspronkelijke emissieniveau gehandhaafd blijft) of anderzijds vervanging door een veel schonere Stage V motor, speelt hierin een belangrijke rol.

#### 5.2.2 *NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub> emissies OEM Stage V motoren*

De OEM (Original Equipment Manufacturer) binnenvaartmotoren worden voorzien van een SCR katalysator en roetfilter om aan de Stage V emissie-eisen te kunnen voldoen. Zoals reeds beschreven in KEV (2019) laat de formele testcyclus veel flexibiliteit om de NO<sub>x</sub> (stikstofoxide) reductie te realiseren. De NO<sub>x</sub>-emissie hangt namelijk af van de motorbelasting. Bij lage belastingen (<20%-25%) blijven de uitlaatgassen relatief koud waardoor de NO<sub>x</sub>-reductie in de katalysator minder goed werkt<sup>47</sup>. Daardoor kan bij middelmatige en lage motorbelasting, de NO<sub>x</sub>-uitstoot relatief hoog uitvallen. Dit is relevant omdat stationair draaien en lagere motorlast een aanzienlijk deel van de bedrijfsuren betreft. In het binnenvaartemissiemodel POTAMIS model (zie ook paragraaf 5.5) wordt rekening gehouden met belastingsafhankelijke emissiefactoren. De correctiefactor horende bij 35% motorbelasting voor de NO<sub>x</sub>-emissie van Stage V is geraamd op 1,63 (TNO, 2020). Dat wil zeggen, dat er vanuit wordt gegaan dat bij een reguliere 35% motorbelasting, de NO<sub>x</sub>-emissie 63% hoger is dan de basiswaarde van 2,4 g/kWh.

TNO heeft de Stage V motorkenvelden (koppel-toeren-emissies diagrammen) van enkele motorleveranciers gekregen en geëvalueerd. De NO<sub>x</sub> kenvelden in g/kWh waren behoorlijk vlak en met een flinke marge ten opzichte van de limietwaarde.

<sup>45</sup> [Over Green Award - Inland Shipping](#)

<sup>46</sup> Nabehandeling van het uitlaatgas met selectieve katalytische reductie (SCR), waarmee de uitstoot van stikstofoxide (NO<sub>x</sub>) sterk kan worden verlaagd.

<sup>47</sup> Hier speelt mee dat het laagste vermogenspunt van de formele emissietestcyclus 25% is, waardoor de fabrikant niet verplicht is om onder de 20-25% vermogen een lage NO<sub>x</sub> te realiseren

Vlak wil zeggen dat de NO<sub>x</sub>-emissie bij verschillende motorbelastingen relatief constant is en onder de limietwaarde ligt. Deze fabrikanten maken geen gebruik van de flexibiliteit die de testcyclus biedt om bij lagere belastingspunten in de test (25% en 50%) hogere emissies uit te stoten dan de limietwaarde. Bij de 10% belastingspunten (D2 cyclus, constant toerental) was er wel meer variatie in de NO<sub>x</sub>-emissie, namelijk in de range van ca 1,8 tot bijna 6 g/kWh. Al met al is het beeld van de motortesten positief. De in POTAMIS gebruikte gewogen correctiefactor voor NO<sub>x</sub> lijkt op grond van de beperkte dataset hoger dan nodig is. Nader onderzoek is hier nodig om een robuuster beeld te krijgen. Ook de beperkt beschikbare informatie over NH<sub>3</sub> emissies geeft geen directe aanleiding tot zorg over, of noodzaak tot bijstelling van, de eerder gerapporteerde KEV emissies (TNO, 2020). De risico's op overschrijden van de emissienorm zijn evenwel laag vanwege de relatief milde NO<sub>x</sub>-reductie eisen en de relatief constante motorbelasting bij de binnenvaart. De laboratoriumtesten met Stage V binnenvaartmotoren geven echter geen compleet beeld dat representatief is voor de praktijk. Om die reden wordt aanbevolen om in de toekomst aan boord van schepen zowel de NO<sub>x</sub> als de NH<sub>3</sub> emissies van Stage V motoren in de praktijk nauwkeurig te monitoren.

### 5.3 Beleidsmaatregelen in de binnenvaart

In deze paragraaf geven we een toelichting op de beleidsmaatregelen die van belang zijn voor de emissies in de binnenvaart, zoals een bijmengverplichting voor hernieuwbare brandstoffen, milieuzones in de binnenvaart, een subsidieregeling voor retrofit en vervanging van motoren in de binnenvaart, subsidie uit het groeifonds voor zero emissie schepen en een binnenvaart energieprestatielabel.

#### 5.3.1 *Hernieuwbare brandstoffen*

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat was oorspronkelijk van plan om de binnenvaart vanaf 2022 deel te laten nemen aan de jaarverplichting voor hernieuwbare energie in vervoer<sup>48</sup> (Nederlandse implementatie van de REDII). Dit zou betekenen dat van de in de binnenvaart afgezette hoeveelheid brandstof een zelfde aandeel hernieuwbare energie zou moeten worden ingezet (veelal in de vorm van bijmenging van biobrandstoffen) net als voor wegtransport. Dit plan is echter teruggetrokken (IenW, 2022).

In de RED-III is de bijmengverplichting expliciet wel van toepassing op de binnenvaart (zie ook hoofdstuk 4: "Impact RED-III") en verwacht wordt dat dat zal leiden tot een toename van het gebruik van biobrandstoffen in de binnenvaart (Rijksoverheid, 2022). Momenteel is nog niet duidelijk in welk jaar RED-III in de binnenvaart wordt geïmplementeerd en welke bijmengverplichting gaat gelden. De REDIII verplichting kan op verschillende manieren gerealiseerd worden, bijvoorbeeld in de vorm van een combinatie van hernieuwbare brandstoffen (biodiesel, biogas, biomethanol). Daarnaast kan de verplichting deels ingevuld worden door het varen op hernieuwbare elektriciteit of hernieuwbare waterstof; of anders door extra inzet van hernieuwbare brandstoffen in het wegtransport.

---

<sup>48</sup> De Jaarverplichting Energie Vervoer verplicht bedrijven in Nederland die brandstof leveren aan vervoer, om een deel van die brandstof uit hernieuwbare energie te laten bestaan.

In het kader van de 'opt-in' regeling<sup>49</sup> zijn wel, gedurende een aantal jaren (2015-2020), biobrandstoffen geleverd aan de binnenvaart (die daarmee bijdroegen aan de verplichting voor wegtransport). De hoeveelheid in de binnenvaart ingezette biobrandstoffen nam in deze periode geleidelijk toe. Aan de hand van onder meer NEa<sup>50</sup> rapportages is ingeschat dat in 2019 minimaal 18% van de aan de binnenvaart geleverde bunkerbrandstof bestond uit diesel (gasolie) waaraan tot 7% FAME<sup>51</sup> was bijgemengd (i.e. B7 diesel). In 2022 is waarschijnlijk nog nauwelijks biodiesel bijgemengd in brandstof voor de binnenvaart, mede vanwege publicaties over de technische risico's door TNO-EICB (Verbeek, Karaarslan, Quispel, & Tachi, 2020).

### 5.3.2 *Milieuzones binnenvaart*

Een milieuzone voor binnenvaartschepen zou de verschoning van binnenvaartschepen kunnen versnellen. In Rotterdam wordt al een tijd nagedacht over de introductie van een dergelijke zone. Het is momenteel echter onzeker of deze milieuzone in Rotterdam daadwerkelijk geïmplementeerd zal worden. Deze milieuzone betreft binnenvaartschepen die in de Rotterdamse haven aanmeren. Per 2025 zouden de motoren minimaal emissieklasse CCRII moeten zijn. De milieuzone was aangekondigd in de Havenverordening Rotterdam 2020. Maar sindsdien zijn geen concrete stappen gemaakt voor de realisatie. Dit roept de vraag op of de beoogde datum voor de introductie van de milieuzone nog haalbaar is. Een inventarisatie van de milieuklassen van schepen in 2020 liet zien dat ca. 65% van de schepen nog niet aan CCRII voldoet. Mogelijk wordt er door de Rotterdamse haven een andere oplossing gezocht in combinatie met het binnenvaart emissielabel (zie paragraaf 5.3.5). In het TNO achtergrondrapport mobiliteit bij de KEV-2019 (TNO, 2020) werd er nog vanuit gegaan, dat de milieuzone zou leiden tot een grote Stage V motorvernieuwing, met als resultaat ca. 800 extra Stage V schepen in 2030 (van 1.000 naar 1.800). De grote impact van de milieuzone op de verduurzaming van de binnenvaartvloot is op dit moment heel onzeker<sup>52</sup>.

### 5.3.3 *Binnenvaart emissieprestatie label*

Om de binnenvaartsector te stimuleren om schoner en zuiniger te varen is door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een emissielabel<sup>53</sup> geïntroduceerd. Doelstelling van het label is, om op een uniforme en transparante wijze op Europees niveau, inzicht te krijgen in de milieu- en klimaatprestaties van de binnenvaartvloot. Zo wordt het mogelijk om bijvoorbeeld schone(re) en zuinige(re) schepen voordelen te bieden of minder goed presterende schepen juist beperkingen op te leggen (milieuzones). Ook worden de emissieprestatie labels publiekelijk beschikbaar gemaakt dus ook voor stakeholders in de supply chain, zoals verladers en bevrachters.

Het binnenvaart emissieprestatie Label is opgebouwd uit twee componenten: Klimaatuitstoot (CO<sub>2</sub>) en Luchtkwaliteit (NO<sub>x</sub>, fijnstof). Deze componenten worden berekend over het gewogen gemiddelde van alle motoren aan boord van een schip.

<sup>49</sup> De opt-in regeling houdt in dat de binnenvaart bijdraagt aan de verplichting van wegtransport.

<sup>50</sup> NEa = Nederlandse Emissie autoriteit: <https://www.emissieautoriteit.nl/>

<sup>51</sup> FAME = fatty acid methyl ester. Een biodieselkwaliteit die maar beperkt kan worden bijgemengd.

<sup>52</sup> De beoogde impact van de Rotterdamse milieuzone is niet meegenomen in zowel de huidige als de eerdere PBL Emissieramingen Luchtverontreinigende stoffen.

<sup>53</sup> [Home - Binnenvaart Emissie Label](#)

Bij het bepalen van het gewogen gemiddelde van een schip worden de volgende onderdelen meegenomen:

- Het gemiddelde van het maximaal vermogen van alle motoren aan boord,
- Het brandstof verbruik en
- Het aantal draaiuren per motor.

Het binnenvaart emissieprestatie label is operationeel. De labels van deze eerste geregistreerde schepen beslaan een vrij brede range wat betreft de luchtverontreinigende emissies, namelijk van label 2 ( $\text{NO}_x < 1,8 \text{ g/kWh}$ ) tot label 5 ( $\text{NO}_x > 6,0 \text{ g/kWh}$ ). Voor brandstofverbruik wordt tot nu toe label C of D toegekend binnen de range A t/m E.

Belangstelling voor het emissieprestatie label wordt vooral verwacht van eigenaren van schepen met Stage V (emissieniveau) motoren. Maar tot nu toe is de belangstelling relatief klein: volgens de website [www.binnenvaartemissielabel.nl](http://www.binnenvaartemissielabel.nl) zijn slechts een achttal schepen met emissielabel geregistreerd. Het emissieprestatie label ondervindt concurrentie vanuit het Green Award label<sup>54</sup>, dat een bredere scope heeft.

Het Stage V emissieniveau kan, behalve door het monteren van een fabrieksnieuwe Stage V motor, als alternatief ook bereikt worden door bestaande motoren te voorzien van een uitlaatgas-nabehandelingssysteem dat de emissies  $\text{NO}_x$  en fijnstof aanzienlijk reduceert (retrofit SCR + DPF systeem; zie ook de volgende paragraaf).

#### 5.3.4 Retrofit regeling voor SCR

De subsidieregeling voor SCR retrofit en Stage V motorvervanging voor binnenvaartschepen is in 2021 van start gegaan. Deze selectieve katalytische reductie (SCR) technologie verlaagt de emissies van stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ). De budgetverdeling, zoals gepubliceerd door RVO begin februari 2023, is weergegeven in Tabel 5. In totaal is ruim 77 miljoen € gereserveerd voor de periode tot en met 2025.

Tabel 24: Subsidiebudget beschikbaar voor retrofit SCR katalysatoren en Stage V motorvervanging<sup>55</sup>:

| Jaar   | Budget SCR katalysatoren<br>Mln € | Budget motorvervanging<br>Mln € |
|--------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 2021   | 3,9                               | 6,9                             |
| 2022   | 3,8                               | 15,9                            |
| 2023   | 12,9                              | 8,0                             |
| 2024   | 12,9                              | -                               |
| 2025   | 12,9                              | -                               |
| Totaal | 46,4                              | 30,8                            |

\* Vanaf 2023 geldt de subsidie ook voor SCR gecombineerd met roetfilter.

<sup>54</sup> [www.greenaward.org/inland-shipping/nl/about-green-award](http://www.greenaward.org/inland-shipping/nl/about-green-award)

<sup>55</sup> [Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaartschepen \(rvo.nl\)](http://Subsidieregeling%20Verduurzaming%20Binnenvaartschepen%20(rvo.nl))

Voor retrofit SCR is ruim 46 miljoen € gereserveerd. Voor 2021 en eerste helft 2022 zijn resp. 40 en 18 aanvragen toegekend<sup>56</sup>. In totaal is er budget voor ca. 250 schepen.

Eerder was verondersteld dat er ruime belangstelling zou zijn voor de SCR retrofit regeling, o.a. vanwege de milieuzone voor binnenvaartschepen in Rotterdam en het milieulabel voor binnenvaartschepen (zie paragraaf 2.3.2 en 2.3.3).

Die belangstelling was echter minder dan verwacht, onder meer vanwege de onzekerheid over het doorgaan van de milieuzone Rotterdam en het milieulabel dat traag op gang kwam. Hierbij speelde ook een rol dat de subsidie t/m 2022 alleen verstrekt werd voor de SCR katalysator. Terwijl voor het behalen van het Stage V emissieniveau, naast een SCR katalysator, ook nog een roetfilter (DPF) nodig is. Sinds 2023 is dat aangepast en wordt het roetfilter ook gesubsidieerd.

Uitgaande van het totale subsidiebudget van 46 miljoen €, kan een totale NO<sub>x</sub> reductie bereikt worden van ca. 1,5 tot 2,5 kton per jaar (Stage V, 2021). Het is onzeker of er uiteindelijk voldoende belangstelling is om het totale budget te kunnen besteden. Deze belangstelling zou vooral kunnen komen, van schepen die belang hebben bij een gunstig emissieprestatie label (zie 5.3.3). Dat kunnen bijvoorbeeld schepen zijn die worden ingezet bij bouwprojecten waarbij stikstofruimte een rol speelt. In de emissieraming wordt er vanuit gegaan, dat schepen die geen retrofit toepassen, binnen ca. vijf jaar van een Stage V motor worden voorzien. Het milieueffect van de subsidieregeling verduurzaming binnenvaartschepen, zal daarom naar verwachting in drie tot vier jaar uit faseren na het aflopen van de regeling. Daarnaast worden aan retrofit systemen minder eisen gesteld wat betreft monitoring en logging van mogelijke storingen of manipulatie. Dat zou ook kunnen leiden tot een hogere NO<sub>x</sub>-uitstoot.

Voor de reductie van NO<sub>x</sub>-emissies gaan we uit van emissies op Nederlands grondgebied (70% van de totale besparing per schip). Aanbevolen wordt om aan de hand van het type schepen waarvoor de subsidieaanvragen zijn goedgekeurd, beter na te gaan welke inzet de schepen in Nederland en daarbuiten hebben en welke impact dat heeft op de NO<sub>x</sub>-reductie. Dit zou kunnen aan de hand van het Automatic Identification System (AIS), waarmee schepen geïdentificeerd en gevolgd kunnen worden.

#### 5.3.5 *Subsidieregeling voor motorvervanging*

In totaal is 30,8 miljoen € subsidie voor motorvervanging gereserveerd. Dit geldt voor de jaren 2021 t/m 2023 (zie tabel 5). De subsidie is alleen beschikbaar voor installatie van nieuwe motoren die minimaal aan de Stage V emissienormen voldoen. Ook een (deels) elektrische aandrijflijn wordt gesubsidieerd. De belangstelling voor deze regeling is groot. Voor 2021 en 2022 waren er beperkingen door het geringe Stage V motoraanbod (zie ook paragraaf 5.2.1). En daarnaast door de maximale subsidie per schip (max 200.000 € per schip). Als gevolg daarvan was de regeling alleen aantrekkelijk voor kleine schepen.

TNO heeft de subsidieaanvragen van 2021 geëvalueerd (TNO, 2022c). Hierbij is een variant doorgerekend die uit ging van een totale subsidie van 26 miljoen. Naar verwachting zullen in totaal ca. 200 schepen gebruik kunnen maken van de subsidieregeling voor motorvervanging.

---

<sup>56</sup> Bron: Directe terugkoppeling van RVO aan TNO



De ingeschatte totale reductie van deze variant is 0,4 tot 0,8 kton NO<sub>x</sub> per jaar in de eerste jaren, en een geleidelijke afname van dit effect naar slechts een fractie in 2030. Het reductie-effect van de motorvervangingsregeling is gebaseerd op het aantal draaiuren dat de oude motor anders nog gelopen zou hebben. Het verschil in emissies tussen de oude en nieuwe motor, vermenigvuldigd met het aantal draaiuren geeft het totale NO<sub>x</sub>-emissiereductie effect. Dat effect is vergelijkbaar met de emissies van drie tot vier jaar vervroegd varen met een schonere motor ten opzichte van de referentiesituatie. Het gevolg is dat drie tot vier jaar na het aflopen van de regeling het effect snel vermindert, en dat in 2030 slechts een fractie van het originele effect over is ten opzichte van de autonome vergroening van de binnenvaart.

In detail is de fractie van schepen met oudere motoren, voorbij de mediane sloop of motorvervangingsleeftijd, bepalend voor het effect in 2030. De mediane motorvervangingsleeftijd ligt bij 13 tot 15 jaar, afhankelijk van de scheepsgrootte (TNO, 2021a). Door een kleinere groep oude tot zeer oude scheepsmotoren ligt de gemiddelde motorvervangingsleeftijd rond de 18 jaar. De vraag is of schepen met oude motoren veel draaiuren maken, en zo een grote impact hebben in de totale emissies. Dergelijke effecten zijn beperkt onderzocht. Oude (bouwjaren 1990 tot 2005, voorbij de mediane leeftijd) tot zeer oude (bouwjaren 1960 tot 1990) motoren vormen wel een merendeel van de aanvragen voor motorvervangings, resp. 20% en 40%.

Zoals hierboven vermeld is het effect van de regeling tijdelijk en zal deze in de loop van de tijd verminderen, omdat ook door reguliere vervanging schepen een schonere motor krijgen. Er wordt nu vanuit gegaan dat de regeling dit moment slechts enkele jaren naar voren haalt. Hier is onzekerheid over en dit maakt het lastig om goed in de emissieraming mee te nemen.

Stage V motorvervangings heeft, naast de substantiële reductie in NO<sub>x</sub>-uitstoot ten opzichte van de voorafgaande CCRII norm, ook aanzienlijke voordelen op het gebied van CO<sub>2</sub> en fijnstof reductie.

- Door de combinatie van efficiëntere motoren en (eventueel) 'right sizing'<sup>57</sup>, leidt motorvervangings, naar verwachting, tot een gemiddelde daling van het brandstofverbruik, en daaraan gekoppeld een afname van de CO<sub>2</sub>-emissie van 5% tot 15%. Het is echter onzeker in welke mate de ondernemers kiezen voor 'right sizing' van hun motor. Dit zal leiden tot een jaarlijkse CO<sub>2</sub>-reductie van maximaal 12 kton (jaar 2025).
- De fijnstof emissie zal door de motorvervangings, naar verwachting, met gemiddeld 85% afnemen. Dit leidt tot een fijnstof reductie in binnenvaart van maximaal 28 ton per jaar. Ook hierbij geldt dat na het aflopen van de regeling, het milieueffect naar verwachting in drie tot vier jaar zal uitfaseren.

Het effect van de subsidieregeling voor motorvervangings wordt in de huidige emissieraming niet meegenomen. De bovengenoemde emissiereductie mag dan ook worden uitgedrukt ten opzichte van de emissies zoals berekend in de huidige raming.

---

<sup>57</sup> Het monteren van gemiddeld kleinere motoren, al dan niet in de vorm van elektrisch/hybride aandrijving

### 5.3.6 *Stimulering Zero Emissie Schepen binnenvaart*

De vooruitzichten voor volledig accu-elektrisch varen, met name met verwisselbare accu-containers, zijn redelijk gunstig, mede omdat de TCO (Total Cost of Ownership) op korte termijn gunstig zou kunnen zijn. Het bedrijf ZES (Zero Emission Services), dat nu de stuwende kracht is achter accu-elektrisch varen met verwisselbare batterijcontainers, heeft subsidie uit het groeifonds gekregen en verwacht daarmee 45 elektrische schepen in 2026 in de vaart te krijgen. Daarna verwacht deze leverancier een groei naar 150 schepen in 2030 (bron ZES<sup>58</sup>). Er is echter (nog) geen direct vastgesteld of voorgenomen beleid om de groei naar 150 schepen te waarborgen. Elektrisch varen is waarschijnlijk één van de meest kosteneffectieve manieren om de onder REDII of III vereiste groei aan inzet van duurzame brandstoffen te realiseren, alsmede de vereiste CO<sub>2</sub> reductie. In de ramingen wordt nu uitgegaan van groei naar 65 volledig elektrische schepen in 2030.

## 5.4 Zoete waterbouw

De binnenlandse waterbouww vloot bestaat uit allerlei soorten schepen en drijvende werktuigen, zoals zand- en cutterzuigers, kraanschepen en duwbakken. TNO heeft in opdracht van de Vereniging van Waterbouwers een onderzoek gedaan naar de mogelijkheden tot verduurzaming van die vloot (TNO, 2021). In deze paragraaf wordt een korte samenvatting gegeven uit de resultaten van dat onderzoek. In dit onderzoek is onder meer een enquête uitgevoerd onder waterbouwers, waarbij gedetailleerde informatie over hun vloot is verzameld. Uit dit onderzoek komt naar voren dat in Nederland tenminste 345 zoete waterbouwschepen actief zijn. Daarnaast bestaat de vloot nog uit 269 duwbakken met een zeer kleine hulpmotor aan boord voor de hydrauliek<sup>59</sup>. In totaal bestaat de zoete waterbouww vloot uit ca. 614 (345+269) vaartuigen.

De samenstelling van de zoete waterbouww vloot laat een grote verscheidenheid zien.

Er kunnen 11 operationele profielen onderscheiden worden, afhankelijk van de hoofdtak:

- Schepen die worden ingezet voor zandwinning. Dit betreft stationaire zandzuigers en een gedeelte van de stationaire of mobiele cutterzuigers. Deze activiteit valt buiten de scope van het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (zie hoofdstuk 3).
- Schepen die worden ingezet voor onderhouds-baggerwerkzaamheden. Dit betreft mobiele schepen van verschillende omvang zoals hopperzuigers, cutterzuigers, kraanschepen, schuifboten en ondersteunende schepen zoals bakkenzuigers en transportschepen.
- Schepen die worden ingezet voor bouwwerkzaamheden. Deze worden ingezet op verschillende locaties per jaar (heischepen, werkschepen).

<sup>58</sup> [Emissieloos varen met Zero Emission Services voor de binnenvaart](#)

<sup>59</sup> De hier gepresenteerde cijfers zijn de resultaten van de enquête onder leden van de Vereniging van Waterbouwers. Dit is hiermee een onderrepresentatie van de emissies van de totale vloot die in Nederland actief is. Dit zal met name gelden voor de kleinere en overige schepen, zoals bijvoorbeeld maaiboten, schuifboten en kleine werkschepen.

- Overige ondersteunende schepen, onder meer duwbotten, peilboten, surveyschepen en maaischepen.

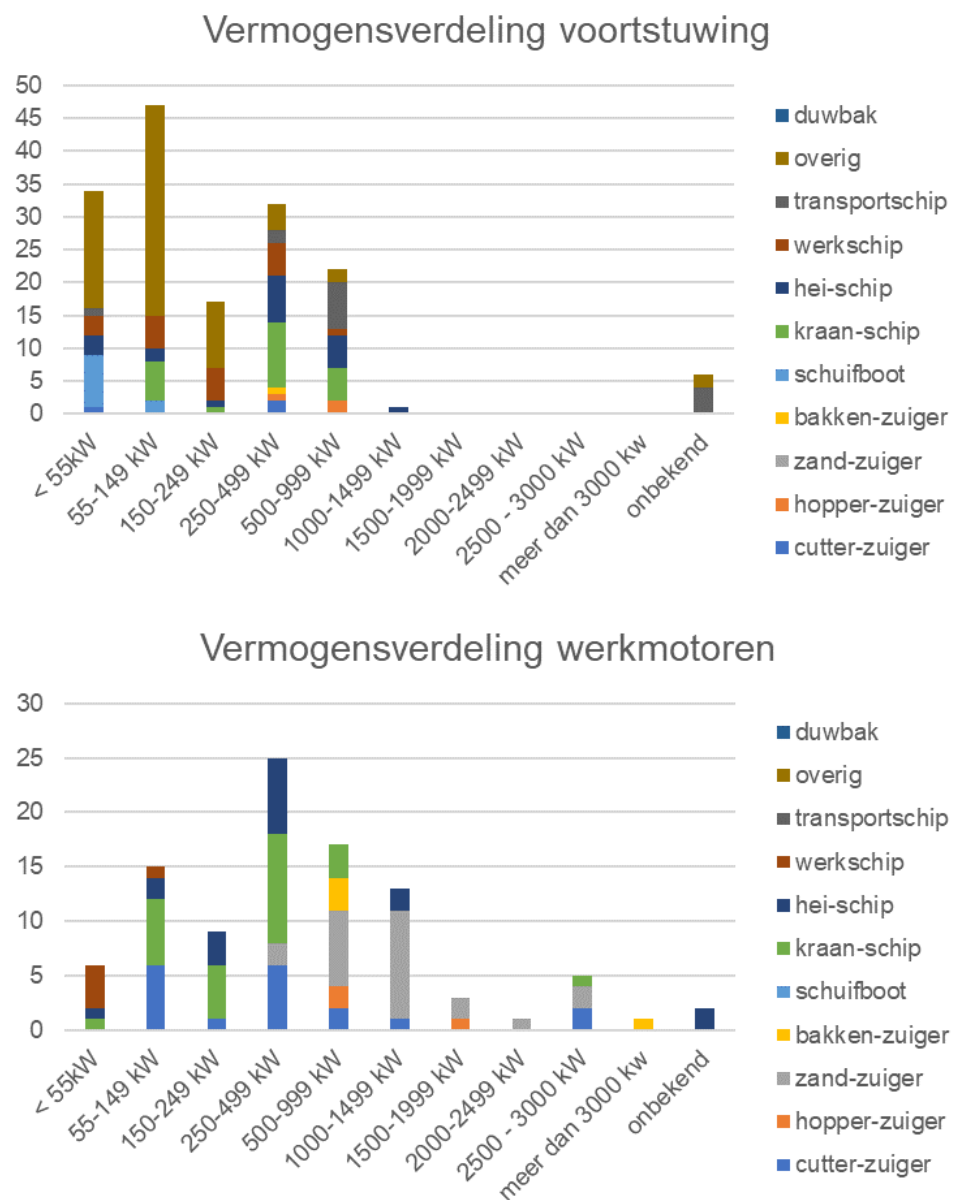
De profielen verschillen sterk in:

- Technische kenmerken van het schip en de motoren (aantal motoren en het totale vermogen, leeftijd van de motoren, energiedrager);
- Operationele inzet (aantal uren inzet per week, lengte van de periode dat het schip op een specifieke locatie wordt ingezet).

Op veel waterbouwschepen zijn verschillende type motoren aanwezig:

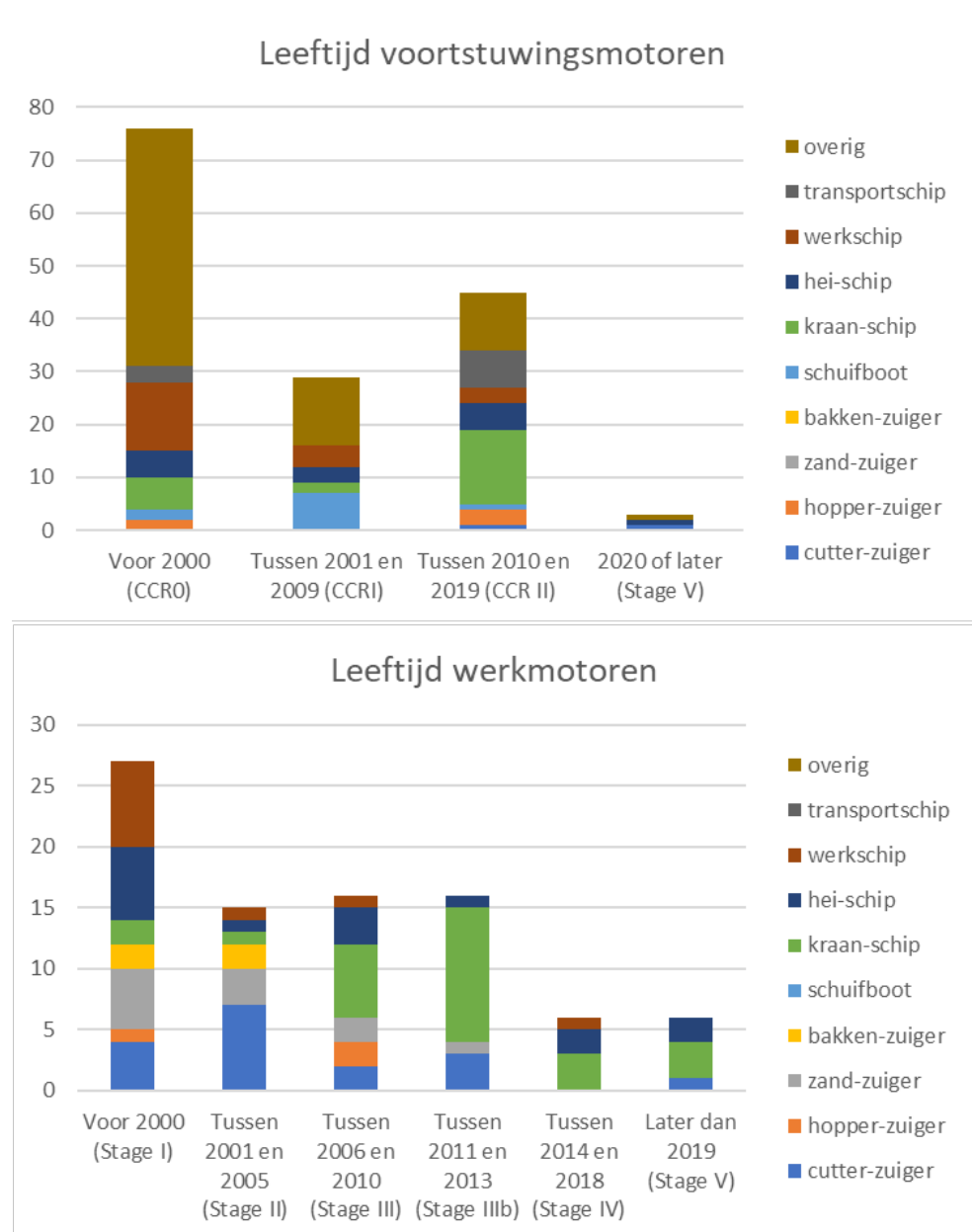
- *Voortstuwingsmotoren* (voor aandrijving van het schroefas van het schip. De voortstuwing verschilt per type schip, en is afhankelijk van de omvang van de schepen). Een deel van het materieel (stationaire zandzuigers en transportbakken) heeft geen voortstuwing aan boord.
- *Werkmotoren* voor de aansturing van machines die benodigd zijn voor de hoofdfunctie van het schip (zoals bijvoorbeeld de kraan op het kraanschip) is er een grote spreiding van het vermogen, van klein bij cutterzuigers en kraanschepen, tot zeer krachtig bij zandzuigers en hopperzuigers. Transportschepen, kleinere zandzuigers en een groot deel van de “overige schepen” hebben geen (aparte) werkmotoren.
- Daarnaast hebben de schepen veelal kleine *hulpmotoren* voor overige apparatuur. Veelal zijn deze kleiner dan 55 kW vermogen.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van de vermogensverdelingen voor de voortstuwings- en werkmotoren, ook afhankelijk van het type schip. Dit laat o.a. zien dat de werkmotoren vaak meer vermogen hebben dan de voortstuwingsmotoren.



Figuur 33: Vermogensverdeling van de voortstuwings- en werkmotoren van de zoete waterbouww vloot Bron: (Mensch, et al., 2022)

Een belangrijke factor voor de NO<sub>x</sub>- en PM-uitstoot is de leeftijd van de motoren. Een significant deel van de voortstuwings- en werkmotoren in de vloot is meer dan 20 jaar oud en heeft nog geen emissieklasse. Dit is te zien in onderstaande figuur waar de leeftijdsverdeling van de werk- en voortstuwingsmotoren van de vloot worden gepresenteerd. Er zijn grote verschillen tussen scheepstypen: werkschepen en overige schepen zijn relatief oud. Kraan- en transportschepen hebben relatief nieuwe motoren. Hier is ook in veel gevallen reeds nabehandeling aanwezig.

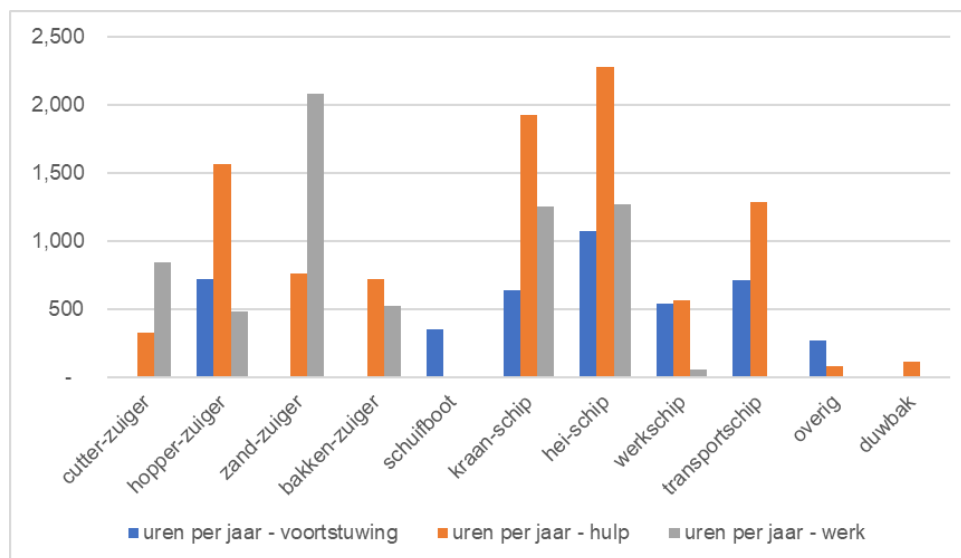


Figuur 34: Leeftijdsverdeling van de voortstuwings- en werkmotoren van de zoete waterbouwwloot  
Bron: (Mensch, et al., 2022)

Tot slot wordt in onderstaande figuur een overzicht gegeven van de jaarlijkse inzet van de verschillende motoren per scheepstype.

Uit figuur 5 komt naar voren dat de inzet van motoren sterk verschilt:

- Bij de voortstuwing is te zien dat hopperzuigers, kraan-, hei-, werk- en transportschepen tussen de 500 en 1.000 draaiuren maken en andere schepen minder (of niet in het geval van stationair materieel).
- Werkmotoren worden verhoudingsgewijs sterk ingezet door zandzuigers, kraanschepen en heischepen.



Figuur 35: Gemiddelde inzet per jaar van voortstuwing-, hulp- en werkmotoren voor verschillende scheepstypen binnen de zoete waterbouww vloot. Bron: (Mensch, et al., 2022)

Op basis van de samenstelling en inzet van de vloot zijn berekeningen gemaakt van de huidige emissies (zie voor een methodologische toelichting TNO, 2022). De totale vloot stootte in 2021 ca. 76 kton CO<sub>2</sub>, 634 ton NO<sub>x</sub> en 18 ton fijnstof (PM<sub>10</sub>) uit.

Tabel 25: Omvang en emissies van de zoete waterbouww vloot in 2021\*

|                                     | Aantal     | CO <sub>2eq</sub><br>kton/jaar | NO <sub>x</sub><br>ton/jaar | PM <sub>10</sub><br>ton/jaar |
|-------------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Zand-zuiger (stationair)            | 46         | 21                             | 162                         | 5,1                          |
| Cutter-zuiger – stationair / mobiel | 23         | 4                              | 35                          | 1,0                          |
| Hopper-zuiger                       | 10         | 9                              | 89                          | 2,4                          |
| Bakken-zuiger                       | 6          | 2                              | 22                          | 0,5                          |
| Kraanschip                          | 41         | 17                             | 135                         | 3,6                          |
| Schuifboot                          | 14         | 0                              | 1                           | 0,0                          |
| Heischip                            | 19         | 7                              | 32                          | 0,9                          |
| Werkschip                           | 32         | 2                              | 22                          | 0,7                          |
| Transportschip                      | 34         | 13                             | 116                         | 3,1                          |
| Duwbak                              | 269        | 1                              | 6                           | 0,2                          |
| Overige ondersteunende schepen      | 120        | 1                              | 15                          | 0,5                          |
| <b>Totaal</b>                       | <b>614</b> | <b>76</b>                      | <b>634</b>                  | <b>18</b>                    |

\* Bron: (Mensch, et al., 2022)

Op basis van de huidige vlootsamenstelling is in het rapport ook een analyse gemaakt van de emissies in 1990 en de verwachte samenstelling in 2030 wanneer geen maatregelen worden genomen. Hierbij is de leeftijdssamenstelling van de vloot over de tijd gelijk gehouden.

Tabel 26: Emissies van de zoete waterbouww vloot in 1990, 2021 en 2030 (zonder toepassing van aanvullende reductieopties)

|                        | 1990  | 2021  | 2030 autonoom |
|------------------------|-------|-------|---------------|
| CO <sub>2</sub> (Mton) | 0,081 | 0,076 | 0,062         |
| NO <sub>x</sub> (kton) | 1,2   | 0,63  | 0,57          |
| PM <sub>10</sub> (ton) | 35    | 18    | 15            |

Bron: (Mensch, et al., 2022)

Geconcludeerd wordt dat de werkschepen niet goed in de huidige emissieregistratie-systeem zitten, en daarmee dus ook niet goed in de ramingen van POTAMIS. De werkmotoren van werkschepen stoten meer luchtverontreinigende en broeikasgasemissies uit dan de voortstuwingsmotoren. Met name omdat de werkmotoren gemiddeld zwaarder/krachtiger zijn (figuur 3) en gemiddeld meer uren maken dan de voortstuwingsmotoren (figuur 5). Het verdient de aanbeveling de schepen in de modellering van de emissieregistratie op te nemen en hier aparte aannames te doen voor de inzet van de hoofd- en hulpmotoren.

## 5.5 Voorgestelde verbeteringen aan modellering van scheepvaartemissies

Voor de modellering van scheepvaartemissies staan een aantal verbeterpunten op de agenda. Het gaat daarbij om de volgende drie punten:

1. Snelheden van individuele schepen kunnen worden berekend op basis van AIS gegevens (afkorting voor Automatisch Identificatiesysteem). Dat is een veiligheidssysteem dat het risico op aanvaringen verkleint en elke ongeveer tien seconden een signaal van het schip opvangt. Met deze systematiek is een veel betere modellering van het (instantane!) energieverbruik en daarmee samenhangende emissies mogelijk dan eerder op basis van gemiddelde snelheid mogelijk was.
2. Er zijn aanwijzingen dat de emissies van hulpmotoren, zoals voor boegschroef en elektriciteitsvoorziening, hoger zijn dan eerder gedacht. Momenteel zijn zowel de aard (in aantallen en vermogens) als de inzet (in bedrijfsuren of effectieve arbeid) van de hulpmotoren slechts deels bekend. De modellering zal beter op bovengenoemde aanwijzingen worden aangepast.
3. Emissies van werkschepen. Deze schepen worden gekenmerkt door hulpmotoren (bijvoorbeeld voor een baggerpomp) die groter zijn en meer arbeid verrichten dan de hoofd-voortstuwingsmotoren. Juist op het gebied van verzette arbeid (vermogensbehoefte x bedrijfsduur) zijn verbeteringen mogelijk, zeker wanneer de inzet afgeschat kan worden op basis van AIS data. Met die data wordt direct duidelijk dat de snelheid zeer laag wordt. Op bepaalde locaties kan dan met hoge waarschijnlijkheid afgeleid worden dat de werkmotoren voor een bepaalde periode (ook blijkend uit die AIS data) aanstaan.
4. De relatie tussen vaarprestatie en de leeftijd van het schip.

Naast bovenstaande verbeteringen, wordt eveneens een wat grotere herstructurering van het vlootmodel onderzocht. Uitgangspunt is een model waarin AIS data van alle schepen wordt gebruikt om de vaarprestaties van alle scheepstypen en grootteklassen in beeld te brengen. Een belangrijke parameter daarin is de vaarprestatie (afstand en uren) op Nederlands en buitenlands grondgebied.

Als dat model beschikbaar is, dan zijn de emissies van de binnenvaart vloot en ook de effecten van allerlei beleidsmaatregelen beter in beeld te brengen. Om de AIS data te kunnen gebruiken, zal een koppeling gemaakt worden tussen de ENI nummers van de schepen en de MMSI nummers van de AIS transponders.

Naast de vaarprestatie, zijn nog verschillende andere parameters van belang voor het energiegebruik en de emissies van de schepen. Met name de leeftijd, de emissieklasse en het vermogen van de motoren aan boord zijn van belang, alsook de inzet van hulpmotoren voor bijvoorbeeld boord-elektriciteit en boegschroeven. Hiervoor lopen momenteel enkele Connekt<sup>60</sup> projecten om monitoring data van de motoren te verzamelen.

Het is nog niet goed bekend op welke manier de motorleeftijd en emissieklasse in beeld kunnen worden gebracht. Mogelijk bieden de Europese 'hull database' of de IVR database op termijn een oplossing hiervoor.

De huidige beperkingen van de Emissieregistratie-methodiek voor binnenvaart kunnen als volgt samengevat worden:

- De leeftijd en emissieklasse van de motoren per scheepstype en grootteklasse zijn niet goed bekend. Ook zijn er onzekerheden over de verhouding tussen complete motorrevisie en installatie van een compleet nieuwe Stage V motor in de toekomst.
- De verhouding in vaaruren in Nederland en in het buitenland is niet goed bekend per scheepsklasse.
- Er is geen aparte categorie voor werkschepen.

## 5.6 Conclusies

In dit hoofdstuk hebben we verschillende ontwikkelingen geschetst die impact hebben op de luchtvervuilende en broeikasgasemissies van de binnenvaart vloot.

We trekken daaruit de volgende conclusies:

- De voor 2025 aangekondigde milieuzone Rotterdam, met potentieel een groot emissiereductie-effect, is zeer onzeker. De beoogde impact van deze milieuzone is echter niet meegenomen in zowel de huidige als de eerdere PBL Emissieramingen Luchtverontreinigende stoffen.
- De marktintroductie van Stage V (en Euro VI) motoren is met enkele jaren vertraagd onder meer vanwege de Covid pandemie.
- De belangstelling voor subsidies op retrofit van uitlaatgas nabehandelingssystemen viel tegen in 2021 en 2022. Vanaf 2023 wordt ook subsidie gegeven op het DPF (roetfilter), als dat gecombineerd wordt met het katalysator (SCR) systeem voor reductie van NO<sub>x</sub>-uitstoot. Volgens de leveranciers zal de belangstelling voor de subsidieregeling daardoor verbeteren. Aan de andere kant zijn er nu nog weinig dwingende redenen om een schip te retrofitten.
- Subsidieregeling voor Stage V motorvervanging en elektrificatie.

---

<sup>60</sup> <https://connekt.nl>



- Dit betreft een tijdelijke regeling voor de periode 2021 t/m 2023 met in totaal een bedrag van 30 miljoen €. Na het aflopen van de regeling, zal het milieueffect hiervan naar verwachting in drie tot vier jaar uitfaseren.
- Ingroei van volledig accu-elektrische, zero-emissie schepen: de belangrijkste leverancier gaat uit van 150 volledig elektrische schepen in 2030. Een dergelijke groei is denkbaar als er extra beleid komt om dit te stimuleren, bijvoorbeeld via de implementatie van de RED III.
  - Het binnenvaart emissieprestatie label is formeel geïntroduceerd. In totaal hebben op dit moment slechts acht schepen dit emissielabel.
  - Doordat werkschepen op locatie in projecten worden toegepast, vallen zij onder vergunningsplicht waarbij op stikstofdepositie wordt beoordeeld. Voor werkschepen is er daarmee een noodzaak voor verschooning, die andere schepen niet hebben.
  - De binnenvaart participeert op dit moment niet in de REDII. Daardoor is de inzet van hernieuwbare brandstoffen in de binnenvaart nog zeer beperkt. Er wordt vanuit gegaan dat de REDIII in de toekomst wel van toepassing zal zijn op de binnenvaart.
  - Door onderzoek aan de zoete waterbouw vloot is veel kwantitatieve informatie beschikbaar gekomen over de hieraan gekoppelde emissies, en ook hoe deze emissies zijn verdeeld tussen voortstuwings- en werkmotoren. De conclusie is dat werkmotoren van werkschepen meer luchtverontreinigende en broeikasgasemissies uitstoten dan de voortstuwingsmotoren. Dit inzicht kan gebruikt worden voor een toekomstige update van het binnenvaart-emissiemodel POTAMIS. Voor dit model zijn ook andere verbeteringen gepland, zoals een betere modellering van de emissies bij stilliggen, varen bij lage snelheden en bij manoeuvreren; en daarnaast wat betreft de emissies van hulpmotoren in het algemeen.

## 5.7 Referenties

- IBO (2019). Interdepartementaal beleidsonderzoek (IBO). Eindrapport Luchtkwaliteit.
- IenW (2022). Kamerbrief over uitstel invoering reductieverplichting in de binnenvaart en stand van zaken vervolgonderzoek gebruik van biobrandstoffen in de binnenvaart. 1 juli 2022 [pdf \(overheid.nl\)](#).
- Mensch, P. v., Merriënboer, S. v., Tol, D., Rondaij, A., Harmsen, J., & Fransen, R. (2022). Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw. TNO 2022 R11048.
- Rijksoverheid (2022). Zie kamerbrief Toekomst Binnenvaart van 30 november 2022. [Kamerbrief over toekomst binnenvaart | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)
- TNO (2020) TNO Kennisinbreng (achtergrondrapport) Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2019. TNO Rapport 2019 P12134.
- TNO (2021), Verkenning duurzaamheidsopties zoete waterbouwwloot. TNO 2022 R10026.
- TNO (2021a). Gebruikershandleiding POTAMIS v1.4, Prognosis Of Transport Air emissions Model of Inland Shipping. TNO 2021 R10401.
- TNO (2022c). Effectiviteit subsidieregelingen Stage V motorvervanging en retrofit. TNO 2022 R10353

Verbeek, R., Karaarslan, S., Quispel, M., & Tachi, K. (2020). Impact assessment biobrandstoffen voor de binnenvaart. Opgehaald van <http://publications.tno.nl/publication/34637419/wHTZ8b/TNO-2020-R11455.pdf>: TNO 2020 R11455.

## 6 Zeevaart

*Auteurs: Ruud P. Verbeek, Jorrit Harmsen*

### 6.1 Inleiding

De zeevaart heeft voor een drietal luchtverontreinigende stoffen een groot aandeel in de totale emissies van mobiliteit op Nederlands grondgebied. Het betreft hier de uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), fijnstof (PM<sub>10</sub>) en zwaveloxiden (SO<sub>x</sub>).

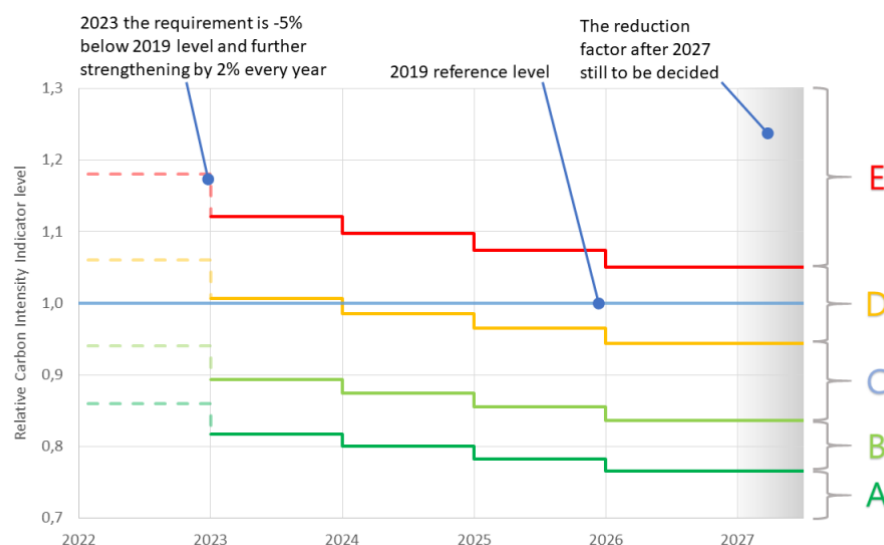
In dit hoofdstuk worden de belangrijkste trends in de zeescheepvaart en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen beschreven. Deze analyse dient als onderbouwing voor de *Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen*.

Paragraaf 6.2 geeft eerst een overzicht van de energie efficiency- en emissierichtlijnen voor zeeschepen van de Internationale Maritieme Organisatie (IMO). Paragraaf 6.3 beschrijft nieuwe Europese richtlijnen die zijn voorgesteld door de Europese Commissie voor verduurzaming van de maritieme sector. Paragraaf 6.4 zoomt specifiek in op schepen die LNG als brandstof gebruiken. Paragraaf 6.5 gaat over de monitoring en handhaving van Tier III emissie-eisen aan zeeschepen. Paragraaf 6.6 beschrijft tenslotte de samenstelling en emissies van de zoute waterbouwvloot.

### 6.2 IMO Richtlijnen voor energie-efficiency en emissies van zeeschepen

In 2021 zijn twee nieuwe efficiency indices vanuit de Internationale Maritieme Organisatie (IMO) geratificeerd:

- **EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index):** Guideline die op basis van de technische kenmerken van een schip een inschatting geeft van de standaard CO<sub>2</sub>-emissies (gram per ton<sub>laadvermogen</sub> per Nautische Mijl). Dit is een uitbreiding van de index die al verplicht is voor nieuwbouwschepen (EEDI) en is van toepassing voor alle (bestaande) schepen van 400 Gross Tonnage (GT) of groter. De EEXI is een theoretische waarde die berekend wordt op basis van een aantal default waarden voor vaarsnelheden en technische kenmerken van het schip, zoals het laadvermogen. Op basis van de berekende EEXI waarde van een schip wordt een schip ingedeeld in klassen A t/m E. Presteert een schip drie jaar op rij lager dan klasse D, dan moet een schip maatregelen nemen om efficiënter te gaan opereren. Denk hierbij o.a. aan technische maatregelen zoals een geoptimaliseerde schroef, een betere stroomlijn, maar ook aan de inzet van een schip etc.
- **Carbon Intensity Indicator:** De CII is een indicator gebaseerd op de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot afgezet tegen de capaciteit en de afgelegde afstand (gram/ton<sub>laadvermogen</sub> Nautische Mijl). De uitstoot van het schip wordt afgezet tegen een referentie en het schip krijgt hiermee een label (A t/m E). Ieder jaar wordt de referentie aangescherpt (zie Figuur 6).



Figuur 36: Voorbeeld van CII rating systeem (bulk carrier) (NAPA, 2021)

De EEXI en de CII hebben (nog) geen directe (financiële) consequenties. Vanuit IMO is opgeroepen dat partijen (havens, verladers, verzekeringen) voordelen geven aan schepen met een A of B CII-status. Momenteel betreft dit nog een oproep. Het is echter de verwachting dat strengere en/of financiële maatregelen aan deze indicatoren gekoppeld zullen gaan worden.

In een impact assessment verwacht IMO in 2030 een reductie van de CO<sub>2</sub>-intensiteit van zeeschepen van 10% met EEXI (samen met andere huidige regulations) en 16% tot 27% met CII en EEXI ten opzichte van het niveau van 2030 zonder deze regelgeving. Hoe deze reducties precies gerealiseerd moeten worden, wordt door IMO niet expliciet beschreven. De bandbreedte voor EEXI hangt af van het aanscherpingspad dat wordt gekozen (IMO, 2021).

Hoewel de richtlijnen bedoeld zijn voor reductie van broeikasgasemissies, kunnen deze ook een effect hebben op uitstoot van luchtverontreinigende stoffen door zeescheepvaart. De emissies van luchtverontreinigende stoffen gaan over het algemeen proportioneel omlaag met de verlaging van het energieverbruik. De impact van de richtlijnen voor 2030 zijn op dit ogenblik nog lastig te duiden, aangezien aanpalende maatregelen (met financiële impact) rondom de verschillende labels onder de richtlijnen nog niet ingevuld zijn. Zonder de ontwikkeling van aanvullende maatregelen (vanuit bijvoorbeeld de IMO, nationale overheden of havens) zal de impact beperkt zijn.

### 6.3 Europese richtlijnen: Fuel EU-Maritime, MRV, ETS, ETD

Europa heeft meerdere voorstellen voor richtlijnen gepubliceerd om de maritieme sector te verduurzamen:

- **Fuel EU-Maritime** die voor de zeescheepvaart een reductie van de broeikasgasintensiteit voor de geleverde brandstoffen bewerkstelligt.

De reductie-eisen lopen op van 2% in 2025, naar 6% in 2030, tot tenslotte 75% in 2050<sup>61</sup>. Daarnaast omvat het ook zero-emissie eisen voor schepen welke aangemeerd liggen aan de wal (vanaf 2030).

- In het kader van **RefuelEU Maritime** worden de CO<sub>2</sub> rapportage eisen van het Monitoring Rapportage en verificatie systeem (MRV) aangescherpt naar een rapportage inclusief type brandstof en energieverbruik en type brandstof aan wal. De aanscherping omvat ook een onafhankelijke verificatie van de geleverde informatie.

Met de introductie van het MRV systeem wil de Europese Unie inzicht krijgen in de broeikasgasemissies van alle schepen die havens in de unie aandoen. Op deze wijze moet meer kennis verkregen worden van de emissies die schepen veroorzaken en de mogelijke opties om deze emissies te beperken.

- Deelname van de scheepvaart in het Europese **Emissions Trade System (ETS)**: Dit betreft een stapsgewijze opbouw tussen 2023 en 2026. Het begint bij 20% van de uitstoot in 2023 oplopend naar 100% in 2026 (45% in 2024, 70% in 2025).
- De **European Energy Taxation Directive (ETD)** voorziet in een minimum belasting op scheepvaart brandstoffen afhankelijk van de energie-inhoud en de broeikasgasemissies. Dit minimum zal geleidelijk toenemen. Het minimum tarief voor fossiele brandstoffen ligt in de range van 7 tot ruim 10 €/GJ.

Als de voorstellen aangenomen worden zullen de richtlijnen en eisen wettelijk verplicht zijn. In CE Delft (2022) wordt uitgebreider ingegaan op de potentiële effecten van ETS, ETD en andere beleidsvoorstellen.

#### 6.4 Schepen die LNG als brandstof gebruiken

#### 6.4.1 Ontwikkeling omvang en samenstelling van de LNG vloot

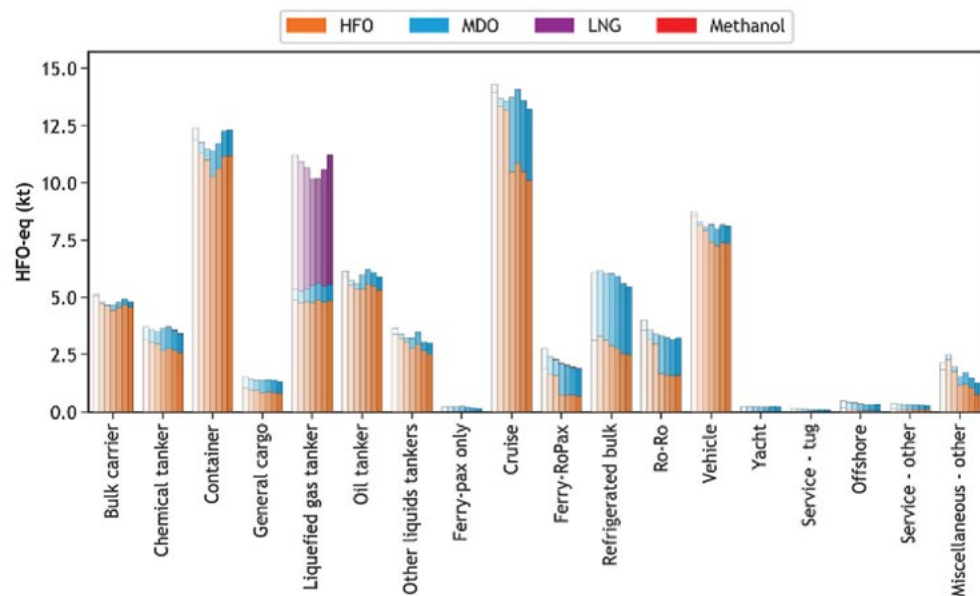
In de KEV2022-prognose voor de ontwikkeling van emissies tot 2030 van zeeschepen op Nederlands grondgebied zijn aannames gedaan over de ingroei van alternatieve energiedragers. In de modellering wordt door PBL uitgegaan van een ingroei van LNG naar 9% van de totale brandstofinzet voor zeeschepen in 2030.

Een groot deel van het gebruik van LNG in de zeescheepvaart betreft schepen die LNG transporteren (LNG carriers) en zelf deze brandstof ook gebruiken voor hun aandrijving. In april 2022 bestond de wereldwijde vloot LNG carriers uit 641 actieve schepen (IGU, 2022). Veel van deze LNG carriers varen zelf op LNG en kunnen ongeveer de helft van hun benodigde LNG brandstof halen uit de boil-off<sup>62</sup> van de lading LNG die ze transporteren (zie Figuur 8). Deze schepen bunkeren veelal geen LNG in de Nederlandse havens.

Mede door recente geopolitieke ontwikkelingen is er een grote vraag naar LNG. In de zomer van 2022 bedroeg het *Forward Order Book* tussen de 230 (Lloyd's List, 2022) en 255 (TradeWind, 2022) LNG Carriers. Van te voren is nog niet te zeggen welk gedeelte van deze nieuwe vloot de Nederlandse wateren zal aandoen.

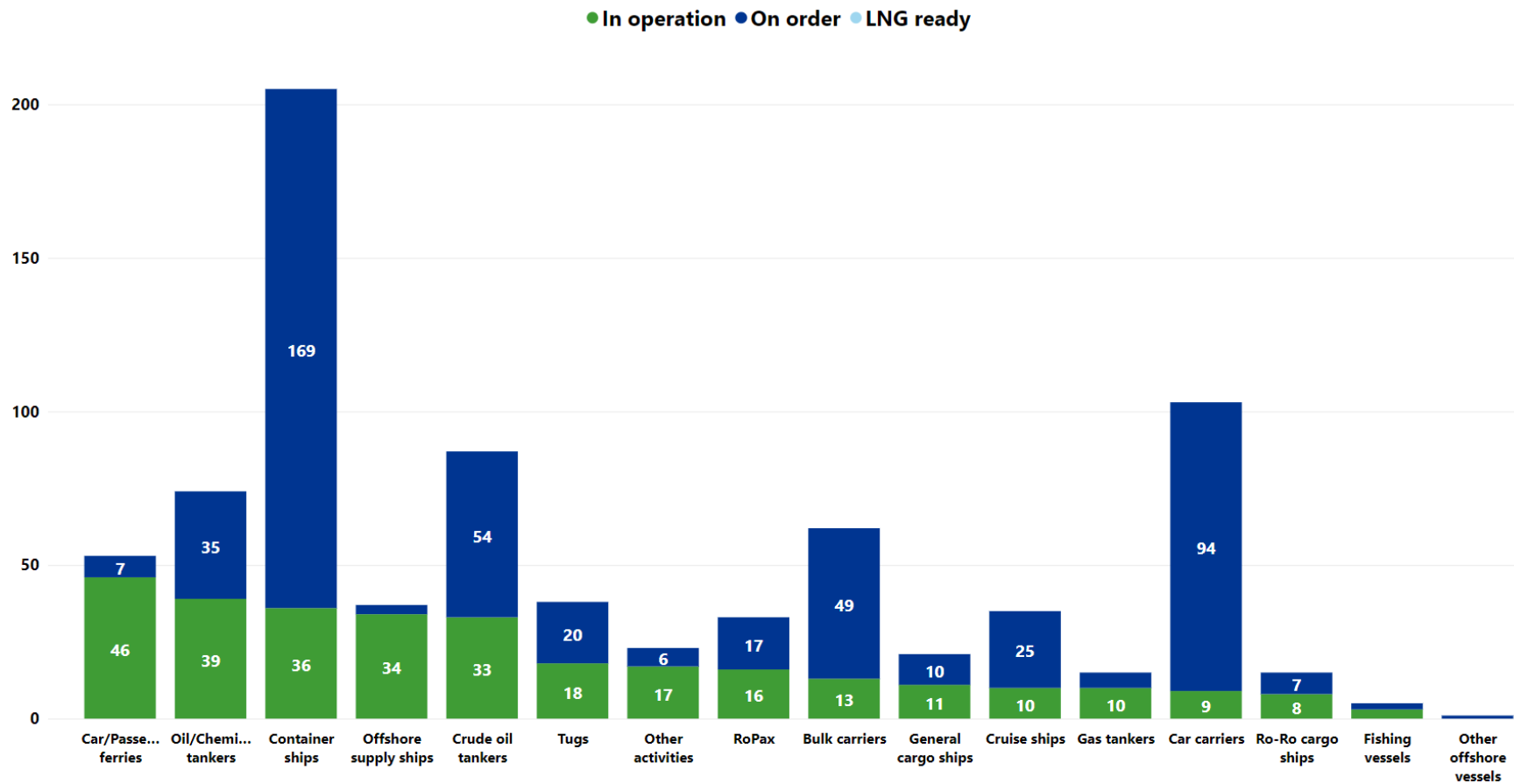
<sup>61</sup> Carriages preview | Legislative Train Schedule (europa.eu)

<sup>62</sup> LNG wordt in LNG carriers in vloeibare vorm getransporteerd bij -162°C (het kookpunt van methaan). Er is altijd gas dat vrijkomt, het boil-off-gas, zodat de druk en de temperatuur in de opslagtanks niet stijgen. Dit boil-off gas kan door LNG-carriers gebruikt worden als brandstof voor de voortstuwing van het schip.



Figuur 37: Gemiddeld energieverbruik naar brandstoftype in 2018 (HFO-eq) (IMO, 2020)

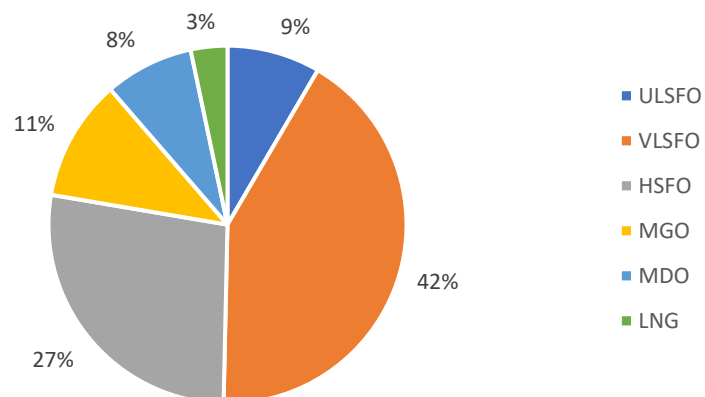
Naast LNG Carriers, waren in juli 2022 wereldwijd 303 andere schepen op LNG in de vaart. Tevens zijn er 155 schepen “LNG ready”, ofwel, in deze schepen kan LNG vrij eenvoudig geïmplementeerd worden. In het *forward order book* zijn daarnaast nog 504 schepen in aanbouw tot en met 2028, alsmede 74 LNG ready schepen. Figuur 35 geeft een overzicht van de scheepstypen waarin LNG wordt toegepast. De figuur geeft alleen inzicht in de schepen die nu in aanbouw zijn en geen inzicht in de schepen die de komende jaren nog worden besteld tot 2030. Als het orderboek wordt meegerekend, dan is LNG het meest populair bij containerschepen (205 stuks), daarna volgen car-carriers (103), crude oil tankers (87) en product/chemical tankers (74).



Figuur 38: Aantal LNG schepen in operatie en in ontwikkeling (DNV, 2022)

Op basis van data uit het EU MRV systeem waren in 2019 een kleine 300 schepen op LNG in gebruik, met een totale LNG-consumptie van 2,7 miljoen ton. LNG tankers waren verantwoordelijk voor ruim 85% hiervan.

In de haven van Rotterdam werd in 2021 0,27 miljoen ton LNG gebunkerd. Dit was 3% van de totale bunkerhoeveelheid in de Rotterdamse haven gemeten als aandeel in MJ energie (Figuur 10). De afgelopen jaren is dit snel toegenomen (in 2020 werd nog 0,09 miljoen ton gebunkerd).



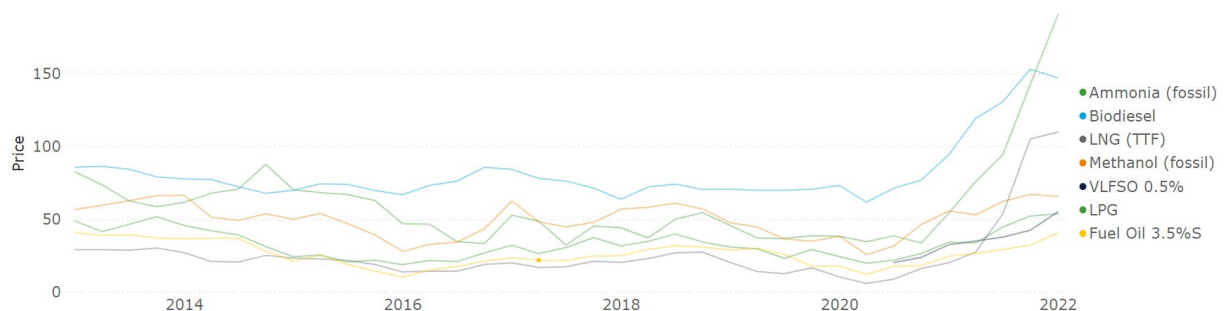
Figuur 39: Aandeel bunkerbrandstoffen in de totale bunkermarkt in 2021 (gerekend in MJ energie) (Havenbedrijf Rotterdam, 2022)

De toekomstige ontwikkeling van het marktaandeel van LNG is onzeker.

Een groei valt te verwachten vanwege:

- de groei van het aantal LNG carriers (van 641 naar +/- 890) en overige schepen op LNG (van 303 naar minimaal 504),
- het feit dat deze groei plaatsvindt in een marktsegment die belangrijk is voor de haven van Rotterdam (containervaart) ,
- de toenemende scheepsgrootte (in deadweight tonnage) van deze schepen.

Grote onbekende hierbij is de prijsontwikkeling van gas en hiermee van LNG. Waar de afgelopen jaren de prijs van LNG (omgerekend naar euro per MWh) goedkoper was dan Heavy Fuel Oil (HFO) en andere maritieme brandstoffen, is dit sinds vorig jaar omgekeerd (Figuur 37)



Figuur 40: Prijsontwikkeling verschillende scheepsbrandstoffen (in Euro per mWh) (DNV, 2022)



#### 6.4.2 LNG motortechnologie en broeikasgasemissies

Er zijn, in schepen op LNG, vier motortypen te onderscheiden, met vaak grote verschillen in specifieke NO<sub>x</sub>- en CH<sub>4</sub>-uitstoot. Zie onderstaande tabel. In de huidige vloot, zijn de eerste twee typen (LNG-Otto) dominant met een marktaandeel van ruim 80%. Van de LNG-Otto motoren worden de methaanemissies bij nieuwe motoren steeds wat verlaagd. Dit is ook via een upgrade kit (soms met alleen een software update) toe te passen op oudere motoren.

Het orderboek laat een sterke toekomstige groei zien tot 35-40% marktaandeel, van het derde type LNG-diesel met hogedruk LNG-injectie (HPDF). Dit komt waarschijnlijk door de gunstige standaard broeikasgasemissiefactor, welke voorgesteld is voor FuelEU Maritime. De methaanemissie van dit type motoren is ca. 30 keer lager dan van de andere motortypen.

In de huidige opzet van FuelEU maritime en het EU ETS worden methaanemissies in feite onvoldoende meegenomen omdat, vergeleken met praktijkmetingen, met relatief lage default waarden voor methaanemissies gerekend wordt.

De LNG-diesel motoren met hogedruk LNG-injectie hebben wel een NO<sub>x</sub> emissiecontrole systeem nodig om aan de ECA Tier III eisen te kunnen voldoen.

Tabel 27: Overzicht typen LNG motoren en specifieke NO<sub>x</sub> en CH<sub>4</sub> emissies

| Type                | Aanduiding*    | NO <sub>x</sub> -niveau (zonder nabehandeling) | CH <sub>4</sub> |
|---------------------|----------------|------------------------------------------------|-----------------|
| LNG-Otto MS         | LPDF           | Tier III                                       | Hoog            |
| LNG-Otto LS         | LPDF           | Tier III                                       | Medium-hoog     |
| LNG-diesel LS       | HPDF           | Tier II                                        | Laag            |
| LNG lean burn SI MS | Spark Ignition | Tier III                                       | Medium-hoog     |

\* LPDF: low pressure dual-fuel, HPDF: high pressure dual-fuel

Een belangrijke publicatie over emissies van deze LNG-motoren betreft remote sensing metingen aan acht LNG schepen in de Baltische zee, welke in totaal 28 maal het meetstation passeerden (Grönholm, et al., 2021). Het doel was om de specifieke methaan en NO<sub>x</sub>-emissies vast te stellen. De range van ΔCH<sub>4</sub>/ΔCO<sub>2</sub> (volume ratio) varieerde van 0,1% - 0,5% voor hogedruk LNG-motoren (HPDF) en van 1% tot 9% voor lagedruk LNG-motoren (LPDF). Dit percentage is gelijk aan het volumepercentage onverbrande brandstof. Het merendeel van de motoren is van het lagedruk type, dus met relatief hoge methaanemissies. De genoemde getallen zijn in lijn met Balcombe (2022). Dit betreft gedetailleerde metingen aan een LNG-carrier met twee low speed hoofdmotoren en vier medium speed generatorsets, allen van het LPDF type. De methaan slip van de hoofdmotoren is gemiddeld 2.1% en voor de generatorsets gemiddeld ca. 8%.

LNG geeft bij verbranding een netto WTW (well-to-wake) CO<sub>2</sub>-emissie van ca. 74,5 g/MJ, terwijl deze emissiefactor van dieselbrandstof ca. 90,6 is (FuelEU Maritime, MGO) is. Dat is exclusief de methaan uitstoot vanwege methaanemissie van motoren. Het opwarmingseffect, het Global Warming Potential (GWP) van methaan is relatief hoog in verhouding tot CO<sub>2</sub>, en ook afhankelijk van de beschouwde periode. De GWP over 100 jaar; GWP<sub>100</sub> van methaan is een factor 28 hoger dan CO<sub>2</sub> (IPCC-AR5).

Over 20 jaar; GWP20 van methaan is een factor 84 hoger dan CO<sub>2</sub> (IPCC-AR5). Bij GWP100, mag een LNG-motor maximaal 0,80%<sup>[1]</sup> onverbrande methaan uitstoten om niet meer broeikasgassen uit te stoten dan de dieselmotor (op basis van WTW). Bij GWP20 zou dat zelfs niet meer dan 0,26% mogen zijn. Volgens de bovengenoemde publicatie, ligt de mediaan van de methaanemissie van de lage drukmotoren bij ca. 3% onverbrand. Als dat als indicatie van de gemiddelde methaanemissie van dit type motoren mag worden beschouwd, leidt dat tot een broeikasgasemissie (100 jaar) die ca. 49% hoger ligt dan die van de dieselmotor (met gelijk rendement). Voor 20 jaar ligt dat zelfs ca. 187% hoger. Lindstad (2021) komt voor WTW (well-to-wake) broeikasgasemissies tot de volgende getallen voor de lagedruk LNG-motor: plus 5% ten opzichte van diesel voor 100 jaar GWP en plus 40% voor 20 jaar GWP. Geconcludeerd kan worden dat de praktijkmetingen aan deze acht schepen, gemiddeld hogere broeikasgasemissies laten zien dan schepen met dieselmotoren. Een deel van de verklaring, is waarschijnlijk het belastingsprofiel. In de praktijk is de belasting meestal lager dan volgens de officiële testcyclus. Het is bekend dat de specifieke methaanemissie over het algemeen hoger is bij lagere belasting. Zie ook Balcombe (2022). Het is mogelijk dat de methaanemissies van bestaande motoren verbeterd kunnen worden, maar het is op dit moment niet duidelijk hoeveel zo'n verbetering oplevert en of dat voor een voldoende groot deel van de vloot haalbaar is. In FuelEU Maritime zijn GHG emissiefactoren voorgesteld voor verschillende typen LNG-motoren. Hierbij wordt rekening gehouden met de methaanemissie afhankelijk van de motortechnologie. Dit is echter gunstiger dan vastgesteld bij de bovengenoemde metingen en publicatie. Het is nog onzeker of methaan zal worden meegenomen in EU ETS. In tegenstelling tot FuelEU Maritime, wordt bij ETS uitgegaan van een TTW (tank-to-wake) basis.

#### 6.4.3 Conclusies

Mede door de toenemende vraag van het vervoer van LNG neemt het aantal schepen dat op LNG vaart toe. In de praktijk worden, afhankelijk van de motortypes, echter relatief hoge methaanemissies gezien, hetgeen kan leiden tot hogere broeikasgasemissies dan die van de dieselmotor.

In de huidige opzet voor FuelEU Maritime en EU ETS wordt onvoldoende rekening gehouden met de relatief hoge methaanemissies, vooral omdat bij de voorgestelde standaard emissiefactoren uitgegaan wordt van relatief gunstige methaanemissies.

### 6.5 Tier III emissies monitoring en handhaving

Sinds 2021 geldt er voor de Noordzee en de Oostzee een zogenaamde "Nitrogen Oxide Emission Control Area" (NECA)<sup>63</sup>. Schepen met een kiellegging vanaf 1 januari 2021 moeten in dit gebied voldoen aan de Tier III norm, deze is voor NO<sub>x</sub> ruim 70% strenger dan de Tier II norm. Voor de Noordzee en de Oostzee zijn al veel eerder beperkende maatregelen van kracht voor de uitstoot van zwaveloxide (SO<sub>x</sub>). Sinds 2015 is het maximum zwavelgehalte in de brandstof 0,1%. Dit lagere zwavelgehalte beperkt ook de fijnstof uitstoot van de motoren.

<sup>[1]</sup> Het verschil in CO<sub>2</sub>-emissie bij verbranding tussen diesel en LNG is 73-56=17 g/MJ. 1,1% methaanemissie veroorzaakt precies die 17 g extra CO<sub>2</sub>-equivalent emissie (voor 100 jaar).

<sup>63</sup> Dit werd besloten tijdens de 71e zitting van het IMO Marine Environment Protection Committee (MEPC 71).

### 6.5.1 Tier III NO<sub>x</sub>-emissies

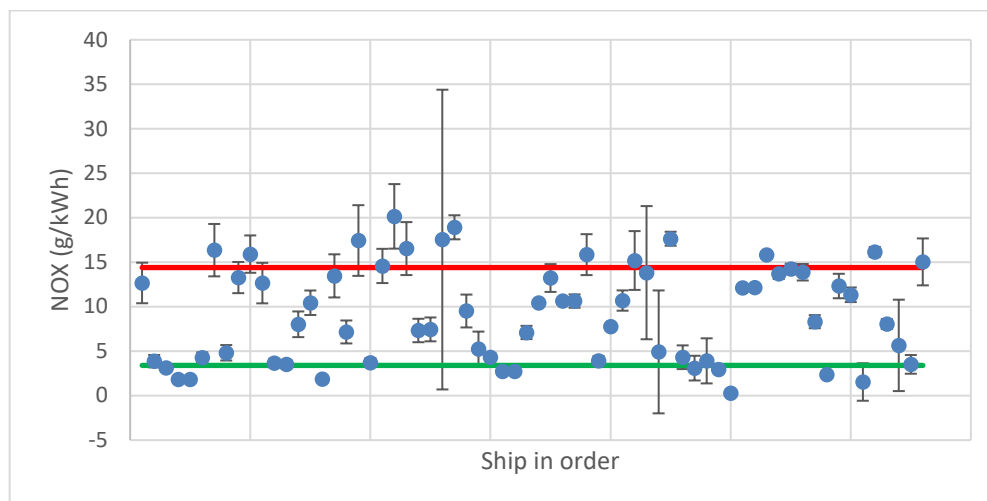
Tot nu toe was er weinig bekend over de NO<sub>x</sub>-emissies in de praktijk van schepen welke moeten voldoen aan de Tier III eisen. In het Europese SCIPPER<sup>64</sup> project zijn in totaal 65 metingen aan Tier III schepen op de Noordzee en de Oostzee gecombineerd in één grafiek. Zie onderstaande figuur (Fridell, Verbeek, Matthias, & Mellqvist, 2023). Van de in totaal 65 metingen zijn er 41 gemeten op de Noordzee direct voor de ingang van de Rotterdamse haven. Dit betrof in totaal 26 verschillende Tier III schepen. Daarnaast zijn er 13 metingen aan schepen verricht vanaf de Great Belt bridge in Denemarken en 10 met een drone voor de kust van Denemarken. Tenslotte is er 1 schip gemeten bij de haven van Hamburg. In Rotterdam waren in totaal 73 metingen verricht, 32 daarvan betroffen echter 18 schepen met een kiel-leg-datum van voor 2021. Zij hoeven niet aan de Tier III eis te voldoen en zullen over het algemeen de SCR katalysator uitgeschakeld laten. Drie schepen van deze pre-2021 groep hadden desalniettemin één meting met een lage NO<sub>x</sub> uitstoot. Twee daarvan hadden ook meerdere metingen met een hoge NO<sub>x</sub> uitstoot. Figuur 38 laat zien dat uit de meetresultaten blijkt dat twee derde van de schepen een NO<sub>x</sub>-emissie heeft van meer dan tweemaal de limietwaarde<sup>65</sup>. Bij ca. 14 metingen liggen de NO<sub>x</sub>-emissies waarschijnlijk zelfs boven de Tier II limietwaarde. Vermoedelijk spelen meerdere oorzaken een rol bij de gevonden hoge emissies. Bij een deel van de gemeten schepen kan het motorvermogen lager dan 25% zijn geweest, waardoor het uitlaatgas koeler blijft en de katalysator (intrinsiek) slechter werkt. Onder 25% vermogen worden er vanuit MARPOL en de ISO testcyclus weinig eisen aan de NO<sub>x</sub>-uitstoot gesteld. Bij een ander deel van de schepen, zou het emissiecontrole systeem om andere redenen niet goed kunnen functioneren. Het is niet bekend of soortgelijke resultaten ook verder uit de kust te verwachten zijn (waar vaker met hogere motorbelasting wordt gevaren, gekoppeld aan uitlaatgassen met hogere temperaturen en daarmee samenhangende goede katalysatorwerking<sup>66</sup>). Op de Oostzee, met metingen bij de Great Belt Bridge en met drones, is het beeld vergelijkbaar met de metingen bij Hoek van Holland.

---

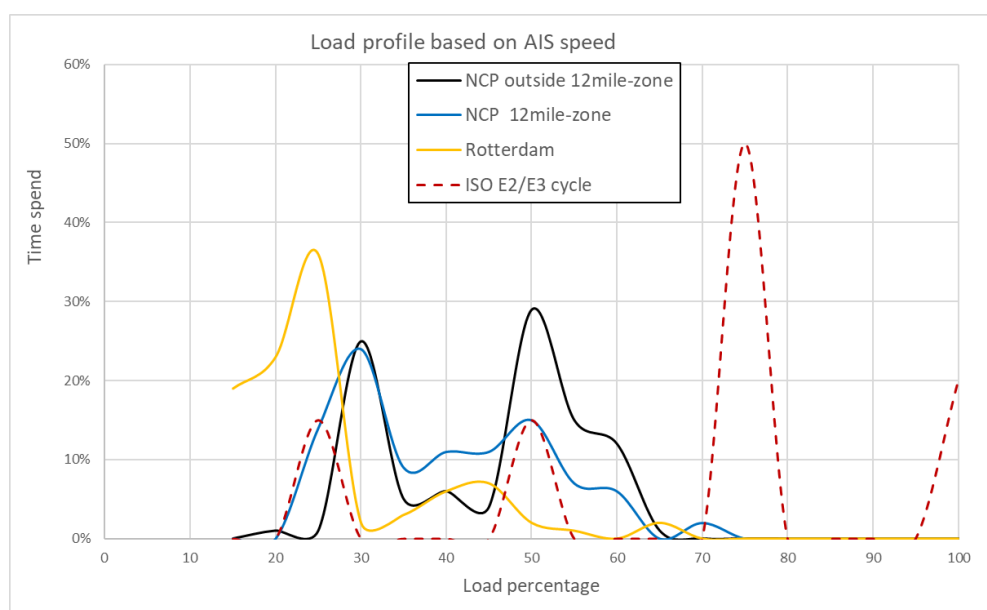
<sup>64</sup> [SCIPPER – Shipping Contributions to Inland Pollution Push for the Enforcement of Regulations \(scipper-project.eu\)](https://scipper-project.eu)

<sup>65</sup> De limietwaarde geldt voor een gewogen gemiddelde van de testcyclus die uit vier motorbelastingpunten bestaat. Tevens geldt per testpunt een maximum van 150% van de limietwaarde. Het testpunt met 25% motorvermogen is het testpunt met de laagste belasting voor de hoofdmotoren. Beneden de 25% motorbelasting stijgt de NO<sub>x</sub> emissie doorgaans snel hetgeen ook is toegestaan (omdat het uitlaatgas dan minder heet is waardoor de katalysator slechter werkt).

<sup>66</sup> Er zijn ook voorbeelden bekend van een zeer goede katalysatoromzetting onder 25% motorvermogen. 'Zie bijvoorbeeld D. Abma, et.al.: Emissions of black carbon and particulate matter in dependence of SCR and fuel water emulsion during normal operation of a trailing suction hopper dredger TNO 2018 R11500 vs2. December 2018.



Figuur 41: Remote sensing NO<sub>x</sub> emissiemetingen van Tier III schepen op de Noordzee (41 schepen) en de Oostzee (24 schepen). Groene en rode lijn geven res. de Tier III en Tier II limietwaarden aan.



Figuur 42: Belastingsprofiel van motoren van schepen op het Nederlands Continentale Plat (NCP) en in het Rotterdamse havengebied in vergelijking met die van de ISO E2/E3 testcyclus welke voorgeschreven wordt door de IMO MARPOL Annex XI regelgeving.

Het profiel van de motorbelasting van schepen op de Noordzee en in de Rotterdamse haven is weergegeven in Figuur 39. Dit is berekend op basis van AIS data (KEV, 2019). In de figuur zien we dat binnen het Rotterdams havengebied de motorbelasting meer dan 40% van de tijd lager is dan 25%. Ook op het gehele Nederlandse Continentale Plat (NCP) is de motorbelasting relatief laag, lager dan 50% gemiddeld. In de figuur is ook het belastingprofiel van de E2/E3 ISO testcyclus weergegeven. Deze heeft een relatief hoge gemiddelde belasting, namelijk 67%. Dit is een belangrijk punt. Want het verschil tussen de relatief lage belastingprofielen onder de praktijkomstandigheden in de Nederlandse wateren en de testcyclus resulteert over het algemeen in hogere NO<sub>x</sub>-emissies in de praktijk, dan wat je op grond van de limietwaarde zou verwachten.

In de KEV-emissieberekening is al rekening gehouden met het emissieverhogende effect van varen met relatief lage motorbelastingen. Hiertoe is gebruik gemaakt van motorbelastingsafhankelijke emissiefactoren (zie KEV, 2019). Voor het NCP geldt een gewogen correctiefactor van 1,44 ten opzichte van de Tier III norm van 3,4 g/kWh. Voor de grootste motoren wordt daarmee uitgegaan van een gemiddelde NO<sub>x</sub> emissie van 4,9 g/kWh. Voor de haven van Rotterdam is dat zelfs 6,1 g/kWh (gewogen correctiefactor van 1,81).

In figuur 38 zien we dat het gemiddelde rond de 9 g/kWh ligt, maar ook dat de verschillen tussen de resultaten groot zijn. Als deze getallen als representatief gezien zouden kunnen worden voor de NO<sub>x</sub> emissies bij de haven van Rotterdam, dan daalt de met Tier III beoogde NO<sub>x</sub> reductie ten opzichte van Tier II van ca. 70% naar ca. 50%. Om de oorzaken te achterhalen van de hoge NO<sub>x</sub> meetresultaten én de representativiteit van deze metingen voor de gehele Tier III vloot bij Rotterdam en in het NCP-gebied is meer onderzoek nodig<sup>67</sup>.

Het beeld van relatieve hoge NO<sub>x</sub> emissies bij lage motorbelasting vanwege relatief lage vaarsnelheden voor schepen met SCR deNO<sub>x</sub> (Tier III), maar ook wel voor Tier II schepen, wordt breed gedeeld in Europa. Bij uitgebreide metingen op de STENA Germanica veerboot in het SCIPPER project kwam duidelijk naar voren dat de SCR vaak pas effectief werd bij vaarsnelheden boven 20 km/uur (dit is ongeveer de helft van de ontwerpsnelheid waarbij de belasting van de motor slechts ongeveer 10 procent is). Opgemerkt zij ook dat de STENA Germanica op methanol vaart, waardoor dit schip niet als representatief kan worden beschouwd.

Het zwaartepunt van de vaarsnelheid van dit schip lag tussen 27 en 37 km/uur, waarbij de gemiddelde NO<sub>x</sub> laag is (SCIPPER D1.6, 2022).

#### 6.5.2 *Handhaving TIER III*

Het zwaartepunt van de handhaving door de Europese scheepvaart-inspecties ligt tot nu toe vooral bij de eisen voor het zwavelgehalte van de brandstof. Voor NO<sub>x</sub> betreft het tot nu toe alleen monitoring. Een significante inzet van Tier III schepen is pas in 2022 op gang gekomen. De meetresultaten zoals gepresenteerd in figuur 38 laten zien, dat uitgebreidere monitoring en handhaving van belang zijn.

De Bonn Agreement is een samenwerkingsverband in Europa dat als doel heeft de vervuiling van de Noordzee te verminderen. De deelnemende landen zijn België, Denemarken, Duitsland, Ierland, Nederland, Spanje, Verenigd Koninkrijk en Zweden en ook de Europese unie. Één van de onderwerpen is het verbeteren van de Monitoring Activities van MARPOL Annex VI, afgekort als MAVI. Hierin worden afspraken gemaakt over handhaving van FSC (fuel sulphur content) en NO<sub>x</sub> emissie-eisen. Hiervoor zijn in 2022 twee werkgroepen opgericht: Een SOWG – strategic en organisational working group en een TGW – technical working group. Maar monitoring en handhaving van NO<sub>x</sub> emissies staat nog in de kinderschoenen en is zowel technisch als juridisch lastig; veel lastiger dan bij FSC. Voor FSC worden in de (rook)pluim van het schip zwaveloxiden (SO<sub>x</sub>) en CO<sub>2</sub> gemeten.

---

<sup>67</sup> Door de hogere gemiddelde belasting op het NCP ten opzichte van Rotterdam, zijn de risico's op hoge NO<sub>x</sub> emissies op het NCP kleiner. De grote spreiding in NO<sub>x</sub>-emissies baart echter wel zorgen.

In combinatie met brandstofeigenschappen kan dit direct vertaald worden naar FSC. Dit is niet afhankelijk van omstandigheden zoals motorbelasting en testcyclus. Voor NO<sub>x</sub> is dat wel het geval. De NO<sub>x</sub> remote meetinstrumenten zelf functioneren goed, maar om een goede uitspraak te kunnen doen over overschrijding van limietwaarden moet bij verschillende motorbelastingen, en dus vaarsnelheden van het schip gemeten worden. Tijdens de eerste TWG-bespreking op 5 mei 2022, zijn ervaringen met NO<sub>x</sub> metingen uitgewisseld.

De conclusies waren:

1. Er is nog geen effectieve methodologie;
2. Onboard inspecties zijn lastig en vereisen gespecialiseerd personeel;
3. De wetgeving is niet effectief.

Feitelijk zou de handhaving-methodiek in combinatie met Real Sailing Emissies (RSE) eisen en verplichte onboard monitoring geïmplementeerd moeten worden in IMO of Europese regelgeving. De ISO-testprocedure met een gewogen gemiddelde emissie over vier meetpunten is te complex om in de praktijk op significante schaal na te bootsen. Voor wegtransport zijn een speciale praktijk-testprocedure en Real Driving Emissions (RDE) eisen succesvol gebleken om de emissies in de praktijk onder controle te krijgen te krijgen. Dit is ook de aanbeveling vanuit het SCIPPER project. Uiteraard kunnen scheepseigenaren van Tier III schepen wel aangesproken worden op hoge NO<sub>x</sub> emissies onder bepaalde omstandigheden, mocht dat vastgesteld worden. Dit is dan wel zonder hard juridisch drukmiddel. Je kunt ook denken aan een statistische evaluatie per schip, waarbij de NO<sub>x</sub>-emissie van hetzelfde schip onder verschillende omstandigheden wordt gemeten, bijvoorbeeld via vaste stations en via drones.

In februari 2023 heeft een gecombineerde MAVI TWG en SOWG bespreking plaatsgevonden, specifiek voor NO<sub>x</sub> emissies.

De doelstelling is om voor de participerende Bonn Agreement landen, de volgende maatregelen na te streven:

- Het introduceren van een maximale periode tussen de kiel-leg-datum en het in gebruik nemen van het schip, omdat blijkt dat nog steeds schepen in de vaart worden genomen met een kiellegging van meerdere jaren terug.
- Het introduceren van een geharmoniseerde meetmethode, rekenmethode en rapportage methode voor remote NO<sub>x</sub> metingen. Alsmede het uitwisselen van data en van alerts voor handhaving. Dit is technisch redelijk complex. Daarnaast zijn er juridische belemmeringen bij onboard inspecties. Eenvoudigere inspectiemethodes zouden in de wetgeving vastgelegd moeten worden om betrouwbare conclusies te kunnen trekken en daar opvolging aan te kunnen geven.
- Aanbevelingen aan IMO of EU, om de mogelijkheden van handhaving en haveninspecties te verbeteren.
- Aanbevelingen om de weegfactoren voor de gebruikelijke testcycli (E2, E3) aan te passen en het stellen van emissie-eisen voor motorvermogen lager dan 25%.

Geconcludeerd kan worden dat er nog geen concrete plannen zijn om de handhaving van NO<sub>x</sub>-emissies op te pakken.

De in Figuur 38 getoonde, en in de tekst toegelichte, recente meetresultaten laten zien dat een flink deel van de gemeten schepen aanzienlijk meer NO<sub>x</sub> uitstoot dan de Tier II norm. Nader onderzoek is nodig om de exacte oorzaken te achterhalen en de representativiteit van deze metingen voor de schepen in het gehele NCP-gebied te bepalen. In de KEV-emissieprognose wordt rekening gehouden dat in de havengebieden 5% van de schepen niet voldoet aan de emissie-eisen en dat op zee 10% niet voldoet.

#### 6.5.3 Tier III NH<sub>3</sub> emissies

Bij SCR deNO<sub>x</sub> katalysatoren bestaat een risico op hogere emissies van NH<sub>3</sub> (ammoniak), vooral indien er een probleem is met de ureum-oplossing dosering (te veel of inhomogeen verdeeld). Ook bij grote motorbelastingveranderingen, kunnen NH<sub>3</sub>-emissies pieken. In het SCIPPER-project zijn NH<sub>3</sub> emissies gemeten op een veerboot, zowel nat chemisch als via sensoren. Twee metingen bij hoge belasting gaven een NH<sub>3</sub> emissie van resp. 0.11 en 0.22 g/kWh, hetgeen voldoende laag is. Bij motorbelastingveranderingen zijn geen grote pieken in NH<sub>3</sub> emissie gezien. Andere (informatie)bronnen voor NH<sub>3</sub> emissies van Tier III schepen waren niet direct beschikbaar.

Geconcludeerd kan worden dat er geen concrete aanwijzingen zijn van te hoge NH<sub>3</sub> emissies. Het blijft echter wel een aandachtspunt omdat het kan veranderen gedurende de levensduur van het katalysatorsysteem. NH<sub>3</sub> emissie heeft een relatief grote impact op stikstof depositie en op secundaire deeltjesvorming, waardoor het belangrijk is om NH<sub>3</sub> te monitoren.

#### 6.5.4 Conclusies

Ten aanzien van de Tier III wetgeving wordt het volgende geconcludeerd.

- Zeer recente remote sensing metingen aan Tier III schepen op de Noordzee en de Baltische Zee, tonen praktijkemissies die regelmatig aanzienlijk boven de Tier III limiet liggen. Het is van belang te analyseren wat de oorzaak van deze hoge emissies is en of de huidige metingen representatief blijken voor alle Tier III schepen in het gehele NCP-gebied. Afhankelijk van de uitkomst van deze analyse zullen de huidige prognoses van de NO<sub>x</sub>-emissies mogelijk naar boven moeten worden bijgesteld. Een complicerende factor hierbij is dat de NO<sub>x</sub>-uitstoot afhankelijk is van de motorbelasting.
- Handhaving van NO<sub>x</sub> emissie-eisen van schepen is moeilijk, omdat technische controle procedures, toezichtsautoriteiten, en juridische mogelijkheden ontbreken. Om de mogelijkheden te verbeteren, zullen er verbeteringen in zowel de IMO MARPOL Annex VI wetgeving als in de handhaving geïmplementeerd moeten worden. Dit is een lang traject.

Qua regelgeving is het belangrijk om de volgende onderdelen, waarin nu nog niet voorzien wordt, toe te voegen:

- Eisen ten aanzien van Real Sailing Emissies of In Service Conformity, vergelijkbaar met Europese wetgeving voor wegvoertuigen.
- Eisen ten aanzien van On Board Monitoring, minimaal op het niveau van de eisen voor Stage V binnenvaart.
- Procedure voor monitoring en handhaving, zodat effectieve en juridisch afgedekte handhaving mogelijk wordt.

- Bovengenoemde punten worden momenteel opgepakt door de MAVI (Monitoring Activities MARPOL Annex VI) werkgroepen onder het Bonn Agreement samenwerkingsverband.
- Er zijn momenteel geen directe specifieke zorgen over ammoniak-emissies van schepen, maar er zijn ook maar heel beperkt metingen beschikbaar. Het verdient aanbeveling om de effecten van levensduur en onderhoud op ammoniak emissies verder te onderzoeken, vooral voor schepen met SCR en schepen waarbij ammoniak in de toekomst wordt gebruikt als motorbrandstof.

## 6.6 Samenstelling en emissies van de zoute waterbouww vloot

Als onderdeel van het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) is recent een inschatting gemaakt van de omvang en emissies van de zoute waterbouww vloot. Dit is gedaan op basis van vlootprofielen die zijn verkregen vanuit data van maritieme waterbouwers en een inschatting van de totale werkzaamheden die met deze vloot wordt uitgevoerd.

In de analyse is onderscheid gemaakt tussen twee categorieën:

- Vaargeulonderhoud en bouwwerkzaamheden zout
- Offshore.

Deze paragraaf geeft de belangrijkste informatie weer uit dit onderzoek.

### 6.6.1 Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud zout

Binnen deze categorie vallen de activiteiten kustlijnzorg, zoute vaargeulonderhoud en maritieme commerciële zandwinning.

Kustlijnzorg en zoute vaargeulonderhoud wordt gedaan in opdracht van de Rijksoverheid en havenbedrijven. Voor de Rijksoverheid wordt jaarlijks ong. 24 miljoen ton materiaal gebaggerd. De havenbedrijven doen aanvullend hierop ong. 17 miljoen ton. Deze jaarlijkse hoeveelheid is relatief stabiel. Tot 2030 worden geen grote veranderingen verwacht. De omvang van het zoute vaargeulonderhoud dat wordt uitgevoerd door havenbedrijven is onbekend. Daarnaast is het ook niet bekend welk aandeel hiervan met de zoute of de zoete waterbouwschepen wordt uitgevoerd.

Tabel 28: Jaarlijks gemiddeld baggervolume kustlijnzorg en vaargeulonderhoud door Rijkswaterstaat en door overige grote zeehavens.

|                            | Jaarlijks gemiddeld baggervolume<br>[Miljoen m <sup>3</sup> ] in-beun |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| RWS - Kustlijnzorg         | 11                                                                    |
| RWS – Vaargeulonderhoud    | 13                                                                    |
| Overig - Vaargeulonderhoud | 17                                                                    |
| <b>Totaal</b>              | <b>41</b>                                                             |

*\*Inschatting op basis van jaarlijkse kosten 2019 en data uit eerdere jaren. Bron: Objectbeheerregime Kustfundament 2019 en Objectbeheerregime Bodems 2019.*

De werken voor de Rijksoverheid worden uitgezet in tenders. In totaal zijn ca. 15 tot 30 verschillende schepen per jaar aan het werk.



Op basis van de totale omvang van de Nederlandse markt, een vertaalslag van gebaggerd materiaal naar brandstofverbruik en emissies per schip, is een eerste inschatting gemaakt van de emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en fijnstof. Deze eerste uitkomsten zijn verder geverifieerd aan de hand van aanvullende data van maritieme waterbouwers.

Vanuit de studie Bepaling milieu-impact Kustlijnzorg-projecten (TNO, 2020) is bekend hoeveel brandstof in de Nederlandse kustlijnzorgprojecten wordt gebruikt. Hiermee is een gemiddeld brandstofverbruik per kuub (m<sup>3</sup>) bagger berekend die is gebruikt om het totale jaarlijks brandstofverbruik en vervolgens de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot te berekenen.

Voor deze berekening is een bandbreedte aangehouden. Het brandstofverbruik per kuub bagger kan sterk verschillen tussen verschillende werken die worden uitgevoerd (denk aan inzet van verschillende type schepen, het type gebaggerd materiaal, de werkwijze of de vaarafstand naar het werk). De gehanteerde bandbreedte is groter voor zoute vaargeulonderhoud dan voor kustlijnzorg, omdat hier meer onzekerheid is.

Met de scheepsdata van de waterbouwers is een inschatting gemaakt van de NO<sub>x</sub>- en fijnstof-uitstoot van de operatie van de huidige vloot. Deze uitstoot is uitgedrukt in massa NO<sub>x</sub> en fijnstof per liter brandstof om vervolgens met het totale brandstofverbruik de totalen te schatten, Figuur 14 geeft de resultaten.

In deze cijfers zit een onzekerheid over het brandstofverbruik van zogenaamde boosterstations. Dit zijn machines op het land die worden ingezet om de aanvoer van zand voor strandsuppletie te ondersteunen. Het is niet zeker of het brandstofverbruik van deze boosters wel of niet is meegenomen in het brandstofverbruik van kustlijnzorgprojecten.

Tabel 29: Inschatting van de jaarlijkse emissies voor de kustlijnzorg en zoute vaargeulonderhoud

| Activiteit                 | Miljoen m <sup>3</sup><br>(In situ) | Mton CO <sub>2</sub> |             | kton NO <sub>x</sub> |            | ton PM    |           |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------|----------------------|------------|-----------|-----------|
| Kustlijnzorg               | 11                                  | 0,03                 | 0,05        | 0,4                  | 0,7        | 9         | 15        |
| Zoute<br>vaargeulonderhoud | 30                                  | 0,11                 | 0,24        | 1,5                  | 3,1        | 37        | 72        |
| <b>Totaal</b>              | <b>41</b>                           | <b>0,14</b>          | <b>0,29</b> | <b>1,9</b>           | <b>3,8</b> | <b>46</b> | <b>88</b> |

Bron: Operationele data van waterbouwers. Bepaling milieu-impact Kustlijnzorg-projecten (TNO, 2020), Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands (Geilenkirchen et al, 2021).

Voor de ontwikkeling naar 2030 wordt verwacht dat de omvang van de werkzaamheden stabiel blijft. Doordat emissies in aanbestedingen via de milieukostenindicator (MKI) zijn opgenomen, is er vanuit bedrijven een incentive om de vloot te verjongen of retrofit oplossingen toe te passen (zie volgende paragraaf). Naar verwachting zullen de emissies in de komende periode hierdoor afnemen (zie Tabel 27).

Tabel 30: Inschatting van de ontwikkeling van de jaarlijkse emissies voor de kustlijnzorg en zoute vaargeulonderhoud tussen 2021 en 2030

|                        | 2021 | 2025<br>autonoom | 2030<br>autonoom |
|------------------------|------|------------------|------------------|
| CO <sub>2</sub> - Mton | 0,21 | 0,21             | 0,20             |
| NO <sub>x</sub> – kton | 2,8  | 2,5              | 2,1              |
| PM - ton               | 67   | 67               | 67               |

De commerciële zandwinning betreft ook een majeure activiteit. Per jaar wordt ca. 15 miljoen ton vergund. De daadwerkelijke hoeveelheid gewonnen zand verschilt per jaar en hangt af van de vraag van (met name) infrastructurele werken (ARCADIS & Wageningen Marine Research, 2017) (SWECO, 2017). Op basis van historische hoeveelheden is een bandbreedte aangehouden van 6 tot 12 miljoen m<sup>3</sup>.

Er is geen informatie bekend over de kenmerken van de vloot die wordt ingezet voor commerciële zandwinning. Voor de berekening van het brandstofverbruik en de emissies is aangesloten bij de emissiefactoren die gebruikt zijn voor de kustlijnzorg (Tabel 28). Dit kan in de praktijk afwijken. Naar verwachting zal de verjonging van deze vloot minder snel gaan dan in de kustlijnzorg en het zoute vaargeulonderhoud, omdat in commerciële opdrachten MKI een minder sterke rol speelt.

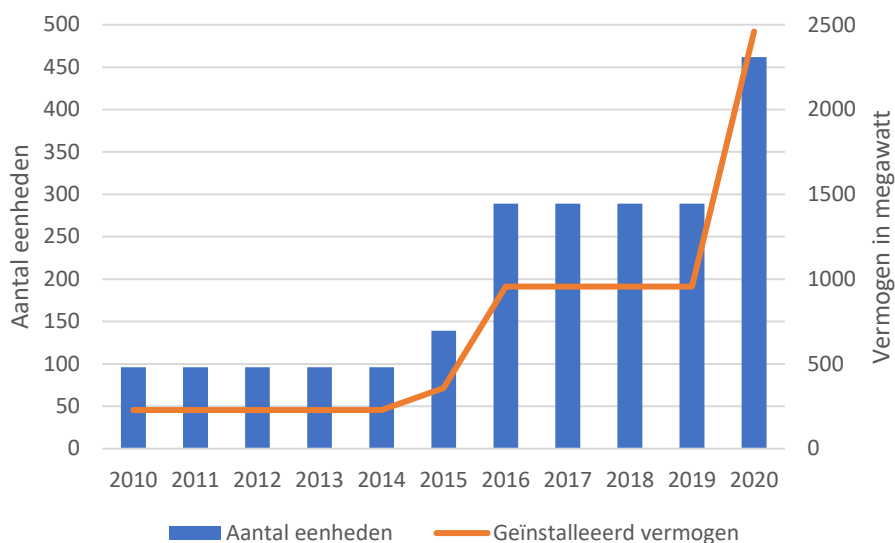
Tabel 31: Inschatting van de jaarlijkse emissies voor de zandwinning in 2021

| Activiteit                | Miljoen m <sup>3</sup><br>(In situ) | Mton CO <sub>2</sub> |      | kton NO <sub>x</sub> |      | ton PM |    |
|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|------|----------------------|------|--------|----|
| Zandwinning op zee - hoog | 12                                  | 0,03                 | 0,05 | 0,38                 | 0,62 | 8      | 14 |
| Zandwinning op zee - laag | 6                                   | 0,02                 | 0,02 | 0,19                 | 0,31 | 4      | 7  |

#### 6.6.2

##### **Offshore**

Een belangrijke activiteit bij offshore is installatie en onderhoud van offshore windenergie. In 2020 was ongeveer 2,5 GW offshore wind energiecapaciteit geïnstalleerd (zie onderstaand figuur). Groei van de capaciteit gaat niet geleidelijk, maar projectmatig in grotere hoeveelheden. Wat opvalt is dat de gemiddelde capaciteit per windmolen toeneemt over de tijd (gemiddeld 4 MW in 2016 en 8 MW in 2020) zie Figuur 14.



Figuur 43: Ontwikkeling van capaciteit van wind op zee tussen 2010 en 2020. Bron: (CBS, 2021)

De komende jaren zal de aanleg van wind op zee fors toenemen.

In het Aanvullend ontwerp Programma Noordzee 2022-2027 is de ambitie uitgesproken om deze groei te versnellen tot ~20,5 GW in 2030 en 38 GW in 2040. De ambitie van 20,5 GW in 2030 is in februari 2022 vastgesteld als officiële doelstelling.

Ook zal de schaalvergroting van steeds grotere windmolens verder doorzetten (van 8-10 MW in 2020 tot ca. 14 MW in 2025. Naar verwachting groeit dit naar windmolens van 20 MW). Inzet van installatie- en onderhoudsschepen nemen dus significant toe in de komende jaren. Naar verwachting zullen daarnaast steeds grotere schepen worden ingezet.

Voor offshore wordt een grote verscheidenheid aan schepen ingezet voor installatie en onderhoud. Voor de installatie van een windmolenpark worden bijvoorbeeld (onder meer) valpijpschepen gebruikt voor het plaatsen van de fundatie, jack-up schepen en kraanschepen voor de installatie. Daarnaast wordt installatie en onderhoud ondersteund door verschillende schepen, zoals toeleverschepen (PSVs), schepen voor personeel (crew tenders) en duikondersteuningsvaartuigen. Een aparte categorie binnen offshore is de aanleg van het netwerk op zee, ofwel bekabeling tussen de offshore windparken en het vaste land. Hiervoor worden onder meer hoppers en kabelleggers ingezet. Deze schepen hebben een grote variëteit aan operationele inzet en motorgebruik.

Op basis van AERIUS-berekeningen voor wind op zee projecten die zijn uitgevoerd in MER-rapportages is input verzameld over de inzet van verschillende schepen (aantal, vermogen en uren inzet) voor verschillende bouwprojecten (ARCADIS, 2021) (Pondera, 2018) (Pondera, 2020), (Pondera, 2019). Op basis van gedetailleerde vlootinformatie vanuit waterbouwers zijn berekeningen uitgevoerd over totale energie inzet en uitstoot per type schip voor de verschillende projecten. Vervolgens is een inschatting gemaakt van de NO<sub>x</sub>-uitstoot per MW-windpark.

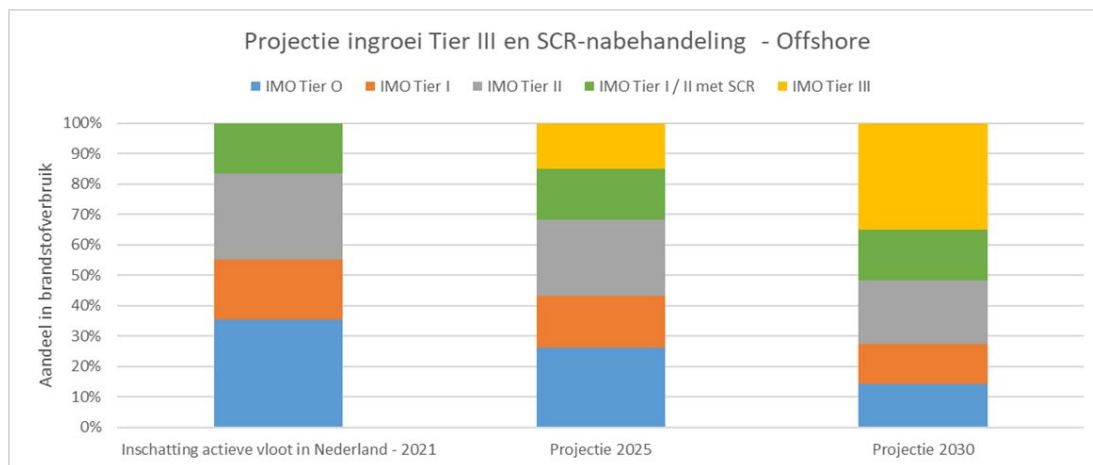
Naast offshore wind vinden op zee ook activiteiten plaats voor olie en gas. Dit betreft voornamelijk bevoorrading en onderhoud van de ~100 operationele platforms. In de komende jaren zal daarnaast activiteit plaats vinden in het ontmantelen van platforms die niet meer in gebruik zijn, ofwel deze om te bouwen naar andere toepassingen zoals omzetting van elektriciteit naar waterstof door middel van elektrolyse. Binnen het kader van de studie voor SEB kon niet worden vastgesteld wat de omvang is van de vlootinzet voor deze activiteit.

In onderstaande tabel staat de uitkomst van de analyse voor het zichtjaar 2021.

Tabel 32: Inschatting van de jaarlijkse emissies voor inzet van waterbouwvaartuigen in de offshore voor 2021.

| Activiteit                | Mton CO <sub>2</sub> |             | kton NO <sub>x</sub> |            | ton PM    |           |
|---------------------------|----------------------|-------------|----------------------|------------|-----------|-----------|
| Windparken                | 0,08                 | 0,10        | 0,9                  | 1,2        | 17        | 21        |
| Net op zee                | 0,03                 | 0,04        | 0,5                  | 0,6        | 6         | 8         |
| Olie en gaswinning op zee | ?                    | ?           | ?                    | ?          | ?         | ?         |
| <b>Totaal</b>             | <b>0,11</b>          | <b>0,14</b> | <b>1,3</b>           | <b>1,8</b> | <b>23</b> | <b>29</b> |

Voor de autonome ontwikkeling van de emissies is naast de omvang van de werkzaamheden op zee ook de ontwikkeling van de ingezette vaartuigen van belang. Uit gesprekken met waterbouwers komt naar voren dat er reeds incentives bestaan om met name het moderne gedeelte van de vloot in te zetten voor Nederlandse werken. De bedrijven verwachten dat dit doorzet naar de toekomst. De NO<sub>x</sub>-uitstoot van deze nieuwe schepen is veel lager dan het gemiddelde van de huidige vloot.



Figuur 44: Projectie van de ingroei van de inzet van tier III en SCR nabehandeling in het vastgestelde en voorgenomen scenario

De uitkomsten van deze autonome prognose zijn weergegeven in Figuur 41. Hierbij is uitgegaan van het gemiddelde van de bandbreedte voor 2021 die is gepresenteerd in Tabel 30. De emissies nemen sterk toe tot 2025, hierna nemen de emissies af. Jaar op jaar kan de inzet wel verschillen, aangezien nog niet duidelijk is wat de precieze ingroei van de bouwwerkzaamheden zal zijn.

Tabel 33: Emissies als gevolg van vastgesteld en voorgenomen beleid voor 2025 en 2030 voor inzet schepen voor offshore werkzaamheden.

|                        | 2021 | 2025 | 2030 |
|------------------------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> – Mton | 0,13 | 0,28 | 0,25 |
| NO <sub>x</sub> – kton | 1,5  | 3,11 | 2,55 |
| PM – kton              | 0,03 | 0,06 | 0,06 |

### 6.6.3 Conclusies

De zoute waterbouw vloot is opgesplitst in 'vaargeulonderhoud en bouwwerkzaamheden zout' (incl. kustlijnzorg en zandwinning) en 'offshore' (met name windenergie). In onderstaande tabel is een inschatting gegeven van de jaarlijkse emissies voor 2021 en 2030. De CO<sub>2</sub>-uitstoot voor kustlijnzorg en vaargeulonderhoud blijven min of meer constant, omdat het inzetvolume van deze schepen constant is. De NO<sub>x</sub> zal naar verwachting met ca. 25% dalen vooral doordat het aandeel Tier III schepen in vloot toeneemt. Naar verwachting zal de fijnstof-emissie niet dalen omdat er geen nieuwe wetgeving is die lagere fijnstof emissies eisen. Voor offshore wordt een sterke toename van de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>- en PM-uitstoot verwacht door de toename van de aanleg van offshore windparken in de komende jaren.

Van de emissies van werkschepen worden alleen de voortstuwing en basale energiegebruikers aan boord meegenomen in de emissieregistratie. Over het algemeen zijn het motorvermogen en brandstofverbruik, en daarmee de emissies, van de hulpmotoren hoger dan dat van de voortstuwing. De werkzaamheden met hoog energiegebruik zullen moeten worden toegevoegd aan de Emissieregistratie. Hiervoor is het noodzakelijk deze groep schepen eerst apart te onderscheiden in de data, en de werkzaamheden toe te voegen aan de typen activiteiten op het water. Daarmee kan er een inschatting gemaakt worden van de extra emissies, die momenteel grotendeels buiten beschouwing worden gelaten.

Tabel 34: Inschatting van de ontwikkeling van de jaarlijkse emissies voor (zoute) vaargeulonderhoud en offshore tussen 2021 en 2030

|                        | Kustlijnzorg en<br>vaargeulonderhoud |      | Offshore |      |
|------------------------|--------------------------------------|------|----------|------|
|                        | 2021                                 | 2030 | 2021     | 2030 |
| CO <sub>2</sub> - Mton | 0,21                                 | 0,20 | 0,13     | 0,25 |
| NO <sub>x</sub> – kton | 2,8                                  | 2,1  | 1,5      | 2,55 |
| PM - ton               | 67                                   | 67   | 26       | 58   |

## 6.7 Referenties

- ARCADIS & Wageningen Marine Research. (2017). Zandwinning Noordzee 2018-2027.
- ARCADIS. (2021). Passende beoordeling Net op Zee Hollandse Kust (West Beta).
- Balcombe et al. (2022) Total Methane and CO<sub>2</sub> Emissions from Liquefied Natural Gas Carrier Ships: The First Primary Measurements. *Environ. Sci. Technol.* 56, 9632–9640.
- CBS. (2021). Hernieuwbare elektriciteit; productie en vermogen.
- Cuelenaere, R., & et al. (2021). Achtergrondnotitie over beprijzings- en normeringsmaatregelen voor reductie van de NO<sub>x</sub> emissies in de mobiliteit. TNO 2021 R10450.
- DNV. (2022). Alternative Fuel Insight. Opgehaald van [afi.dnv.com](https://afi.dnv.com)
- Energie, N. (2021). Vervolgonderzoek veiligheidsrisico's biobrandstoffen gebruik in binnenvaart. [www.nen.nl/energie](https://www.nen.nl/energie). 17 december 2021.
- Fridell, E., Verbeek, R., Matthias, V., & Mellqvist, J. (2023). Policy recommendations related to regulations, monitoring and enforcement. <http://www.scipper-project.eu/library/>: SCIPPER deliverable D5.5. EU Horizon 2020 project No. 814893.
- Grönholm, T., Mäkelä, T., Hatakka, J., Jalkanen, J.-P., Kuula, J., Laurila, T., . . . Kukkonen, J. (2021). Evaluation of Methane Emissions Originating from LNG Ships Based on the Measurements at a Remote Marine Station. *Environ. Sci. Technol.* 55, pp. 13677-13686.
- Havenbedrijf Rotterdam. (2022). Bunker Sales Port Of Rotterdam 2021 – 2022.
- IGU. (2022). 2022 World LNG Report.
- IMO. (2020). 4th IMO GHG Study 2020.
- IMO. (2021). Reduction of GHG emissions from ships. Comprehensive impact assessment of the short-term measure approved by MEPC 75. MEPC 76/7/13.
- Lindstad. (2021). Methodology to calculate the life cycle, well to wake (WTW) greenhouse gas (GHG) emissions of fuels used onboard ships. Sintef Ocean AS: Powerpoint.
- lloyd's List. (2022, 08 1). The week in newbuildings: LNG orderbook now 38% of current operational fleet. Opgehaald van <https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL1141761/The-Week-in-Newbuildings-LNG-orderbook-now-38-of-current-operational-fleet>
- Mensch, P. v., Merriënboer, S. v., Tol, D., Rondaij, A., Harmsen, J., & Fransen, R. (2022). Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw. TNO 2022 R11048.
- NAPA. (2021). How to navigate CII: what it is and how you can stay compliant. Opgehaald van <https://www.napa.fi/how-to-navigate-cii-what-it-is-and-how-you-can-stay-compliant/>
- NEN. (2021). Vervolgonderzoek veiligheidsrisico's biobrandstoffen gebruik in binnenvaart. [www.nen.nl/energie](https://www.nen.nl/energie).
- PBL. (2022). Klimaat- en Energieverkenning 2022. Den Haag.
- Pondera. (2018). Passende Beoordeling Hollandse Kust (Noord) - Kavel V.
- Pondera. (2019). Net op zee Hollandse Kust (noord) en Hollandse Kust (west Alpha).
- Pondera. (2020). Passende Beoordeling Hollandse Kust (West) - Kavel VI.
- SWECO. (2017). Winning ophoogzand Noordzee.

- TNO. (2019). Effectbepaling van een vrachtwagenheffing en verschillende terugsluismaatregelen op de wagenparksamenstelling en emissies van het vrachtverkeer in Nederland. TNO R11725v2.
- TNO. (2020). Programma aanbesteding Innovaties in de Kustlijnzorg.
- TNO. (2021). Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel- en vrachtvoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040. TNO R11987.
- TNO. (2022). Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw.
- TNO. (2022). Verkenning duurzaamheidsopties zoete waterbouwwloot.
- TNO. (2022a). Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe. TNO R11862.
- TNO. (2022b). The potential of e-fuels for heavy duty road transport in the Netherlands. TNO.
- TradeWind. (2022, 7 22). LNG ordering hits 'record levels' as other sectors slump in 2022. Opgehaald van <https://www.tradewindsnews.com/shipyards/lng-ordering-hits-record-levels-as-other-sectors-slump-in-2022/2-1-1265535>