

**Mobility & Built Environment**

Anna van Buerenplein 1  
2595 DA Den Haag  
Postbus 96800  
2509 JE Den Haag

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

T +31 88 866 00 00

**TNO-rapport****TNO 2023 R11035v2****Transitiepaden Schoon en Emissieloos  
Bouwen (SEB)**

|                 |                                                                                                        |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Datum           | 19 oktober 2023                                                                                        |
| Auteur(s)       | Ruben Fransen, Annette Rondaij, Pim van Mensch, Siem van Merriënboer, Jorrit Harmsen, Janneke de Vries |
| Exemplaarnummer | 2023-STL-REP-100349593v2                                                                               |
| Aantal pagina's | 54 (incl. bijlagen)                                                                                    |
| Opdrachtgever   | Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat                                                            |
| Projectnaam     | SEB verlenging 2022                                                                                    |
| Projectnummer   | 060.53824                                                                                              |

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.

© 2023 TNO

# Inhoudsopgave

|          |                                                                              |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                                       | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Mobiele werktuigen .....</b>                                              | <b>5</b>  |
| 2.1      | Uitgangssituatie .....                                                       | 5         |
| 2.2      | Aangeleverde eisen Routekaart SEB minimum-,basis- en ambitieuze niveau ..... | 10        |
| 2.3      | Methode van doorrekening .....                                               | 13        |
| 2.4      | Resultaat van doorrekening .....                                             | 14        |
| 2.5      | Haalbaarheid .....                                                           | 21        |
| <b>3</b> | <b>Specialistisch spoormaterieel .....</b>                                   | <b>26</b> |
| 3.1      | Uitgangssituatie .....                                                       | 26        |
| 3.2      | Aangeleverde eisen ambitieuze niveau .....                                   | 27        |
| 3.3      | Methode van doorrekening .....                                               | 27        |
| 3.4      | Resultaat van de doorrekening .....                                          | 28        |
| 3.5      | Haalbaarheid .....                                                           | 29        |
| <b>4</b> | <b>Bouwtransport .....</b>                                                   | <b>32</b> |
| 4.1      | Uitgangssituatie .....                                                       | 32        |
| 4.2      | Aangeleverde eisen basisniveau .....                                         | 33        |
| 4.3      | Methode van doorrekening .....                                               | 33        |
| 4.4      | Resultaat van doorrekening .....                                             | 34        |
| 4.5      | Haalbaarheid basisniveau bouwtransport .....                                 | 35        |
| <b>5</b> | <b>Transitiep pad kustlijnzorg &amp; vaargeulonderhoud .....</b>             | <b>37</b> |
| 5.1      | Uitgangssituatie .....                                                       | 37        |
| 5.2      | Aangeleverde eisen basisniveau .....                                         | 39        |
| 5.3      | Methode van doorrekening .....                                               | 41        |
| 5.4      | Resultaat van doorrekening .....                                             | 41        |
| 5.5      | Haalbaarheid transitiep ad Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud .....           | 42        |
| <b>6</b> | <b>Transitiep ad Energie .....</b>                                           | <b>44</b> |
| 6.1      | Uitgangssituatie .....                                                       | 44        |
| 6.2      | Aangeleverde eisen transitiep ad .....                                       | 47        |
| 6.3      | Methode van doorrekening .....                                               | 47        |
| 6.4      | Resultaat van doorrekening .....                                             | 47        |
| 6.5      | Haalbaarheid transitiep ad Energie .....                                     | 49        |
| <b>7</b> | <b>Samenvattend overzicht op emissies .....</b>                              | <b>50</b> |
| 7.1      | Effect op NO <sub>x</sub> -emissies .....                                    | 50        |
| 7.2      | Effect op CO <sub>2</sub> -emissies .....                                    | 51        |
| 7.3      | Effect op PM-emissies .....                                                  | 52        |
| <b>8</b> | <b>Bibliografie .....</b>                                                    | <b>53</b> |
| <b>9</b> | <b>Ondertekening .....</b>                                                   | <b>54</b> |

# 1 Inleiding

Deze notitie beschrijft de methodiek en de uitkomsten van de doorrekening van de emissie-eisen volgens de routekaart uit het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). Binnen SEB zijn emissie-eisen opgesteld om het traject naar een schone en emissieloze bouwsector in 2030 vorm te geven. De emissie-eisen zijn opgesteld voor diverse materieeltypen in de bouwuitvoeringsfase, namelijk mobiele werktuigen, specialistisch spoorbouwmaterieel, wegvoertuigen voor bouwtransport en schepen in de waterbouw. Per tijdperiode zijn eisen voorgeschreven om de inzet van bouwmaterieel te verduurzamen. Daaraan zijn doelstellingen op het gebied van CO<sub>2</sub> en luchtverontreinigende stoffen (stikstofoxides en fijnstof) gekoppeld. De routekaart SEB is op het moment van schrijven nog niet definitief vastgesteld. Deze rapportage is gebaseerd op een conceptversie uit oktober 2022.

Op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft TNO een doorrekening gemaakt van het reductiepotentieel van de geschetste paden op de emissies van NO<sub>x</sub>, fijnstof en CO<sub>2</sub>. Deze notitie licht voor elk materieeltype toe hoe de doorrekening tot stand is gekomen en welke aannames en uitgangspunten hieraan ten grondslag liggen. De doorrekening is aan het begin van 2022 gemaakt op basis van toen beschikbare gegevens en de beschrijving van deze doorrekening is in het najaar van 2022 opgesteld. In oktober 2023 is dit rapport uitgebreid met het ambitieuze pad mobiele werktuigen en het transitiepad Energie (hoofdstuk 6).

Per materieeltype worden de volgende aspecten toegelicht:

- a. Uitgangssituatie
- b. Aangeleverde emissie-eisen
- c. Methode van doorrekening
- d. Effectberekening reductiepotentieel
- e. Technische haalbaarheid

Er worden drie verschillende niveaus onderscheiden op het gebied van emissie-eisen voor de materieeltypen: het minimumniveau, het basisniveau ('peloton') en het ambitieuze niveau. Het minimumniveau is alleen opgesteld voor mobiele werktuigen (met uitzondering van spoorbouwmaterieel) en is bedoeld voor de hele bouwsector. In het basisniveau volgen alle publieke opdrachtgevers de emissie-eisen. In het ambitieuze niveau volgt een gedeelte van de publieke opdrachtgevers de emissie-eisen volgens de routekaart, namelijk de koplopers. Het is vooralsnog onduidelijk welk deel van de werken onder een 'koplopers'-scenario zou vallen. De impact van de ambitieuze niveaus is doorgerekend voor spoormaterieel (daarvoor is aangenomen dat alle projecten 'koploper'-projecten zijn) en mobiele werktuigen.

Een belangrijke kanttekening bij de doorrekening van de eisen in de routekaart SEB is dat in de toekomstscenario's het uitgangspunt geldt dat het bouwvolume en daarvoor benodigde inzet van materieel constant is over de jaren. Er wordt geen rekening gehouden met de dynamiek in de bouwopgave in de komende jaren, waar deze dynamiek wel relevant is voor de totale inzet en uitstoot van emissies in deze sector. Een toename van het bouwvolume om aan de bouwopgaven te voldoen kan het beoogde reductie-effect beperken.

De emissie-eisen gaan uit van een snellere verduurzaming dan de autonome ontwikkeling. Een versnelling en een verstrenging bovenop de autonome ontwikkeling vraagt de juiste randvoorwaarden in nationaal beleid. Het bereiken van het potentieel hangt af van dit beleid.

## 2 Mobiele werktuigen

### 2.1 Uitgangssituatie

Voor het in kaart brengen van de uitgangssituatie is gebruik gemaakt van het EMMA-model (het Emissiemodel Mobiele Machines). Dit model wordt voor de Emissieregistratie gebruikt om de landelijke emissies van mobiele werktuigen te bepalen. EMMA bevat een inschatting (vanwege beperkte registratie) van het aantal machines, machinetypen, eigenschappen (motortypen, vermogen, bouwjaar/emissienorm), de inzet (draaiuren, brandstofverbruik, motorbelasting, etc.) en emissiefactoren (Hulskotte & Verbeek, 2009). Op basis van de verwachte draaiuren en de emissiefactoren van de machines (op basis van normen en uitgevoerde metingen) zijn de bijbehorende emissies berekend.

#### 2.1.1 *Schaling door nieuwe inzichten*

Door nieuwe emissiemetingen, RDW-registraties en uitgevoerde inventarisatie van de vlootsamenstelling en inzet (Dellaert, van Mensch, Bhoraskar, & van der Mark, 2021) was er in de versie van EMMA van eind 2021 een toename waarneembaar in totale emissies (en brandstofverbruik) voor zichtjaar 2020 ten opzichte van voorgaande jaren. Vanuit de Taakgroep Verkeer en Vervoer (onderdeel van Emissieregistratie) is besloten om het brandstofverbruik, en daarmee de emissies, (voorlopig) terug te schalen op basis van de oude rekenmethodiek<sup>1</sup>. In toekomstige berekeningen is schalen waarschijnlijk niet meer nodig door een betere onderbouwing van de afwijking ten opzichte van het gebruik van de oude rekenmethode. In de doorrekening naar 2030 is gerekend met ongeschaalde cijfers.

De kennis van de samenstelling en de omvang van het machinepark, de daadwerkelijke emissies van de machines, en de haalbare verbeteringen blijven echter beperkt. Verbetering in de inzichten van inzet en bijbehorende emissies van mobiele werktuigen geeft ruimte voor effectiever beleid en is daarom van essentieel belang voor NO<sub>x</sub>-reductie in de bouwsector.<sup>2</sup>

De beperkte inzichten komen onder andere door de onderstaande aspecten:

- Er is geen publiek beschikbare registratie van het beschikbare materieel in het park (vanaf 2021 is er wel een registratieplicht voor (land)bouwvoertuigen die met beperkte snelheid op de openbare weg rijden).

Hierdoor is de samenstelling (type machine en leeftijd) en de omvang van het totale machinepark niet nauwkeurig beschikbaar;

- Recente informatie zoals de registratieplicht van mobiele werktuigen op de weg en lopende TNO-onderzoeksprojecten zorgen voor beter inzicht in het huidige machinepark. Betrouwbare registratiegegevens, onder andere de wettelijke emissie-eisen aan de verbrandingsmotor, blijven echter ontbreken.

---

<sup>1</sup> Zie voor verdere toelichting het rapport *Inventarisatie en categorisatie huidige en toekomstige aanbod duurzame mobiele werktuigen, bouwlogistieke voertuigen, spoorwerktuigen en vaartuigen die worden ingezet voor de waterbouw (TNO, 2021)*.

<sup>2</sup> Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland, TNO rapport 2021 R11086.

Er zijn hoogstwaarschijnlijk nog steeds blinde vlekken waardoor diverse bronnen buiten beeld blijven. De beste manier om de nationale cijfers te verbeteren is door middel van een vorm van registratie.

- Er is slechts beperkte informatie over de praktijkinzet van de verschillende machines, bijvoorbeeld de totale draaiuren, brandstofverbruik en details van inzet, zoals het aandeel stationair draaien en de gemiddelde motorbelasting. Lopende onderzoeken van TNO zorgen ook hier voor verbeterde inzichten.
- Praktijk-emissies worden nauwelijks tot niet gecontroleerd. Vaak zijn emissies in praktijk hoger dan de geldende emissielimieten door andere inzet dan wordt meegenomen in wettelijke testprocedure.
- Er is geen periodieke keuring waarbij emissies en/of de aanwezigheid van emissiecontrolesystemen gecontroleerd worden, noch eisen dat deze systemen in normaal gebruik blijven functioneren.

Door onder andere deze kanttekeningen bij huidige bronnen, is het lastig om nauwkeurig in te schatten wat het emissie-aandeel van mobiele werktuigen is. Om deze beter in te schatten en daarmee de effectiviteit van maatregelen rond emissiereductie beter te kunnen onderbouwen, zijn verbeterde inzichten nodig in de daadwerkelijke emissies en de haalbare reducties in emissies. Om deze inzichten te kunnen verkrijgen, zijn registratie van voertuigen en machines, monitoren van inzet, en boekhouden van draaiuren, dieselverbruik en AdBlue-verbruik de eerste vereisten voor het bepalen van effectiviteit van maatregelen.

Tabel 1 laat de totale emissies van mobiele werktuigen zien voor 2018 en 2020 op basis van EMMA.

Tabel 1: Emissies van mobiele werktuigen in 2018 en 2020. Het getal tussen haakjes laat zien hoeveel emissies erbij opgeteld dienen te worden als wordt uitgegaan van niet-geschaalde emissies.

| Mobiele werktuigen**         | 2018        | 2020        |
|------------------------------|-------------|-------------|
| <b>NO<sub>x</sub> (kton)</b> | 11,0 (+2,0) | 10,1 (+1,8) |
| <b>PM<sub>10</sub> (ton)</b> | 497 (+112)  | 414 (+92)   |
| <b>CO<sub>2</sub> (Mton)</b> | 1,5 (+0,33) | 1,5 (+0,33) |

\* Inclusief spoor-specialistisch materieel.

Tabel 2 laat een inschatting zien van hoe de emissies in 2020 zijn verdeeld over de verschillende bouwsectoren. Deze inschatting is gebaseerd op een analyse van de SBI's (Standaard Bedrijfsindeling) van bouwbedrijven die in bezit zijn van machines.

Machines die met kenteken geregistreerd staan bij de RDW zijn gekoppeld aan data van de Kamer van Koophandel, waar de SBI's van de machine-eigenaren bekend zijn. De SBI's geven informatie over de economische activiteiten van een onderneming. Op basis daarvan is afgeleid in welke subsector in de bouw de machines worden ingezet. Door het gebrek aan registratie van bouwmachines dient deze analyse slechts als indicatie op basis van specifieke machines.

Tabel 2: Emissies van mobiele werktuigen in 2020.

|                              | Emissies mobiele werktuigen in 2020 |                        |                        |                       |
|------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
|                              | CO <sub>2</sub> (Mton)              | NO <sub>x</sub> (kton) | PM <sub>10</sub> (ton) | NH <sub>3</sub> (ton) |
| <b>Energie infra</b>         | 0,06<br>(4%)                        | 0,37<br>(4%)           | 16<br>(4%)             | 2<br>(4%)             |
| <b>Weg, dijk en spoor**</b>  | 0,74<br>(48%)                       | 4,73<br>(47%)          | 201<br>(48%)           | 26<br>(49%)           |
| <b>Woningen en utiliteit</b> | 0,73<br>(48%)                       | 5,00<br>(49%)          | 197<br>(48%)           | 25<br>(47%)           |
| <b>Totaal</b>                | <b>1,5**0,33</b>                    | <b>10,1**1,8</b>       | <b>414**92</b>         | <b>54**12</b>         |

\* Emissies die erbij opgeteld dienen te worden als wordt uitgegaan van niet-geschaalde emissies bij mobiele werktuigen.

\*\* Inclusief spoor-specialistisch materieel.

Tabel 2 laat zien dat de emissies van NH<sub>3</sub> relatief beperkt zijn ten opzichte van de NO<sub>x</sub>-emissies (< 1%). Om die reden wordt er in de analyses in dit rapport niet verder in kaart gebracht wat de potentiële impact van de emissie-eisen is op NH<sub>3</sub>-emissies. Wel wordt een lichte stijging verwacht door een toename van Stage IV en V-dieselmotoren met SCR-katalysatoren (waarbij vanwege het gebruik van AdBlue NH<sub>3</sub> kan vrijkomen).

### 2.1.2 Vlootsamenstelling

In deze paragraaf wordt ingegaan op de vlootsamenstelling van mobiele werktuigen in termen van aantallen machines en draaiuren per vermogenscategorie en emissieklasse. De emissieklassen worden uitgedrukt in Stage-normen (Europese emissienormen waarin eisen aan de uitstoot van stikstofoxides en fijnstof worden gesteld). Onderstaande tabel laat per vermogenscategorie zien wat per ingangsjaar de geldende Stage-norm is.

De Europese wetgeving specificeert twee implementatiedatums:

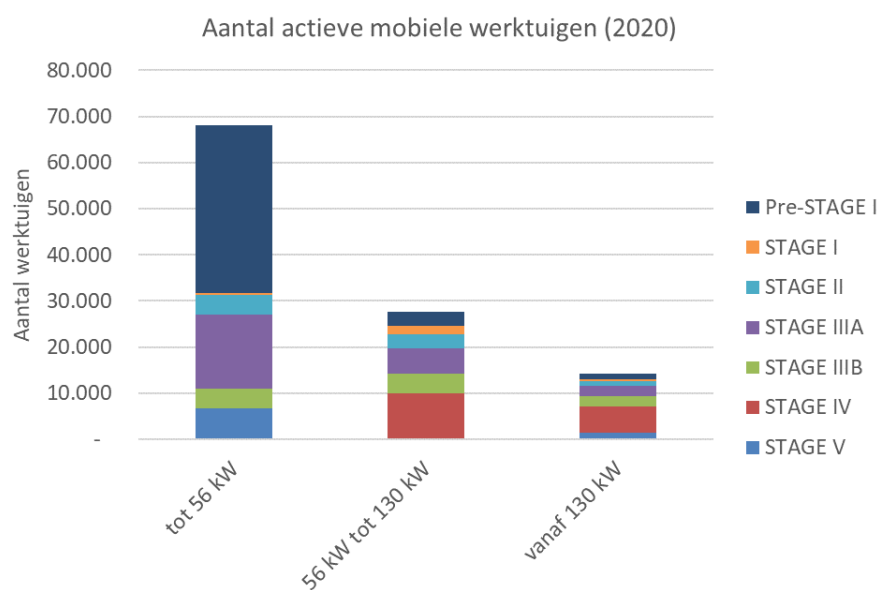
- 'Typegoedkeur': verplichte toepassingsdatum van de fasenorm voor nieuwe EU-typegoedkeuring van motoren;
- 'In de handel': verplichte toepassingsdatum van de fasenorm voor het in de handel brengen van motoren.

Tabel 3: Ingangsdata van Stage-normen per vermogenscategorie volgens de Europese wetgeving<sup>3</sup>. De 'T' staat voor de datum van 'typegoedkeur', en de 'H' staat voor de datum van 'in de handel'. Daarnaast zijn er in sommige gevallen ook nog overgangsbepalingen van kracht, waardoor de introductie later kan zijn dan 'in de handel'.

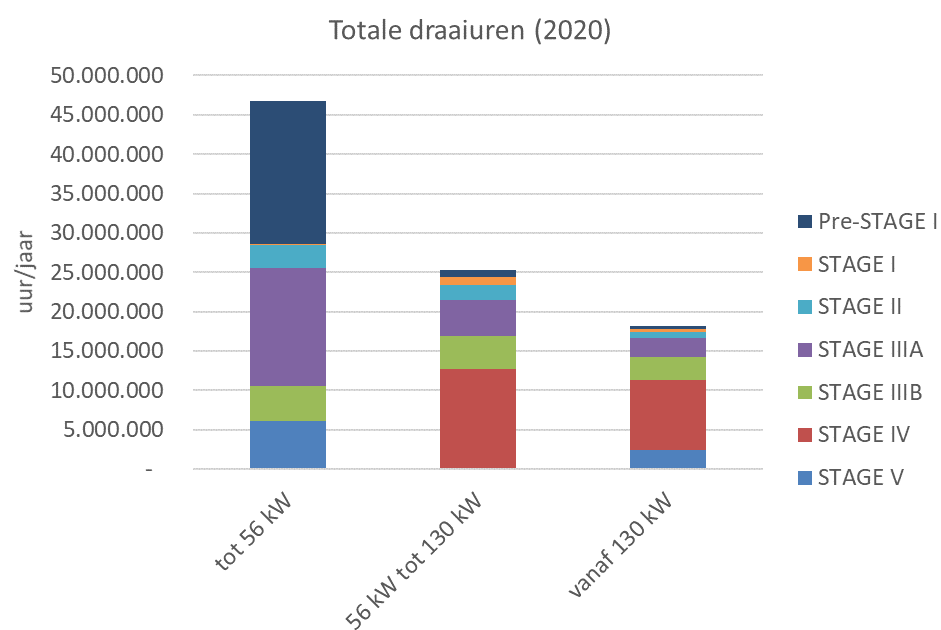
|                      | Stage I                | Stage II               | Stage IIIa             | Stage IIIb             | Stage IV                    | Stage V                |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| <b>&lt;19kW</b>      | -                      | -                      | -                      | -                      | -                           | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| <b>18/19 - 37 kW</b> | -                      | T: 1-2000<br>H: 1-2001 | T: 1-2006<br>H: 1-2007 | -                      | -                           | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| <b>37 - 56 kW</b>    | T: 7-1998<br>H: 4-1999 | T: 1-2003<br>H: 1-2004 | T: 1-2007<br>H: 1-2008 | T: 1-2012<br>H: 1-2013 | -<br>T: 1-2014<br>H: 1-2015 | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| <b>56 - 75 kW</b>    |                        |                        |                        | T: 1-2011<br>H: 1-2012 |                             | T: 1-2019<br>H: 1-2020 |
| <b>75 - 130 kW</b>   | T: 7-1998<br>H: 1-1999 | T: 1-2002<br>H: 1-2003 | T: 1-2006<br>H: 1-2007 | T: 1-2011<br>H: 1-2012 | T: 1-2013<br>H: 1-2014      | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |
| <b>130 – 560 kW</b>  | T: 7-1998<br>H: 1-1999 | T: 1-2001<br>H: 1-2002 | T: 7-2005<br>H: 1-2006 | T: 1-2010<br>H: 1-2011 |                             |                        |
| <b>&gt;560 kW</b>    | -                      | -                      | -                      | -                      | -                           | T: 1-2018<br>H: 1-2019 |

In 2020 waren er volgens EMMA ca. 110.000 diesel- en 40.000 benzine-werktuigen actief. Het grootste aandeel van het aantal machines en de inzet zit in de vermogenscategorie tot 56 kW, zoals Figuur 1 en Figuur 2 laten zien. EMMA bevat alleen actieve machines; wel geldt over het algemeen dat hoe ouder de machine is, hoe lager de inzet ervan is (ook te zien aan de verdeling in aantal draaiuren in Figuur 2. Doordat er geen registratie is, zijn er echter beperkte inzetgegevens beschikbaar waarop EMMA zich kan baseren.

<sup>3</sup> De emissienormen voor 'niet voor de weg bestemde mobiele machines' (Non-Road Mobile Machinery) zijn volgens Europese wetgeving opgedeeld in fasenormen of Stages; Stage I, II, III A, III B, IV and V. Globaal valt de wetgeving voor Stage I t/m Stage IV onder de Richtlijn 97/68/EG (en alle opvolgende aanvullende documenten) die op 16 december 1997 is geïntroduceerd en van kracht was tot 31 december 2016. Stage V-wetgeving is beschreven in Verordening (EU) 2016/1628 (en alle opvolgende aanvullende documenten) en is momenteel van kracht.



Figuur 1: Aantal actieve mobiele werktuigen in 2020 per vermogenscategorie en emissieklasse(exclusief benzinemachines).



Figuur 2: Totaal aantal draaiuren in 2020 per vermogenscategorie en emissieklasse (exclusief benzinemachines)

## 2.2 Aangeleverde eisen Routekaart SEB minimum-,basis- en ambitieuze niveau

In de Routekaart SEB zijn er voor mobiele werktuigen drie niveaus opgesteld: het minimumniveau (bedoeld voor de hele bouwsector), het basisniveau (voor alle publieke opdrachtgevers) en het ambitieuze niveau (voor publieke opdrachtgevers met koploperprojecten). Dit hoofdstuk gaat in op wat het potentiële effect is van elk van de niveaus op emissiereductie.

Allereerst wordt ingegaan op het juridisch kader rondom de eisen in de verschillende niveaus van de routekaart. In 2.3 en 2.4 wordt vervolgens de rekenmethode beschreven om de potentiële impact op emissies te schatten en worden de resultaten van de berekening gepresenteerd.

### 2.2.1 Juridisch kader

De eisen gelden voor nieuwe aanbestedingen en 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 januari 2024) gekoppeld aan het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) waarin een overkoepelende “emissiereductieplicht” voor de algehele bouwactiviteiten is opgenomen (“met als doel om het aandeel van de bouw in de gehele stikstofuitstoot te reduceren”).

Een concrete emissiereductieplicht en de referentiewaarde is momenteel nog niet gespecificeerd in de wettekst, wel is een ambitie opgenomen van 60% NO<sub>x</sub>-reductie in 2030<sup>4</sup>. Ook is het beoordelingskader momenteel niet opgenomen in de wettekst. De Bbl gaat over vergunning plichtige en melding plichtige 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 SEB is bedoeld ter invulling van een ‘adequate maatregel’. Het is nog niet bekend hoe de routekaart exact in wettekst opgenomen wordt.

In een convenant 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 ambitieuze niveau zijn direct gekoppeld aan het convenant. Het basisniveau en het ambitieuze niveau 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 vergunningplichtige activiteiten, en eisen in nieuwe openbare aanbestedingen. Om de effectiviteit van de opgestelde emissie-eisen te vergroten wordt aanbevolen om het juridische 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.

---

<sup>4</sup> <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2021-287.html>

De wettekst rondom emissiereductie in de bouwsector met het bijbehorende structurele pakket aan maatregelen en het convenant met de sector is opgenomen in de context van de partiële vrijstelling van de Natura 2000-vergunningplicht voor bouwen, slopen en aanleggen (bouwvrijstelling). De Raad van State heeft beoordeeld dat de bouwvrijstelling, artikel 7.19a, niet toegepast mag worden<sup>5</sup>. De Habitatrictlijn 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.

### 2.2.2 Eisen in de Routekaart SEB

Voor mobiele werktuigen (met uitzondering van spoorbouwmaterieel) is er in de routekaart SEB een minimumniveau opgesteld dat voor de hele bouwsector bedoeld is. Deze staat weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Minimumniveau voor mobiele werktuigen.

|                                                                                               | Periode 1<br>1 jan. 2023          | Periode 2<br>1 jan. 2025          | Periode 3<br>1 jan. 2028          | Periode 4<br>1 jan. 2030                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Licht ('minimaterieel')<br/>(&lt;19 kW)</b>                                                | geen eis                          | geen eis                          | 100% ZE**                         | 100% ZE**                                          |
| <b>Zeer licht (19-37 kW)</b>                                                                  | Stage IIIa<br>(IIIb bestaat niet) | Stage IIIa<br>(IIIb bestaat niet) | Stage IIIa<br>(IIIb bestaat niet) | 100% ZE**                                          |
| <b>Licht (37-56 kW)</b>                                                                       | Stage IIIa                        | Stage IIIb                        | Stage IIIb                        | 100% ZE**                                          |
| <b>Middelzwaar materieel (56-130 kW)</b>                                                      | Stage IIIa                        | Stage IV met roetfilter*          | Stage IV met roetfilter*          | Stage IV met roetfilter* (2030)<br>100% ZE (2035)  |
| <b>Zwaar materieel (130-560kW)</b>                                                            | Stage IIIa                        | Stage IV met roetfilter*          | Stage IV met roetfilter*          | Stage IV met roetfilter* (2030)<br>100% ZE (2035)  |
| <b>Specialistisch materieel (levensduur &gt;15 jaar)<br/>Zeer zwaar materieel (&gt;560kW)</b> | geen eis                          | geen eis                          | Katalysator en roetfilter*        | Katalysator en roetfilter*<br>100% ZE in 2035-2040 |
| <b>Stationair (generatoren, battery packs)</b>                                                | Stage IIIa<br>(tot 560 kW)        | Stage IV met roetfilter*          | 100% ZE**                         | 100% ZE**                                          |

\* Met 'katalysator' wordt bedoeld een effectieve SCR-katalysator. Met 'roetfilter' wordt bedoeld een werkend, gesloten roetfilter die aan een deeltjeseis voldoet.

\*\* Conceptvoorstel: overgangsregeling tot 1 januari 2033 (tot die tijd is Stage V toegestaan) → op basis van deze uitgangspunten zijn de berekeningen in deze studie gedaan.

<sup>5</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/11/02/raad-van-state-bouwvrijstelling-mag-niet-gebruikt-worden>

Naast het minimumniveau is er ook een basisniveau (Tabel 5) dat geldt voor alle publieke opdrachtgevers ("het peloton").

Tabel 5: Basisniveau met eisen aan mobiele werktuigen voor alle publieke opdrachtgevers.

|                                                                                                       | Periode 1<br>1 jan. 2023          | Periode 2<br>1 jan. 2025          | Periode 3<br>1 jan. 2028     | Periode 4<br>1 jan. 2030                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Licht ('minimaterieel')<br/>(&lt;19 kW)</b>                                                        | geen eis                          | geen eis                          | 100% ZE                      | 100% ZE                                                 |
| <b>Zeer licht (19-37 kW)</b>                                                                          | Stage IIIa<br>(IIIb bestaat niet) | Stage IIIa<br>(IIIb bestaat niet) | 100% ZE                      | 100% ZE                                                 |
| <b>Licht (37-56 kW)</b>                                                                               | Stage IIIb                        | Stage IIIb                        | 100% ZE                      | 100% ZE                                                 |
| <b>Middelzwaar materieel<br/>(56-130 kW)</b>                                                          | Stage IIIb                        | Stage IV met<br>roetfilter*       | Stage IV met<br>roetfilter*  | Stage IV met<br>roetfilter* (2030)<br>100% ZE (2035)    |
| <b>Zwaar materieel<br/>(130-560kW)</b>                                                                | Stage IIIb                        | Stage IV met<br>roetfilter*       | Stage IV met<br>roetfilter*  | Stage IV met<br>roetfilter* (2030)<br>100% ZE (2035)    |
| <b>Specialistisch materieel<br/>(levensduur &gt;15 jaar)<br/>Zeer zwaar materieel<br/>(&gt;560kW)</b> | geen eis                          | geen eis                          | Katalysatoren<br>roetfilter* | Katalysatoren<br>roetfilter*<br>100% ZE in<br>2035-2040 |
| <b>Stationair (generatoren,<br/>battery packs)</b>                                                    | Stage IIIb<br>(tot 560 kW)        | Stage IV met<br>roetfilter*       | 100% ZE                      | 100% ZE                                                 |

\* Met 'katalysator' wordt bedoeld een effectieve SCR-katalysator. Met 'roetfilter' wordt bedoeld een werkend, gesloten roetfilter die aan een deeltjeseis voldoet.

Het ambitieuze niveau, weergegeven in Tabel 6, geldt voor publieke opdrachtgevers met koploperprojecten in hun projectportfolio. Voor deze projecten geldt dat er een bepaald percentage van het werk met emissieloos materieel dient te worden uitgevoerd. Voor het materieel dat niet nul-emissie is, gelden de eisen uit het basisniveau.

Tabel 6: Ambitieuze niveau Routekaart SEB, conceptversie feb. '23.

|                                                                                   | Periode 1<br>1 jan. 2023 | Periode 2<br>1 jan. 2025 | Periode 3<br>1 jan. 2028 | Periode 4<br>1 jan. 2030 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Aandeel koploperprojecten</b>                                                  | 5 – 25%                  | 25 – 50%                 | 50 – 80%                 | 75 – 95%                 |
| Minimumeisen ingroei emissieloos materieel                                        |                          |                          |                          |                          |
| <b>Percentage ZE verricht<br/>arbeid in een project,<br/>draaiuren x vermogen</b> | 10 – 30%                 | 30 – 70%                 | 70 – 90%                 | 90 – 100%                |

## 2.3 Methode van doorrekening

De toekomstige samenstelling van de vloot en bijbehorende emissies zijn gebaseerd op de autonome verjonging van het park volgens het EMMA-model. TNO produceert geen officiële ramingen voor 2030, die taak ligt bij het PBL.

Eventuele economische effecten of voorgenomen/vastgesteld beleid zijn niet meegenomen. Er is bijvoorbeeld geen effect toegekend aan eventuele groei van de bouw door bijvoorbeeld extra woningbouw. De autonome ontwikkeling van de vloot omvat alleen ingroei van Stage V-materieel; ingroei van ZE-materieel is dus geen onderdeel van de autonome ontwikkeling.

Vanwege COVID-19 is de verplichte invoering van Stage V-machines vertraagd; dit kan de autonome vlootvervanging vertragen. Eventuele vertraagde autonome verjonging naar Stage V-machines vanwege COVID-19 is nog geen onderdeel van de projecties in deze studie.

### 2.3.1 *Minimumniveau*

In elk van de periodes waarin volgens het transitiepad nieuwe eisen gelden (2023, 2025, 2028 en 2030) is de samenstelling van de vloot bepaald. Wanneer een dieselmachine van een bepaalde emissieklasse bij ingang van een nieuwe periode wordt geweerd, wordt deze in de berekening vervangen door een vergelijkbare Stage V- of ZE-machine. Er wordt aangenomen dat er nauwelijks ruimte is voor verschuiving van machines aangezien de eisen voor de hele sector gelden. Dit houdt in dat er geen vervanging naar Stage IIIb of Stage IV plaatsvindt in het geval dat (bijvoorbeeld) Stage IIIa als eis geldt. Verder wordt aangenomen dat bij vervanging het totale aantal draaiuren constant blijft.

Voor de vermogenscategorieën (< 56 kW en stationair materieel) waar dieselmachines in 2028 of 2030 worden geweerd, is als uitgangspunt genomen dat de ingroei van ZE in 2025 begint en er vanaf dat moment dus geen ingroei van Stage V meer is (in de praktijk zal dit meer geleidelijk moeten ingroeien). Hiermee wordt voorkomen dat in 2028 of 2030 alles in één klap uitstootvrij moet worden. In de berekeningen is bovendien uitgegaan van een overgangsregeling voor Stage V tot 1 januari 2033, zoals opgenomen in een conceptvoorstel. Er is aangenomen dat – gegeven de 100% ZE-eis in het basisniveau in 2030, en voor het minimumniveau in 2033 – ca. 70% van de machines <56 kW in 2030 uitstootvrij dient te zijn (zie opmerkingen over haalbaarheid daarvan in de paragraaf 'haalbaarheid').

Voor de retrofit SCR-katalysator (voor specialistisch materieel<sup>6</sup>) is aangenomen dat deze net zo effectief is als een SCR-katalysator die fabriek-af op een Stage V-machine is geïnstalleerd. In de praktijk is dit echter niet triviaal, de effectiviteit kan verschillen per aanbieder, en het systeem kan vaak makkelijker uitgeschakeld worden dan fabriek-af systemen. Er is daarom wel een groter risico op verhoogde emissies. Daarom is goede praktijkmonitoring op NO<sub>x</sub>- en NH<sub>3</sub>-emissies noodzakelijk, zie (van Mensch et al, 2023) voor mogelijkheden rondom emissie-monitoring.

---

<sup>6</sup> Vanuit het SEB-programma wordt gewerkt aan een indicatieve lijst van machines die voldoen aan de criteria van specialistisch materieel. De berekeningen in deze notitie gaan uit van materieel met een motorvermogen >560 kW. In potentie gaat het echter om een groter aandeel machines, gezien de huidige definitie in de Routekaart SEB.

De verwachting is dat uitstootvrij materieel goedkoper wordt in de toekomst. Men zal mogelijk lang wachten met de aanschaf van ZE en hierdoor verouderde dieselmachines langer inzetten, wat de impact op emissies kleiner maakt in de jaren tot aan de verplichting van ZE. Dit is geen onderdeel van de berekening.

Gedragmaatregelen, zoals Het Nieuwe Draaien (bijvoorbeeld het voorkomen van onnodig stationair draaien), zijn nu niet meegenomen in de emissie-eisen, en daarmee ook niet in de doorrekening.

### 2.3.2 *Basisniveau*

Het aandeel publieke opdrachtgevers wordt niet geregistreerd en laat zich daarom lastig kwantificeren. Voor de berekening is het daarom noodzakelijk hierover een aanname te maken. Op basis van geregistreeerde SBI-codes (Standaard BedrijfsIndeling) van gekentekend materieel zijn inzichten verkregen van de machines per sector. Op basis van de sectoren zijn de machines gekoppeld aan de transitiepaden. Per transitiepad is een ruwe inschatting gemaakt van het aandeel publieke en private opdrachtgevers.

De onderstaande aannames zijn in dit onderzoek gehanteerd rondom percentages publieke werken per transitiepad:

- |                                 |      |
|---------------------------------|------|
| - Woningbouw en Utiliteitsbouw: | 5%   |
| - Energie:                      | 100% |
| - Weg, Dijk en Spoor:           | 100% |

Deze verdeling leidt uiteindelijk tot een aandeel van ca. 50% van de machines die wordt ingezet in publieke werken.

## 2.4 **Resultaat van doorrekening**

In deze sectie is het reductiepotentieel van de emissie-eisen beschreven. Dit gaat om de zichtjaren 2023, 2025, 2028 en 2030. De impact is berekend van het minimum- en basisniveau op emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en PM.

De emissie-eisen die worden gesteld in de routekaart SEB stelt zeer hoge eisen op een drietal gebieden (zie verder toelichting in paragraaf haalbaarheid):

1. De ingroei van emissieloze machines en de versnelde ingroei van schone dieselmachines. Het is nog onzeker of machineleveranciers voldoende capaciteit hebben om hierin te voorzien.
2. De ontwikkeling van de tank- en laadinfrastructuur voor emissieloze machines.
3. Toezicht en handhaving op de inzet van emissieloze en schone dieselmachines.

Bij het reductiepotentieel is ervanuit gegaan dat de routekaart de volledige bouwsector treft in de betreffende periodes (zowel overheids- als niet-overheidsopdrachten). In praktijk zullen er aanlooptijden zijn voor vergunningen en aanbestedingen, en zullen er projecten zijn die langer duren dan de perioden zoals vastgesteld in de routekaart.

Om emissies te reduceren gaat het zowel om het type bouw materieel (zoals in de routekaart) als de daadwerkelijke inzet van het bouw materieel.

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 (momenteel beperkt). Hoe strenger de eisen, hoe beter de handhaving moet zijn, en daarmee een goede registratie (wat er momenteel niet is). Het is nog niet duidelijk hoe, binnen welk wettelijk kader, en door wie dat wordt opgepakt.

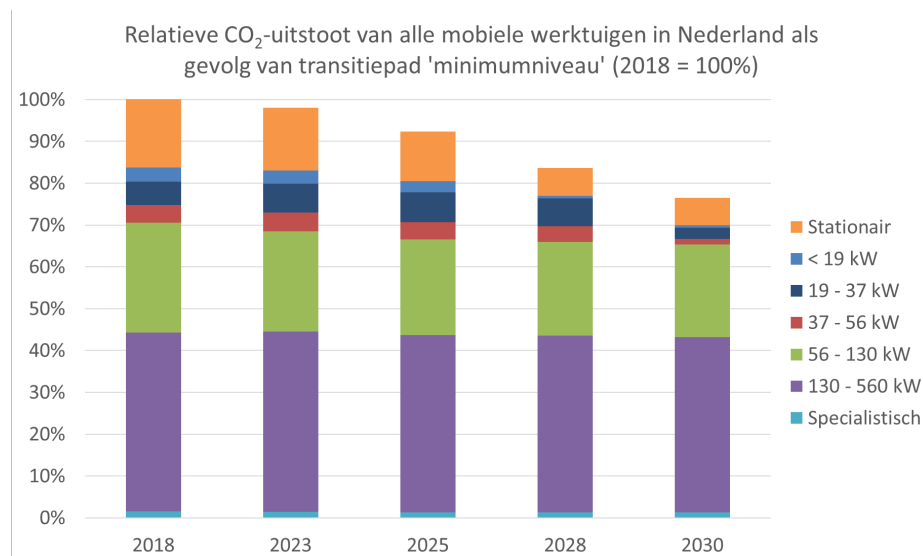
#### 2.4.1 *Impact op CO<sub>2</sub>-uitstoot - minimumniveau*

Het minimumniveau draagt bij aan een potentiële CO<sub>2</sub>-reductie van ca. 23% in 2030 ten opzichte van 2018 (zie Tabel 7 en Figuur 3), dit is inclusief de autonome verjonging. 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.

Een groot deel van de reductie wordt verklaard door de ingroei van uitstootvrij materieel in 2030 van stationaire machines en machines tot 56 kW. In het totale brandstofverbruik zijn machines met een motorvermogen van hoger dan 56 kW echter dominant. In het minimumniveau is er voor 2030 in deze vermogenscategorieën geen eis voor uitstootvrij materieel, waardoor de daling van CO<sub>2</sub>-emissies in deze categorieën beperkt is. Schonere en nieuwere machines zijn over het algemeen zuiniger dan oudere machines (en stoten daarom minder CO<sub>2</sub> uit), maar dit verschil is beperkt ten opzichte van uitstootvrij materieel.

Tabel 7: CO<sub>2</sub>-emissies ten opzichte van 2018 bij het minimumniveau en aandeel van emissies per vermogenscategorie.

|                | 2018        | 2023       | 2025       | 2028       | 2030       |
|----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| <19 kW         | 3%          | 3%         | 2%         | 1%         | 1%         |
| 19-37 kW       | 6%          | 7%         | 7%         | 7%         | 3%         |
| 37-56 kW       | 4%          | 4%         | 4%         | 4%         | 1%         |
| 56-130 kW      | 26%         | 24%        | 23%        | 22%        | 22%        |
| 130-560 kW     | 43%         | 43%        | 42%        | 42%        | 42%        |
| Specialistisch | 5%          | 5%         | 5%         | 5%         | 4%         |
| Stationair     | 13%         | 12%        | 9%         | 3%         | 3%         |
| <b>Totaal</b>  | <b>100%</b> | <b>97%</b> | <b>93%</b> | <b>84%</b> | <b>77%</b> |



Figuur 3: Potentiële reductie van CO<sub>2</sub>-emissies in 2030 ten opzichte van 2018 als gevolg van het minimumniveau.

#### 2.4.2 Impact op NO<sub>x</sub>-uitstoot - minimumniveau

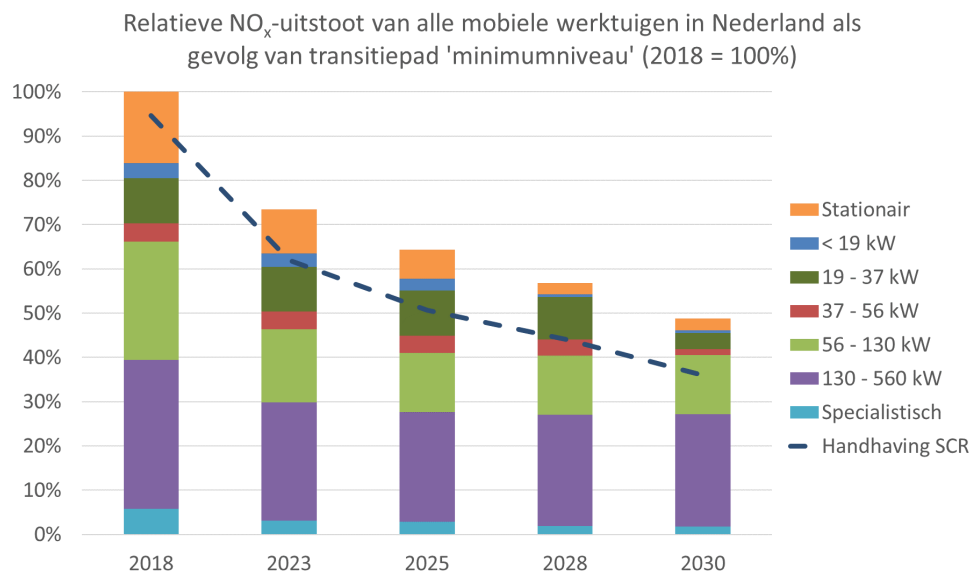
De potentiële impact van het minimumniveau, inclusief de autonome verjonging, op de uitstoot van NO<sub>x</sub> in 2030 is ca. 51% reductie ten opzichte van 2018 (Tabel 8). Handhaving is hierbij nodig om te controleren of de juiste machines worden ingezet. Ca. 24% van de 51% reductie zit in de categorieën stationair en machines <56 kW (met name door de ingroei van ZE-materieel). De overige reductie komt vanwege de (versnelde) ingroei van Stage V en de installatie van SCR-katalysatoren in de vermogenscategorieën vanaf 56 kW. 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,

Tabel 8: NO<sub>x</sub>-emissies ten opzichte van 2018 bij het minimumniveau en aandeel van emissies per vermogenscategorie.

|                | 2018        | 2023       | 2025       | 2028       | 2030       |
|----------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| <19 kW         | 3%          | 3%         | 3%         | 1%         | 1%         |
| 19-37 kW       | 10%         | 10%        | 10%        | 10%        | 4%         |
| 37-56 kW       | 4%          | 4%         | 4%         | 4%         | 1%         |
| 56-130 kW      | 27%         | 16%        | 13%        | 13%        | 13%        |
| 130-560 kW     | 34%         | 27%        | 25%        | 25%        | 25%        |
| Specialistisch | 6%          | 3%         | 3%         | 2%         | 2%         |
| Stationair     | 16%         | 10%        | 6%         | 3%         | 3%         |
| <b>Totaal</b>  | <b>100%</b> | <b>73%</b> | <b>64%</b> | <b>57%</b> | <b>49%</b> |

Het monitoren van de emissiereductie in de praktijk is essentieel, zie (Ligterink, Eijk, & Holmes, 2021). Met name omdat een SCR-katalysator niet effectief is als er veel op lage motorbelasting wordt gedraaid (zoals stationair draaien, zie (Mensch, Elstgeest, Kranendonk, & Paschinger, 2023)), omdat de uitlaatgassen dan te koud blijven voor een goede katalysatorwerking.

Bij adequate handhaving op de inzet van schoon materieel, is het NO<sub>x</sub>-reductiepotentieel in 2030 ca. 64% ten opzichte van 2018. Het uitgangspunt is dat handhaving leidt tot de detectie van defecten of manipulatie van SCR-katalysatoren.



Figuur 4: Potentiële reductie van NO<sub>x</sub>-emissies in 2030 ten opzichte van 2018 als gevolg van het minimumniveau.

#### 2.4.3 Impact op PM-uitstoot (fijnstof) - minimumniveau

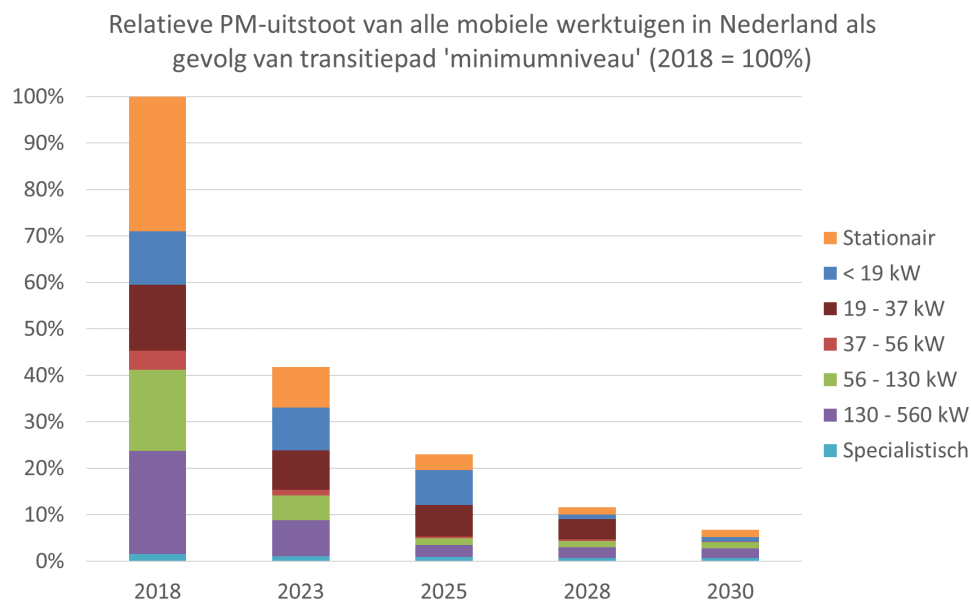
De uitstoot van fijnstof is in 2030 als gevolg van het minimumniveau, inclusief de autonome verjonging, met potentieel ca. 93% gereduceerd ten opzichte van 2018 (Tabel 9). Als gevolg van autonome vlootverjonging (los van de emissie-eisen in de routekaart) wordt een reductie van ca. 71% verwacht in 2030 ten opzichte van 2018. Dit wordt verklaard doordat naar verwachting een groot deel van het toekomstig materieel over een roetfilter beschikt. In 2030 zijn – volgens de routekaart- vrijwel alle machines uitstootvrij of voorzien van een roetfilter. Het is van belang dat het gesloten roetfilters zijn en niet half-open roetfilters aangezien deze laatstgenoemden minder effectief zijn (dit is ook de eis volgens de routekaart).

Het is van belang om in de praktijk met metingen te controleren of roetfilters nog goed functioneren aangezien een defect, of verwijdering van de roetfilter, buitenproportionele verhoging van fijnstofemissies kan 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.

Tabel 9: PM-emissies ten opzichte van 2018 bij het minimumniveau met overgangsregeling en aandeel van emissies per vermogenscategorie.

|                | 2018        | 2023       | 2025       | 2028       | 2030      |
|----------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|
| <19 kW         | 12%         | 9%         | 8%         | 1%         | 1%        |
| 19-37 kW       | 14%         | 9%         | 7%         | 4%         | 0%        |
| 37-56 kW       | 4%          | 1%         | 0%         | 0%         | 0%        |
| 56-130 kW      | 17%         | 5%         | 2%         | 1%         | 1%        |
| 130-560 kW     | 22%         | 8%         | 3%         | 2%         | 2%        |
| Specialistisch | 7%          | 2%         | 2%         | 2%         | 2%        |
| Stationair     | 24%         | 7%         | 2%         | 1%         | 1%        |
| <b>Totaal</b>  | <b>100%</b> | <b>42%</b> | <b>23%</b> | <b>12%</b> | <b>7%</b> |

In het minimumniveau zijn machines in 2030 grotendeels uitstootvrij of beschikken ze grotendeels over een roetfilter. Als uitgangspunt in de berekeningen wordt aangehouden dat 50% van de Stage IIIB- en Stage IV-machines (56 – 560 kW) over een roetfilter beschikt. Het exacte aandeel roetfilters in de praktijk bij Stage IIIB- en IV-machines is niet bekend. Een inventarisatie hiervan is nodig om de aanname van 50% te valideren. Het is hier bovendien aangenomen dat het om gesloten roetfilters gaat. Naast gesloten roetfilters bestaan er ook half-open roetfilters. Gesloten roetfilters zijn effectiever. Het is mogelijk dat af-fabriek roetfilters van machines vóór Stage V niet gesloten zijn, vanwege de beperkte PM-eisen, maar het aandeel gesloten roetfilters ten opzichte van half-open roetfilters is niet bekend. In de praktijk kan met behulp van een (eenvoudige en snelle) meting aan de uitlaat meer inzicht worden verkregen over de effectiviteit van verschillende toegepaste roetfiltertechnologieën, en of er überhaupt een roetfilter aanwezig is.



Figuur 5: Potentiële reductie van PM-emissies in 2030 ten opzichte van 2018 als gevolg van het minimumniveau.

#### 2.4.4 Basisniveau

In het geval dat alleen het basisniveau wordt aangehouden is de maximale potentiële emissiereductie in 2030 ten opzichte van 2018 lager dan bij het minimumniveau. Dit komt omdat de emissie-eisen in het basisniveau alleen gelden voor (deelnemende) publieke opdrachtgevers, en daarmee voor een kleiner gedeelte van machine-eigenaren. Tabel 10 laat in een overzicht zien hoe de emissies bij het basisniveau verschillen ten opzichte van de emissies bij het minimumniveau. Het gaat hier om maximale effecten, indien volledig wordt voldaan aan de eisen in de routekaart.

Tabel 10: Verschil in emissies in 2030 ten opzichte van 2018 tussen het basis- en minimumniveau. Let op: de percentages geven aan wat de potentiële jaarlijkse emissies in 2030 zijn ten opzichte van 2018. Dit zijn dus geen reductiepercentages.

| 2030 t.o.v. 2018 | Basisniveau | Minimumniveau |
|------------------|-------------|---------------|
| CO <sub>2</sub>  | 84%         | 77%           |
| NO <sub>x</sub>  | 59%         | 49%           |
| PM               | 17%         | 7%            |

In het geval dat het basisniveau naast het minimumniveau wordt gehanteerd is de totale maximale potentiële emissiereductie groter dan het minimumniveau (bekeken over de gehele periode van de routekaart), doordat er in periode 1 in het basisniveau strengere eisen worden gesteld aan het materieel van 37 – 560 kW en er vanaf periode 3 100% uitstootvrij wordt geëist voor materieel van 19 – 56 kW. Er is niet berekend wat het effect van het basisniveau bovenop het minimumniveau is. Er wordt geschat dat het in 2028 tot ~5% extra CO<sub>2</sub>-reductie kan leiden, ~7% extra NO<sub>x</sub>-reductie en ~3% extra PM-reductie. Voor een nauwkeurigere schatting is een verdere berekening nodig.

#### 2.4.5 Ambitieuze niveau

Bij het ambitieuze niveau (zie Tabel 11) zijn er een aantal koploperprojecten in het projectportfolio van publieke opdrachtgevers waarbij er een bepaald percentage van het werk emissieloos moet worden verricht. Voor de overige inzet van mobiele werktuigen bij projecten van publieke opdrachtgevers gelden de eisen van het basisniveau.

Tabel 11: Ambitieuze niveau volgens Routekaart SEB

|                                                                            | Periode 1<br>2023 – 2024 | Periode 2<br>2025 – 2027 | Periode 3<br>2028 – 2029 | Periode 4<br>2030 en<br>verder |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| <b>Aandeel koploperprojecten</b>                                           | 5 – 25%                  | 25 – 50%                 | 50 – 80%                 | 75 – 95%                       |
| <b>Minimumeisen ingroei emissieloos materieel</b>                          |                          |                          |                          |                                |
| <b>Percentage ZE verricht arbeid in een project (draaiuren x vermogen)</b> | 10 – 30%                 | 30 – 70%                 | 70 – 90%                 | 90 – 100%                      |

Doordat er bij het ambitieuze niveau een hoger aandeel emissieloze mobiele werktuigen wordt ingezet dan wanneer alleen het basisniveau zou worden gehanteerd, is er een hogere emissiereductie mogelijk.

Er zijn nog veel onzekerheden voor een realistische doorrekening van de impact van het ambitieuze niveau over onder meer het aandeel publieke opdrachtgevers, het aandeel publieke opdrachtgevers dat het Convenant tekent en het aandeel publieke opdrachtgevers dat het ambitieuze niveau gaat toepassen.

Ten behoeve van de berekening wordt er daarom met de volgende uitgangspunten gewerkt:

- Ca.50% van de machines wordt ingezet in projecten van publieke opdrachtgevers (zie 2.3.2);
- Er is aangenomen dat alle publieke opdrachtgevers het ambitieuze niveau toepassen. De inschatting van impact op emissies geeft dus een maximaal reductiepotentieel waarin alle publieke opdrachtgevers het ambitieuze niveau volgen.
- Het percentage ZE wordt toegepast op het aantal draaiuren x het vermogen;
- De machines in lagere vermogensklassen worden eerder emissieloos dan machines in hogere vermogensklassen. Het aandeel emissieloze draaiuren wordt op basis van die regel toegewezen aan machines.

In Tabel 12 zijn op basis van de bandbreedtes in Tabel 11 drie scenario's opgesteld voor de doorrekening van het ambitieuze niveau om de impact op emissies te schatten. Het scenario laag pakt voor elk van de variabele het minimum van de bandbreedte, het scenario midden pakt het midden van de bandbreedte en het scenario hoog neemt het maximum van de bandbreedte voor de twee variabelen.

Tabel 12: Scenario's waarmee wordt gerekend om de effecten van het ambitieuze niveau te bepalen.

| Scenario                          | Laag | Midden | Hoog |
|-----------------------------------|------|--------|------|
| Aandeel koploperprojecten in 2030 | 75%  | 85%    | 95%  |
| Percentage ZE in 2030             | 90%  | 95%    | 100% |

Tabel 13 geeft de uitkomsten van de drie scenario's van het ambitieuze niveau en vergelijkt deze met het basis- en minimumniveau. De percentages geven de emissies in 2030 aan bij het gehanteerde niveau als aandeel van de emissies in 2018. Hoe lager het getoonde percentage, hoe hoger de potentiële reductie ten opzichte van 2018.

Tabel 13: Verschil in emissies in 2030 ten opzichte van 2018 tussen het ambitieuze, basis- en minimumniveau. Het ambitieuze niveau geeft maximale reductiepotentiëlen weer waarbij alle publieke opdrachtgevers het ambitieuze niveau toepassen.

| 2030 t.o.v. 2018 | Ambitieuze niveau laag-midden-hoog | Basisniveau | Minimumniveau |
|------------------|------------------------------------|-------------|---------------|
| CO <sub>2</sub>  | 63% - 58% - 52%                    | 84%         | 77%           |
| NO <sub>x</sub>  | 47% - 43% - 40%                    | 59%         | 49%           |
| PM               | 16% - 16% - 15%                    | 17%         | 7%            |

Voor CO<sub>2</sub> is er, wanneer er naast het basisniveau ook het ambitieuze niveau wordt toegepast, een hogere reductie mogelijk dan wanneer alleen het basisniveau wordt toegepast aangezien er een relatief hoger aandeel emissieloos wordt ingezet bij publieke werken. Doordat er is gerekend onder de aanname dat het lichtere materieel eerst emissieloos wordt, en het materieel <56 kW al emissieloos moet zijn volgens de eisen van het basisniveau, zit het hogere aandeel emissieloos in de vermogenscategorieën 56 – 560 kW (hoe groot het aandeel emissieloos is in elk van de vermogenscategorieën 56 – 130 kW en 130 – 560 kW is afhankelijk van het scenario (laag, midden of hoog). Dit verklaart de extra reductie.

In het ambitieuze niveau is de mogelijke CO<sub>2</sub>-emissiereductie ook hoger dan het minimumniveau. Een relatief groot gedeelte van de CO<sub>2</sub>-emissies in het autonome pad komen voort uit het gebruik van materieel in de vermogenscategorieën 56 - 560 kW. Als alleen het minimumniveau wordt aangehouden, is het aandeel emissieloos 0% in deze vermogenscategorieën. In het hoge scenario zijn nagenoeg alle machines ingezet door publieke opdrachtgevers emissieloos (bij hantering van de eerdergenoemde uitgangspunten). Daardoor kan het ambitieuze niveau een grotere emissiereductie van CO<sub>2</sub> halen ondanks dat de eisen alleen voor de koploperprojecten van publieke opdrachtgevers gelden (in tegenstelling tot het minimumniveau dat voor de hele machinevloot geldt). Deze zelfde verklaring gaat ook op voor het verschil in emissiereductie van NO<sub>x</sub>.

Op het gebied van PM-emissies is de potentiële emissiereductie nagenoeg gelijk in het ambitieuze en basisniveau. In het basisniveau wordt er al emissieloos geëist voor de vermogenscategorieën <56 kW en roetfilters in de overige categorieën, waardoor de mogelijke emissiereductie in 2030 ten opzichte van 2018 al aanzienlijk is. De extra reductie die mogelijk is als gevolg van hogere eisen aan het aandeel emissieloos in koploperprojecten van publieke werken is in vergelijking met de potentiële emissiereductie in het basisniveau relatief beperkt.

## 2.5 Haalbaarheid

Deze sectie reflecteert op de haalbaarheid van de invoering van de emissie-eisen zoals opgenomen in de routekaart. Onderstaande conclusies gelden zowel voor het minimum- als het basisniveau.

Over de gehele periode van het transitiepad geldt dat het totaal aantal geweerde machines hoog is (en daarmee een hoge benodigde ingroei van schonere machines), zoals Tabel 14 laat zien. 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 bouwmachines voor andere doeleinden in te zetten. Daardoor zullen nog goedwerkende machines eerder vervangen moeten worden.

Periode 1: De ingangsdatum van de eerste periode is in 2023. Het convenant zal echter niet direct aan het begin van 2023 in werking treden. Partijen wensen en krijgen implementatietijd (maximaal 6 maanden), veelal gebaseerd op economische haalbaarheid en daarmee op normale afschrijving van bouwmaterieel. Wel zal op relatief korte termijn een hoog aandeel van de huidige machines geweerd moeten worden volgens de routekaart, zie onderstaande tabel.

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 de routekaart. Deze nieuwere machines kunnen vervolgens een beperkt aantal jaar worden ingezet (vanwege een strengere eis die opvolgend in werking treedt), hierdoor is vervroegde afschrijving benodigd.

Periode 3 en 4: De eis uitstootvrij in 2028 en 2030 voor <56 kW en stationair (al dan niet met overgangsregeling tot 2033) vraagt om zeer hoge weringspercentages. De aantallen bij 'minimaterieel' in Tabel 14 gaan over de dieselmachines, dit is nog exclusief (ca. 40.000) benzine-werktuigen. Dat gaat met name om zeer klein materieel (veelal <8 kW), zoals bandenzagen, trilplaten/stampers en kleine aggregaten. Na 2030 dient nog steeds het resterende deel (ca. 30%) ZE te worden (waar de eis ZE is). In totaal gaat het bij het minimumniveau dan om ca. 85.000 machines die vervangen moeten worden naar ZE.

In sommige gevallen moeten geweerde machines in 2023 vervangen worden door nieuwere dieselmachines volgens de eisen van de routekaart. Deze nieuwere machines kunnen vervolgens een beperkt aantal jaar 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 autonome vlootvernieuwing is globaal gemiddeld 10 – 13 jaar (voor stationair nog langer) en gaat nu naar 5 – 7 jaar.

Tabel 14: Geweerd materieel per periode per vermogensklasse bij het minimumniveau.

|                                                                                    | Periode 1<br>2023-2024 | Periode 2<br>2025-2027 | Periode 3<br>2028-2029 | Periode 4<br>2030 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
| Licht ('minimaterieel') (<19 kW)                                                   | -                      | -                      | 3.400<br>(14%)         | 13.300<br>(56 %)  |
| Zeer licht (19-37 kW)                                                              | 4.100<br>(18%)         | -                      | -                      | 15.500<br>(52%)   |
| Licht (37-56 kW)                                                                   | 1.800<br>(20%)         | 600<br>(6%)            | -                      | 5.500<br>(57%)    |
| Middelzwaar materieel (56-130 kW)                                                  | 5.100<br>(20%)         | 8.500<br>(34%)         | -                      | -                 |
| Zwaar materieel (130-560kW)                                                        | 1.000<br>(9%)          | 3.200<br>(27%)         | -                      | -                 |
| Specialistisch materieel<br>(levensduur >15 jaar)<br>Zeer zwaar materieel (>560kW) | -                      | -                      | -                      | -                 |
| Stationair (generatoren, battery packs)                                            | 13.300<br>(54%)        | 4.800<br>(19%)         | -                      | 13.700<br>(55%)   |

De haalbaarheid van 100% uitstootvrije machines in 2033 (voor <56 kW en stationair) is anno 2022 lastig vast te stellen, maar is in ieder geval zeer ambitieus. De benodigde ZE-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.

Om 100% ZE in 2033 te behalen is het benodigd dat:

- De autonome vlootvernieuwing met ca. 1,5x versneld (globaal van gemiddeld 10-13 jaar (stationair nog langer) naar 5-7 jaar);
- Het aandeel ZE in de nieuwverkopen binnen drie tot vier jaar naar 60% gaat en vóór 2030 naar 100% (de tot die tijd geleverde diesels worden versneld afgeschreven en/of verkocht (in het buitenland));
- Een deel van de generatorsets (25 tot 50%) wordt vervangen door een directe kabel aansluiting;
- De capaciteit van het materieel beter wordt benut, zodat er minder machines nodig zijn;
- Jaarlijks wordt gemonitord wat de aandelen ZE in de nieuwverkopen zijn.

Stationair materieel moet volgens het transitiepad even snel uitstootvrij worden als het materieel onder de 19 kW. Zwaar stationair materieel vraagt echter om forse aansluitvermogens en/of een zeer grote energieopslag. Het zware stationaire materieel is daarom niet vanzelfsprekend makkelijker uitstootvrij te maken dan 'mobiel' materieel.

Er is een risico op reboundeffecten, bijvoorbeeld meer inzet van machines met zwaardere klassen (>56 kW), omdat daar geen uitstootvrij wordt geëist.

Minimale randvoorwaarden voor uitstootvrij zijn:

- Voldoende beschikbaarheid van ZE-machines vanuit de markt. Dit geldt voor alle machinetypen, ook de minder gangbare. Momenteel is er met name aanbod in het segment lichtere / kleinere werktuigen. Het is nog onzeker of de machineleveranciers voldoende capaciteit hebben om hierin te voorzien;
- Zo lang er af-fabriek niet voldoende aanbod is, is er veel ombouwcapaciteit nodig.
- Beschikbaarheid van infrastructuur (bijvoorbeeld laden op de bouwplaats), maar bijvoorbeeld ook veiligheid en standaardisatie daarvan.
  - o Het tijdig beschikbaar krijgen van bouwstroom is nog vaak een uitdaging. Bovendien is bouwstroom niet voor elke bouwlocatie een mogelijkheid. In een buitengebied kan de afstand tot het vaste stroomnet te groot zijn.
  - o Voldoende laadvermogen creëren op de bouwplaats voor het opladen van elektrisch bouwmaterieel is niet vanzelfsprekend. De locatie, tijdelijke aard van de voorziening, de stroomvraag, kosten en de benodigde tijd voor de aanleg van de elektriciteitsvoorziening kunnen barrières opwerpen.

- Het verwisselen van accu's kan een uitkomst bieden wanneer er geen of onvoldoende elektriciteit kan worden gerealiseerd op de bouwplaats. Daarmee kunnen de accu's op een andere locatie worden bijgeladen, wat operationeel complex is. Hierbij moeten de extra transportbewegingen en de bijbehorende energievraag (en eventuele uitstoot) ook worden meegerekend.
- Ten behoeve van investeringsbereidheid helpt het als energiekosten concurrerend worden/zijn met dieselprijs. Voor hoge vermogens of afgelegen locaties is dat niet vanzelfsprekend.
- Meerkosten moeten afnemen voor een betere TCO (Total Cost of Ownership) en daarmee grotere investeringsbereidheid. De huidige subsidieregeling is niet toereikend voor de aandelen ZE zoals in de routekaart opgenomen.
- Materieel dient qua praktische toepasbaarheid een hele werkdag inzetbaar te zijn.
  - De noodzakelijke accugrootte (kWh) is daarmee een factor. Een grotere machine, hogere motorbelasting, of meer draaiuren per dag vraagt meer accucapaciteit. Dit drijft de investeringskosten op ten opzichte van een dieselmotorvariant
- Wet- en regelgeving voor energie op de bouwplaats dient op orde te zijn (voor de verschillende opties van energie op de bouwplaats), ook rondom veiligheid en standaardisatie.
- Op de korte termijn starten met pilots om ervaringen op te doen, bij voorkeur met voldoende volume. Zowel voor de infrastructuur als voor de inzet van het materieel.

### 2.5.1 *Ambitieuze niveau*

Bij het ambitieuze niveau is er een hoog aandeel emissieloze machines nodig in de vermogenscategorieën 56 – 130kW en 130 – 560 kW (alsook in de vermogenscategorieën <56kW). Zoals eerder genoemd, vraagt zwaarder emissieloos materieel om forse aansluitingvermogens en/of een zeer hoge energieopslag. Het is onzeker of hierin kan worden voorzien en of er voldoende aanbod van emissieloze mobiele werktuigen zal zijn vanuit fabrikanten. Er is verder onderzoek benodigd om de ingroei van emissieloos materieel van verschillende machinetypen te achterhalen. Aangezien het huidige aanbod emissieloze mobiele werktuigen nog voornamelijk voorziet in lichter en kleiner materieel lijkt het onwaarschijnlijk dat in 2030 kan worden voldaan aan de benodigde aantallen en typen emissieloze mobiele werktuigen (met name in de zwaardere categorieën), en andere randvoorwaarden (zie 2.5 voor minimale randvoorwaarden uitstootvrij), die nodig zijn om de eisen van het ambitieuze niveau te halen indien alle publieke opdrachtgevers meedoen. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat het zeer waarschijnlijk is dat nog niet alle publieke opdrachtgevers, met name kleinere gemeenten, zich committeren aan het ambitieuze niveau.

Er zijn drie onzekerheden die het lastig maken om de haalbaarheid van het ambitieuze niveau in te schatten, namelijk:

- Het aandeel publieke opdrachtgevers;
- Het aandeel publieke opdrachtgevers dat het Convenant SEB tekent;
- Het aandeel publieke opdrachtgevers dat meedoet met het ambitieuze niveau.

Op opdrachtgeverniveau is het aandeel emissieloos binnen koploperprojecten wel haalbaar. Er zijn al voorbeelden in praktijk waarmee met (deels) emissieloze bouwplaatsen wordt geëxperimenteerd in praktijk (tegen nu nog hoge investeringskosten).

### 3 Specialistisch spoormaterieel

#### 3.1 Uitgangssituatie

Met gegevens van ProRail en enkele grotere aannemers in railinfrastructuur (in combinatie met hun marktaandeel) zijn de emissies in 2020 ingeschat op basis van de aantallen en typen machines, de jaarlijkse draaiuren en de gemiddelde motorbelasting (Tabel 15). Er bestaat nog veel onzekerheid over de vlootsamenstelling en de inzet. De berekening gaat daarom gepaard met veel aannames. De nauwkeurigheid van de emissieberekening kan worden verbeterd bij meer detailinformatie over inzet en dieselverbruik.

Tabel 15: Emissies van spoor-specialistisch materieel in 2020.

| Spoor-specialistisch materieel | 2020                 |
|--------------------------------|----------------------|
| NO <sub>x</sub>                | 0,14 tot 0,22 kton   |
| PM <sub>10</sub>               | 4 tot 6,5 ton        |
| CO <sub>2</sub>                | 0,017 tot 0,025 Mton |

Het gaat hier om materieel dat wordt ingezet op het spoor bij onderhoud en bouw. (Algemeen) grondverzet, bouw van kunstwerken, werkzaamheden op stations, gebiedsonderhoud etc. horen daar niet bij.

Er is een hoge gemiddelde levensduur van het materieel. Daardoor verloopt de autonome verjonging van het park langzaam. Bovendien is de emissiewetgeving milder voor diesellocomotieven dan voor mobiele werktuigen. Zowel de langzame autonome verjonging als de milde emissiewetgeving zorgen ervoor dat er geen grote autonome emissiereductie (<10%) wordt verwacht in 2030. De emissies in zichtjaar 2018 zullen om dezelfde reden nauwelijks afwijken van zichtjaar 2020. Tabel 16 laat de categorisering zien die in de routekaart wordt aangehouden, inclusief aantallen en emissies. Daarbij is gekeken naar zowel de vermogensklasse als ook de toepassing van het materieel.

Tabel 16: Aantallen en emissies per categorie spoor-specialistisch materieel.

| Categorie                        |                                     |          | Aantal | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> | CO <sub>2</sub> |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------|--------|-----------------|------------------|-----------------|
| Bouwmaterieel                    | Mini                                | <19kW    | 1000   | 2%              | 11%              | 2%              |
|                                  | Middelzwaar                         | <130 kW  | 117    | 12%             | 9%               | 16%             |
|                                  | Specialistisch/zwaar spoormaterieel | >130 kW  | 58     | 44%             | 43%              | 40%             |
| Rail-wegvoertuigen en diesellocs | Middelzware rail-weg bussen         | N1       | 18     | 2%              | 1%               | 3%              |
|                                  | Middelzwaar rail-weg materieel      | N2/3     | 15     | 2%              | 0%               | 4%              |
|                                  | Diesellocs                          | >1000 kW | 17     | 38%             | 37%              | 34%             |

### 3.2 Aangeleverde eisen ambitieuze niveau

Voor spoor-specialistisch materieel zijn alleen eisen opgesteld voor het ambitieuze niveau en de routekaart geldt daarmee alleen voor koploperprojecten.

Het ambitieuze niveau wordt weergegeven in Figuur 6 (conceptversie uit augustus 2022). In periode 1 (2023 t/m 2024) worden er nog geen eisen gesteld, maar gaat het om onderzoek, ontwikkeling en ambities.

| Koploperprojecten Spoor                                                       |                                                                                               |                                                                                   |                                                                                  |                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Specialistisch spoormaterieel (werktuigen)                                    | Periode 1<br>2023 tot en met 2024                                                             | Periode 2<br>2025 tot en met 2027                                                 | Periode 3<br>2028 tot en met 2029                                                | Periode 4<br>Vanaf 2030                                            |
| <b>Bouwmaterieel</b>                                                          |                                                                                               |                                                                                   |                                                                                  |                                                                    |
| Mini spoormaterieel (<19 kW)                                                  | Autonome ontwikkeling (ambitie 20% ZE)                                                        | Ambitie: 80% ZE                                                                   | 100% ZE                                                                          | 100% ZE                                                            |
| Middelzwaar spoormaterieel (tot 130kW; met name krollen)                      | Maatwerk/autonome ontwikkeling                                                                | Stage IV + roetfilter                                                             | Stage IV + roetfilter                                                            | Ingroeï naar 100% ZE                                               |
| Specialistisch/zwaar spoormaterieel (>130 kW)                                 | Stimuleren ingroeï ZE<br>Onderzoek / ontwikkeling verduurzamingsopties (retrofit, ZE/hybride) | Ambitie: 20% ZE<br>Toepassing SCR+roetfilter<br>Ambitie ZE: min. 1 ZE-stopmachine | Ambitie: 50% ZE<br>Eis: minimaal SCR+roetfilter<br>Ingroeï ZE: ambitie 10-20% ZE | Eis: minimaal SCR+roetfilter<br>Doorgroeï naar >50% ZE (2035-2040) |
| <b>Rail-wegvoertuigen en bouwlogistiek*</b>                                   |                                                                                               |                                                                                   |                                                                                  |                                                                    |
| Middelzware rail-weg bussen (N1; <3.500kg)                                    | Stimuleren ingroeï ZE of hybride                                                              | Minimaal Euro 6/6d, hybride of ZE                                                 | Minimaal Euro 6/6d, ZE of hybride<br>ZE (voor ZE-stadszones)                     | Eis: 100% ZE                                                       |
| Middelzwaar rail-weg materieel (N2/3; > 3.500kg)                              | Stimuleren ingroeï ZE of hybride                                                              | Minimaal Euro VI, hybride of ZE                                                   | Minimaal Euro VI, ZE of hybride<br>ZE (voor ZE-stadszones)                       | Minimaal ZE of hybride<br>ZE (voor ZE-stadszones)                  |
| Transport van materialen naar de bouwplaats m.b.v. dieselloos (bouwlogistiek) | Onderzoek / ontwikkeling verduurzamingsopties (retrofit, ZE/hybride)<br>Procesmaatregelen     | Toepassing SCR+roetfilter<br>Ingroeï hybride / ZE<br>Procesmaatregelen            | Toepassing SCR+roetfilter<br>Ambitie: 20% ZE<br>Procesmaatregelen                | Toepassing SCR+roetfilter<br>Ambitie: >50% ZE<br>Procesmaatregelen |

Figuur 6: Ambitieuze niveau spoor-specialistisch materieel (concept versie augustus 2022).

### 3.3 Methode van doorrekening

Voor de doorrekening van het ambitieuze niveau is een aantal aannames gedaan. In deze paragraaf worden deze uitgewerkt.

Voor de doorrekening van het ambitieuze niveau is ervanuit gegaan dat al het spoorwerk met spoorspecialistisch materieel onder de koploperprojecten valt. Aangezien het in periode 1 alleen om onderzoek, ontwikkeling en ambities gaat, is er in de berekening geen effect aan periode 1 toegekend. Vanaf periode 2 zijn de ambitieuze niveaus aangehouden. Procesmaatregelen zijn niet toegelicht; daarvoor is geen effect toegekend in de doorrekening.

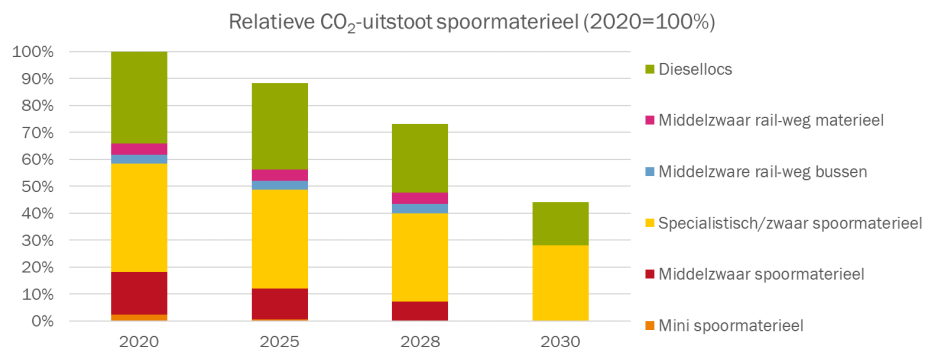
Voor rail-wegvoertuigen in een ZE-stadszone zijn in de routekaart aanvullende eisen opgenomen (naast de minimale eisen). Doordat het aandeel spoorwerken in ZE-stadszones niet bekend is, is gerekend met de minimale eisen.

Voor middelzwaar spoormaterieel is in de berekening aangenomen dat 100% van het materieel ZE is in 2030 (in de routekaart staat dit beschreven als 'ingroeï naar 100% ZE').

Voor specialistisch/zwaar spoormaterieel is voor 2025 uitgegaan van de eis 'SCR+roetfilter', al is niet direct duidelijk of dit een eis is (aangezien er 'toepassing' staat in de routekaart). Voor het jaar 2030 is voor deze categorie uitgegaan van 30% ZE. Machines waar er minder dan twee van zijn, worden in de berekening niet ZE.

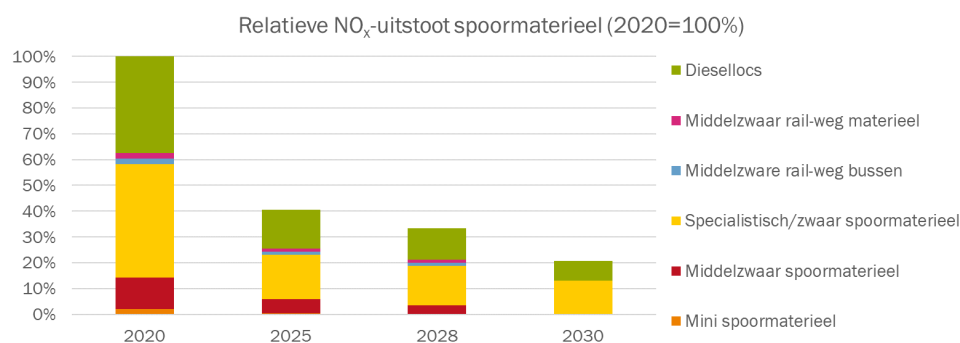
### 3.4 Resultaat van de doorrekening

Voor 2030 wordt ca. 55% reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot berekend ten opzichte van 2020 als gevolg van het ambitieuze niveau (Figuur 7). De grootste reductie komt voort uit de maatregelen voor diesellocs en zwaar spoomaterieel (omdat deze het grootste aandeel in de totale uitstoot hebben). De reductie is met name het gevolg van vervanging door uitstootvrij materieel. In de jaren 2025 en 2030 is de reductie daarom minder groot.



Figuur 7: CO<sub>2</sub>-reductie voor 2025, 2028 en 2030 ten opzichte van 2020 van spoorespecialistisch materieel ten gevolge van het ambitieuze niveau.

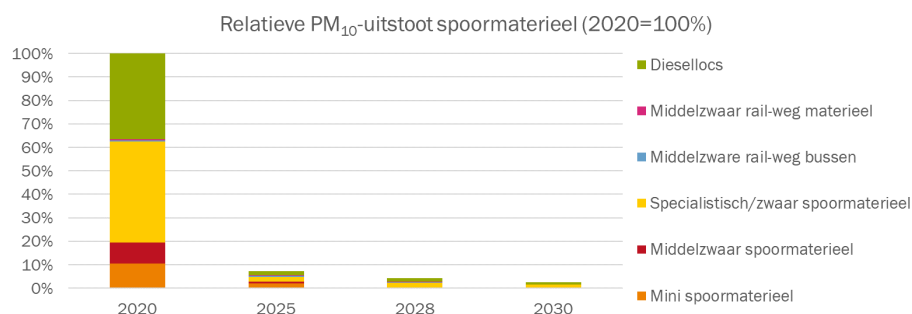
Voor de NO<sub>x</sub>-emissie wordt de reductie voor 2030 ten opzichte van 2020 op ca. 80% geschat ten gevolge van het ambitieuze niveau, zoals Figuur 8 laat zien. In 2025 en 2028 wordt een reductie van respectievelijk 60% en 67% becijferd. Hier is de reductie voornamelijk als gevolg van toepassing van SCR-katalysatoren. Voor een groot deel gaat dit om inbouw achteraf. Het is daarom van (extra) belang dat er in de praktijk monitoring plaatsvindt van de emissieprestaties.



Figuur 8: NO<sub>x</sub>-reductie voor 2025, 2028 en 2030 ten opzichte van 2020 van spoorespecialistisch materieel ten gevolge van het ambitieuze niveau.

De berekening laat een PM-reductie van 98% zien voor 2030 ten opzichte van 2020 ten gevolge van het ambitieuze niveau.

Voor 2025 en 2028 wordt de reductie ook al op meer dan 90% becijferd. Dit komt voornamelijk door toepassing van roetfilters. Ook hier gaat het voor een groot deel om inbouw achteraf, waardoor het van (extra) belang is dat emissieprestaties in de praktijk worden gemonitord. Bovendien is het belangrijk om te controleren dat het gaat om gesloten roetfilters.



Figuur 9: PM<sub>10</sub>-reductie voor 2025, 2028 en 2030 ten opzichte van 2020 van spoor specialistisch materieel ten gevolge van het ambitieuze niveau.

### 3.5 Haalbaarheid

Voor elke categorie van spoor specialistisch materieel volgt nu een inschatting van de haalbaarheid van het ambitieuze niveau.

#### *Mini-spoorbouwmaterieel*

In deze categorie gaat het om ca. 1000 machines (dit aantal is echter zeer onzeker). In het ambitieuze niveau is als ambitie voor ZE in 2025 80% opgenomen. Dit vraagt om een afschrijving binnen een periode van drie jaar voor een aanzienlijk deel van het materieel in deze categorie. Het is niet bekend of uitstootvrij spoor specialistisch materieel op deze korte termijn beschikbaar is in deze hoeveelheden.

Er is nu ingeschat dat er ca. 1000 van dit soort kleine machines zijn. De inschatting is wel dat dit type materieel geschikt is om op de korte termijn uitstootvrij beschikbaar te krijgen.

#### *Middelzwaar spoorbouwmaterieel, 2025*

De specifieke leeftijdsverdeling in deze categorie is niet bekend. Als ervanuit wordt gegaan dat de leeftijdsverdeling vergelijkbaar is met reguliere mobiele werktuigen voldoet ongeveer de helft van het materieel in deze categorie niet aan de eis in 2025. Daarbij wordt aangenomen dat 50% van de Stage IV-machines een roetfilter heeft. Dat zou betekenen dat ca. 60 machines verschoond of vervangen moeten worden tot 2025 (als aanvulling op de autonome vlootvervanging). Gegeven de eis van 100% uitstootvrij in 2030 wordt verwacht dat vooral wordt gekozen voor een retrofit SCR + roetfilter in plaats van aanschaffing van nieuw materieel.

Vanwege de eis van 20% ZE in 2025 zou het gaan om de aanschaf van ca. 20 ZE-machines en 40 retrofit-installaties. Dit is ambitieus, maar lijkt wel haalbaar in een periode van drie jaar.

De grootste uitdaging is de ZE-machines, omdat deze op dit moment nog in ontwikkeling zijn. Hier gelden dezelfde randvoorwaarden als eerder voor mobiele werktuigen geschetst rond aanbod, toepasbaarheid en laainfrastructuur. Het voordeel is wel dat het gaat om veel vergelijkbaar materieel (het gaat voornamelijk om krollen). Voor retrofit-installaties dient nader onderzoek plaats te vinden of dit passend is op dit type materieel (bijvoorbeeld qua ruimte).

### 3.5.1 *Middelzwaar spoorbouwmaterieel, 2028 en 2030*

De snelle groei naar 50% ZE in 2028 zorgt ervoor dat 30% van het materieel vervangen moet worden naar ZE, terwijl in 2025 een deel van de machines al snel verschoond moet worden. Dat betekent dat mogelijk een deel van de machines waarop een retrofit SCR+roetfilter is geïnstalleerd of een deel van de Stage IV-machines met roetfilter vervroegd wordt afgeschreven. Als in 2030 alles uitstootvrij moet zijn, betekent dat ook dat in vijf jaar alle Stage IV en de retrofit SCR+roetfilter afgeschreven worden. Honderdtwintig ZE-machines vanaf 2030 is uitdagend, maar mogelijk technisch haalbaar mits het aanbod en toepasbaarheid toereikend zijn. Er vindt dan wel versnelde afschrijving plaats van materieel dat in de 10 jaar daarvoor verschoond is (naar Stage IV, V en/of retrofit).

### 3.5.2 *Specialistisch/zwaar spoorbouwmaterieel*

In deze categorie gaat het om ca. 60 machines. De specifieke leeftijdsverdeling van deze categorie is niet bekend. In het algemeen is wel bekend dat dit oud materieel is. Bij een eventuele motorvervanging, wordt normaliter hetzelfde type motor geplaatst als dat er in zat. Bovendien zijn de emissie-eisen voor dit type materieel mild. Daarom wordt ingeschat dat de eis van SCR+roetfilter ervoor zorgt dat alle 60 machines in 2025 een nieuwe motor nodig hebben met een SCR+roetfilter, of een retrofit SCR+roetfilter. Een nieuwe Stage V-motor heeft in deze categorie, boven 560 kW, mogelijk geen SCR. Een andere mogelijkheid is om te onderzoeken of een Euro VI-motor uit een vrachtwagen toegepast kan worden voor dit materieel. De grote uitdaging bij dit materieel is de ruimte. Een SCR+roetfilter vragen ruimte; onderzoek moet uitwijzen of een retrofit SCR+DPF past op dit type materieel. Een motorvervanging en/of retrofit-installatie voor alle 60 machines in de komende drie jaar lijkt onrealistisch, omdat dit momenteel nog niet wordt toegepast, en omdat het veel verschillende machines zijn, met uiteenlopende technische eigenschappen en toepassingen. Indien de eis in 2028 ingaat wordt dit realistischer, maar nog steeds zeer uitdagend. Monitoring van effectiviteit in de praktijk is wel essentieel. Toepassing van uitstootvrij materieel zit momenteel nog in de ontwikkelingsfase, hiervoor zouden vooral pilots opgestart moeten worden. Gezien de hoge vermogens- en energievraag, het specialistische karakter van het materieel, en de diversiteit binnen deze groep, is het nog niet duidelijk hoe, en hoe snel dit naar uitstootvrij kan. Gezien deze onzekerheden lijkt 30% uitstootvrij in 2030 (zoals aangenomen voor de emissieberekening) vooralsnog niet direct realistisch.

### 3.5.3 *Middelzware railweg-bestelbussen*

Deze categorie beslaat ca. 18 voertuigen (bijvoorbeeld lasbussen). De specifieke leeftijdsverdeling van deze categorie is niet bekend. Euro 6 is leverbaar vanaf ca. 2016 en Euro 6d vanaf ca. 2019/2020. Dat betekent dat vanaf 2025 voertuigen worden geweerd van 10 jaar of ouder (uitgaande van Euro 6). In de categorie N1 (bestelauto's) is de gemiddelde leeftijd vaak relatief hoog en het grootste deel van de voertuigen is momenteel Euro 5 of ouder. Deze eis is ook strenger dan de afspraken binnen de geharmoniseerde milieuzones (toestaan vanaf Euro 5 in 2025), en de toekomstige ZE-zones, waar Euro 5-bestelauto's nog tot 2027 toegestaan zijn. De voertuigen zijn echter wel beschikbaar en het gaat om relatief weinig voertuigen. Daarmee is deze eis technisch haalbaar. Wel kan het financieel uitdagend zijn voor bedrijven die hun voertuigen nog niet afgeschreven hebben. De eis van 2030 volledig uitstootvrij zal zeer uitdagend zijn en tot versnelde afschrijving leiden gezien de vernieuwing die ook al nodig is om aan de eis in 2025 te voldoen.

Hierdoor zal een flink deel van de voertuigen binnen vijf jaar afgeschreven moeten worden. Het aanbod van ZE-bestelwagens zal toenemen; de verwachting is dat er 18 van dit type voertuigen beschikbaar kunnen zijn in 2030, ook al zijn dit geen gewone bestelwagens.

#### 3.5.4 Middelzwaar railweg-materieel

Deze categorie omvat ca. 15 voertuigen. De specifieke leeftijdsverdeling van deze categorie is niet bekend. Euro VI is leverbaar vanaf ca. 2014. Dat betekent dat vanaf 2025 voertuigen worden geweerd van 11 jaar of ouder. Deze eis is gelijk aan de afspraken binnen de geharmoniseerde milieuzones (toestaan vanaf Euro VI in 2022), en gaat ook later in. De voertuigen zijn beschikbaar en het gaat om relatief weinig voertuigen. Daarmee is deze eis technisch haalbaar. Wel kan het financieel uitdagend zijn voor bedrijven die hun voertuigen nog niet hebben afgeschreven. De eis van 2030 volledig uitstootvrij zal zeer uitdagend zijn en tot versnelde afschrijving leiden, gezien de vernieuwing die ook nodig is om aan de eis in 2025 te voldoen. Hierdoor zal een deel van de voertuigen binnen vijf jaar afgeschreven moeten worden. Het aanbod van ZE-vrachtwagens zal toenemen; de verwachting is dat er 15 van dit type voertuigen beschikbaar kunnen zijn in 2030.

#### 3.5.5 *Diesellocs*

Deze categorie bestaat ongeveer 17 machines. Diesellocs zijn over het algemeen oud. Bij een eventuele motorvervanging wordt normaliter hetzelfde type motor geplaatst als dat er in zat. Bovendien zijn de emissie-eisen voor dit materieel zeer mild. Zelfs bij een Stage V is geen SCR en roetfilter nodig. Om de eis van de routekaart te halen is daarom waarschijnlijk een retrofit nodig. Het voordeel bij diesellocs is dat deze vergelijkbaar zijn met elkaar. Wel dient nog onderzocht te worden of er ruimte is voor een SCR+roetfilter. Ook draaien diesellocs geregeld stationair; een SCR-katalysator is dan niet effectief. Er zijn dan ook maatregelen nodig om stationair draaien zoveel mogelijk te vermijden. Mits een SCR + roetfilter in te passen is op een dieselloc lijkt het haalbaar om binnen drie jaar 17 machines uit te rusten met SCR + roetfilter. Dit is niet gevalideerd met marktpartijen. Monitoring van effectiviteit in de praktijk is wel essentieel. Toepassing van uitstootvrij materieel bevindt zich momenteel nog in de onderzoeksfase, mogelijk kan een E-loc voor een groot deel het werk van een dieselloc overnemen; dit lijkt vooral een logistieke uitdaging. Indien het laatste stuk naar de bouwplaats (waar bovenspanning eraf is gehaald) ook uitstootvrij moet, bijvoorbeeld met een accupakket aan boord, zit de uitdaging – naast techniek - ook in een stuk wet- en regelgeving (mag er met een batterijpakket over het Nederlandse spoor worden gereden?). Of meer dan 50% ZE in 2030 haalbaar is, is daarom nog erg onzeker.

## 4 Bouwtransport

### 4.1 Uitgangssituatie

In Mensch et al, 2022 staat beschreven hoe de uitgangssituatie voor bouwtransport voor het jaar 2020 tot stand is gekomen. Het resultaat uit deze eerdere notitie staat in Tabel 17 voor de uitgangssituatie in 2020, en de autonome ontwikkeling naar 2030 staat in Tabel 18. Op basis van de koppeling nationale bedrijfsregistraties en kentekenregistraties is het aandeel bouwvoertuigen en inzet van deze voertuigen bepaald. Met het uitgangspunt dat de vloot voor bouwtransport representatieve uitstootcijfers heeft ten opzichte van de nationale vloot is dit aandeel van de inzet op de nationale emissiecijfers geprojecteerd.

Tabel 17: Emissies bouwtransport voor de verschillende transitiepaden in 2020.

| Transitiepad                                      | CO <sub>2</sub> Mton) | NO <sub>x</sub> (kton) | NH <sub>3</sub> (ton) | PM <sub>10</sub> (ton) |
|---------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Energie infra                                     | 0,04<br>(3%)          | 0,2<br>(3%)            | 2,3<br>(3%)           | 5,8<br>(3%)            |
| Weg, dijk en spoor                                | 0,24<br>(14%)         | 0,9<br>(14%)           | 14,1<br>(18%)         | 32,5<br>(14%)          |
| Woningen en utiliteit                             | 1,5<br>(83%)          | 5,2<br>(82%)           | 63,5<br>(77%)         | 204,1<br>(83%)         |
| Kustlijnzorg en<br>vaargeulonderhoud              | 0,02<br>(1%)          | 0,1<br>(1%)            | 2,1<br>(2%)           | 2,2<br>(1%)            |
| <b>Totaal</b>                                     | <b>1,8</b>            | <b>6,3</b>             | <b>82,0</b>           | <b>244,6</b>           |
| <b>Totaal wegvervoer<br/>(Emissieregistratie)</b> | <b>10,5</b>           | <b>34,9</b>            | <b>624,0</b>          | <b>1327,3</b>          |
| Aandeel bouw in wegvervoer<br>(weg)               | 17%<br>(14%-21%)      | 18%<br>(15%-22%)       | 13%<br>(10%-18%)      | 18%<br>(16%-23%)       |

De situatie uit 2020 komt uit de Emissieregistratie en de situatie voor 2025 en 2030 zijn gebaseerd op prognoses gemaakt voor de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2021 door PBL, gebaseerd op de prognose met vastgesteld en voorgenomen beleid.

Tabel 18: Autonome ingroei emissies bouwtransport van 2020 tot 2030.

|                           | 2020  |       |        | 2025  |       |        |       | 2030  |       |        |       |
|---------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
|                           | Licht | Zwaar | Totaal | Licht | Zwaar | Totaal | Delta | Licht | Zwaar | Totaal | Delta |
| CO <sub>2</sub><br>(Mton) | 0,98  | 0,81  | 1,79   | 0,95  | 0,83  | 1,78   | 0,6%  | 0,94  | 0,83  | 1,77   | 0,9%  |
| NO <sub>x</sub><br>(kton) | 3,39  | 2,88  | 6,27   | 2,31  | 2,18  | 4,49   | 28,4% | 1,17  | 2,18  | 3,35   | 46,6% |
| PM10<br>(kton)            | 0,14  | 0,10  | 0,24   | 0,12  | 0,09  | 0,21   | 13,6% | 0,10  | 0,09  | 0,20   | 19,1% |

Het basisniveau bouwtransport is opgesteld voor alle bouwprojecten van alle publieke opdrachtgevers. Het deel van het totaal aantal Nederlandse bouwvoertuigen dat ingezet wordt voor publieke opdrachtgevers is geschat op ca. 14%.

Dit percentage is tot stand gekomen met de volgende percentages publieke werken per transitiepad:

- Woningbouw en Utiliteitsbouw: 5%
- Energie: 100%
- Weg, Dijk en Spoor: 100%
- Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud: 100%.

In onderstaande tabel staat de verdeling over verschillende voertuigcategorieën.

Tabel 19: Aantal bouwvoertuigen totaal en publiek in 2020.

| Gewichtsklasse   | Voertuigtype       | Aantal bouw    | Schatting aantal publiek |
|------------------|--------------------|----------------|--------------------------|
| Licht (N1)       | Bestelauto         | 256.000        | 30.700                   |
|                  | Trekker-oplegger   | 2.000          | 800                      |
| Middelzwaar (N2) | Vrachtauto licht   | 1.000          | 200                      |
|                  | Vrachtauto midden  | 2.000          | 700                      |
|                  | Utiliteitsvoertuig | 200            | -                        |
| Zwaar (N3)       | Vrachtauto         | 4.000          | 1.300                    |
|                  | Utiliteitsvoertuig | 4.000          | 1.200                    |
|                  | Trekker-oplegger   | 8.100          | 2.600                    |
| <b>Totaal</b>    |                    | <b>277.300</b> | <b>37.500</b>            |

## 4.2 Aangeleverde eisen basisniveau

In het basisniveau bouwtransport worden eisen aan de emissieklasse van bouwvoertuigen gesteld voor vier periodes van 2023 tot 2030, zie Tabel 20. De impact van deze technische eisen op de vloot van bouwtransport wordt in de volgende secties doorgerekend.

Tabel 20: Basisniveau bouwtransport

|                          | Periode 1<br>1 jan. 2023 | Periode 2<br>1 jan. 2025 | Periode 3<br>1 jan. 2028 | Periode 4<br>1 jan. 2030 |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| N1 – Bestelauto's        | Euro 5                   | Euro 6                   | 100% ZE                  | 100% ZE                  |
| N2 - lichte vrachtwagens | Euro V                   | Euro VI                  | Euro VI                  | 100% ZE                  |
| N3 - zware vrachtwagens  | Euro V                   | Euro VI                  | Euro VI                  | Euro VI                  |

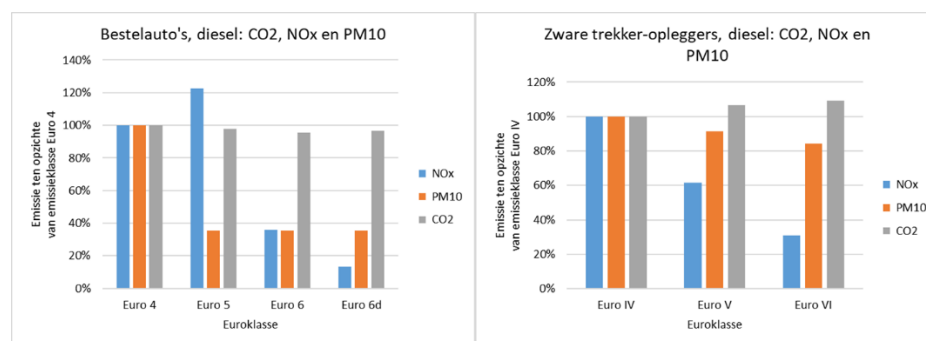
## 4.3 Methode van doorrekening

Het basisniveau bouwtransport is doorgerekend als effect op de prognoses van de KEV 2021 van PBL. PBL heeft een prognose van de vlootverdeling in kilometer per Euroklasse gemaakt voor zichtjaren 2025 en 2030. Voor deze twee zichtjaren is het effect van het basisniveau doorgerekend.

Vanuit de KEV is de verdeling van Euroklassen over de voertuigtypen bekend voor de zichtjaren 2020, 2025 en 2030. Vanuit de basislijst emissiefactoren van TNO is de emissie per voertuigtype en Euroklasse bekend (zie Figuur 10) voor het verschil in uitstoot van Euroklassen IV, V en VI).

Door de kilometers gereden door voertuigtypen die worden uitgesloten door het basisniveau te vervangen met schonere emissieklassen (zoals vereist door het basisniveau) en vervolgens opnieuw de totale vloottuitstoot te berekenen, is het effect van het basisniveau inzichtelijk gemaakt. In deze berekening wordt ervanuit gegaan dat de verdeling van Euroklassen per voertuigtype in bouwtransport overeenkomt met de verdeling van Euroklassen per voertuigtype uit de prognose.

Het effect wordt alleen doorgerekend voor de 14% van de voertuiginzet door bouw in het publieke domein.



Figuur 10: Verschil in uitstoot NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> en CO<sub>2</sub> per Euroklasse ten opzichte van Euro 4/IV.

#### 4.4 Resultaat van doorrekening

Het basisniveau bouwtransport is doorgerekend voor de zichtjaren 2025 en 2030 en is doorgerekend op basis van de beschikbare vlootcijfers (2020) en vlootprognoses (2025, 2030). Het resultaat staat in Tabel 21. Doordat het basisniveau geldt voor maar 14% van het bouwtransport is het effect relatief beperkt. Daarnaast is het effect op PM relatief nog kleiner omdat de gestelde emissienorm in het basisniveau geen invloed heeft op de fijnstofemissies van de slijtage van banden en remmen. Onder de tabel wordt het effect ten opzichte van de referentiejaar per emissiebron gegeven. Aangezien voor de NO<sub>x</sub>-reductie 2018 als referentiejaar geldt, is het verschil met 2018 expliciet toegevoegd.

Tabel 21: Verschil basisniveau bouwtransport ten opzichte van autonome ontwikkeling.

|                              | 2025     |       |       | 2030     |       |       |
|------------------------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
|                              | Autonoom | Basis | Delta | Autonoom | Basis | Delta |
| <b>CO<sub>2</sub> (Mton)</b> | 1,78     | 1,77  | -0,7% | 1,77     | 1,65  | -7,1% |
| <b>NO<sub>x</sub> (kton)</b> | 4,49     | 4,32  | -3,7% | 3,35     | 3,14  | -6,1% |
| <b>PM10 (kton)</b>           | 0,21     | 0,21  | -1,7% | 0,20     | 0,19  | -1,4% |

De bijdrage van de maatregelen in het basisniveau bouwtransport leiden tot een reductie van CO<sub>2</sub>-emissies van -0,14 Mton (ten opzichte van 2020). Hiermee draagt het ongeveer 35% bij aan de gewenste totale CO<sub>2</sub>-reductie in de bouwsector (-0,4 Mton ten opzichte van 2019). De gewenste reductie in NO<sub>x</sub>-emissies (60% ten opzichte van 2018) wordt hiermee wel gehaald (-59,5% ten opzichte van 2018). De potentiële reductie in PM<sub>10</sub>-emissies is 32% ten opzichte van 2018.

## 4.5 Haalbaarheid basisniveau bouwtransport

De haalbaarheid van het basisniveau bouwtransport wordt apart beschreven voor de bestelwagens en de vrachtwagens.

### *Bestelwagens*

Het basisniveau eist vanaf 2025 emissieklasse Euro 6 voor bestelwagens en is daarmee strenger dan de huidige regeling voor milieuzones (vanaf Euro 4 toegestaan), en ook strenger dan de toekomstige ZE-zones, waar Euro 5-bestelwagens nog tot 2027 toegang hebben tot de zone. Als we deze eis toepassen op het aandeel van publieke opdrachtgevers, wordt het aantal direct te vervangen bestelwagens naar Euro 5 (in 2022) ca. 13.000. Terwijl tweederde van de huidige bestelauto-vloot in de bouw een emissieklasse ouder of gelijk aan Euro 5 heeft.

Met een huidige ingroei van 60 tot 80 duizend nieuwe bestelwagens per jaar (Visser et al. 2021), blijft dit uitdagend gezien de beperkte tijd tot het ingangsjaar van de routekaart. Daarbij speelt echter wel een belangrijke afweging tot het vervangen door Euro 6 versus ZE.

Dit kan een zorgpunt vormen, gezien de relatief korte afschrijftermijn van vijf jaar bij vervanging door Euro 6, want vanaf 2028 wordt 100% ZE-bestelwagens geëist door publieke opdrachtgevers. In totaal moeten 31.500 bestelwagens worden vervangen. Dit betekent een gemiddelde ingroeisnelheid van ca. 6.000 ZE-bestelwagens per jaar (bij evenredige spreiding per jaar vanaf 2023 over een periode van vijf jaar). Met de jaarlijkse ingroei van bestelwagens en een verwacht aandeel BEV in de nieuwverkopen van 10% tot 25% tot 2025 (Zyl et al., TNO 2021), lijkt dit eveneens uitdagend. Let wel: dit betekent dat het grootste gedeelte van de beschikbaar komende ZE-voertuigen door publieke opdrachtgevers in de bouw moet worden ingezet, terwijl de ZE-zone stadslogistiek voor alle sectoren geldt. Daarnaast moet vanuit de publieke opdrachtgevers reeds in 2023 gestart worden met deze eis, om een geleidelijke instroom per jaar te realiseren tot 2028. Dit lijkt vanuit de grote aantallen haalbaar voor grote bedrijven met voldoende voertuigen en flexibiliteit van inzet, maar voor sommige ondernemers is gerichte ondersteuning noodzakelijk.

### 4.5.1 *Vrachtwagens*

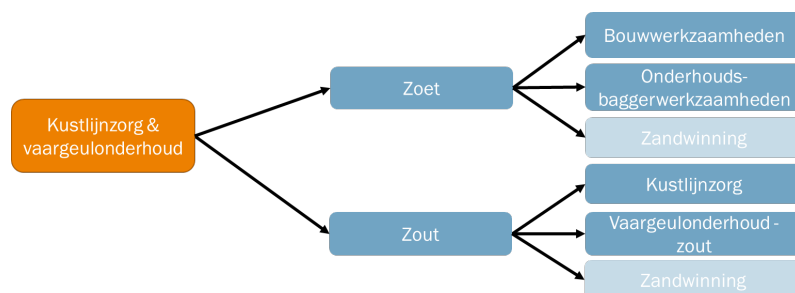
De eis in het basisniveau van minstens Euro V vanaf 2023 voor vrachtauto's is haalbaar. Op dit moment is ca. driekwart van de vrachtauto's al minstens Euro V en qua inzet van voertuigen is al meer dan driekwart minstens Euro V. Een verzwaring voor periode 2 naar Euro VI heeft dan ook vrijwel geen effect op emissiereductie. Mogelijk geldt voor specifieke vrachtwagens met een hulpfunctie (bijvoorbeeld kiepwagens of betonmixers) dat nog niet het grootste gedeelte aan deze eisen voldoet. Ook de eisen ten aanzien van Euro VI-vrachtauto's in het basisniveau worden realistisch geacht. Deze eis sluit aan bij de huidige regeling voor ZE-zones waar vrachtauto's die de zone in willen tenminste emissieklasse Euro VI moeten zijn vanaf 2025. Op dit moment is meer dan de helft van de vrachtautovloot Euro VI (waarvan minder dan 1% ZE). De onzekerheid van de ingroei ZE voor vracht is groot. Op dit moment is het aandeel ZE-vrachtauto's minimaal, is de aanschafprijs hoog en het aanbod beperkt.

Ook speelt de beperkte actieradius en beperkte laadinfrastructuur een rol en dit heeft invloed op de inzet/planning. In een eerder onderzoek van TNO (rapportnr. TNO 2021 R11987) worden de aandelen BEVs in de nieuwverkopen van vrachtwagens in 2030 geschat op tussen 10% en 30% (N2 richting 30%, N3 richting 10%). De Klimaat- en Energieverkenning 2022 (PBL, 2022) gaat uit van ongeveer de helft van de hiervoor genoemde aandelen. Daarin gaat de KEV wel uit van vaststaand beleid en kan plannen in ontwikkeling niet meenemen. Uitgaande van de aandelen BEVs in de nieuwverkopen van vrachtwagens in 2030 volgens TNO (TNO, 2021) lijkt de geschetste routekaart voor N2 – lichte vrachtwagens (100% in 2030) voor publieke opdrachtgevers (ordegrootte 900 voertuigen) uitdagend. Dit veroorzaakt waarschijnlijk een verschuiving van type voertuigen van N2 naar N3.

## 5 Transitiepad kustlijnzorg & vaargeulonderhoud

Transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud (KZO) is van toepassing op de door Rijkswaterstaat en andere overheden aanbestede kustlijnzorg en vaargeulonderhoud.

De impact van het transitiepad wordt uitgesplitst naar het deel van het werk op zoet binnenwater in Nederland (zoet), en een deel voor werken op zee (zout). Dit kent verschillende redenen, onder andere door een verschil in de registratie van emissiebronnen en door een verschil in emissienormen voor scheepsmotoren: CCR- en Stage-klassering op binnenwater en Tier-klassering op zee.



Figuur 11: Toepassingsgebieden voor de transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud en transitiepad energie.

### 5.1 Uitgangssituatie

#### 5.1.1 Zoet

De uitgangssituatie voor inzet van schepen en de emissies van de gehele zoete waterbouww vloot is beschreven in TNO 2022 R11048. De uitstoot in 2021 van de schepen die onder het transitiepad vallen staat in Tabel 22. Dit is exclusief de uitstoot voor de activiteit zandwinning, met name zandzuigers. Dit is geen onderdeel van de publieke opdrachtgevers in de zoete waterbouw.

#### 5.1.2 Zout

Voor het zoute deel van het transitiepad KZO is een inschatting gemaakt van de uitgangssituatie voor 2021 door het projectvolume per activiteit: kustlijnzorgvooroever, kustlijnzorg strand en het zoute vaargeulonderhoud, te vermenigvuldigen met de gemiddelde emissieprestatie per projectvolume. Projectvolume wordt uitgedrukt in kubieke meter (m<sup>3</sup>) zand, in situatie (in situ) of in beunbak van de schepen (in beun). De uitgangssituatie aantal m<sup>3</sup> in situ is aangeleverd door Rijkswaterstaat en de havenbedrijven:

Tabel 22: Jaarlijks gemiddeld baggervolume kustlijnzorg en vaargeulonderhoud door Rijkswaterstaat en door overige grote zeehavens.

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

Voor toekomstige projectvolumes is uitgegaan van een gemiddelde jaarlijkse uitvoering van dit projectvolume. Met de kanttekening dat de jaarlijkse projectvolumes erg kunnen variëren per jaar (Nolte et al, 2020).

De emissieprestatie is ingeschat op basis van een gemiddeld brandstofverbruik per m<sup>3</sup> projectvolume, zoals weergegeven in Tabel 23. Het brandstofverbruik kent vele afhankelijkheden en daarom wordt een relatief hoge bandbreedte gehanteerd.

Tabel 23: Bandbreedte in verbruik Marine Gas Oil (MGO) bij een gemiddelde m<sup>3</sup> in beun op basis van Drent 2019, Bolech en Kootstra 2020 en Jansen en Ringelberg 2020.

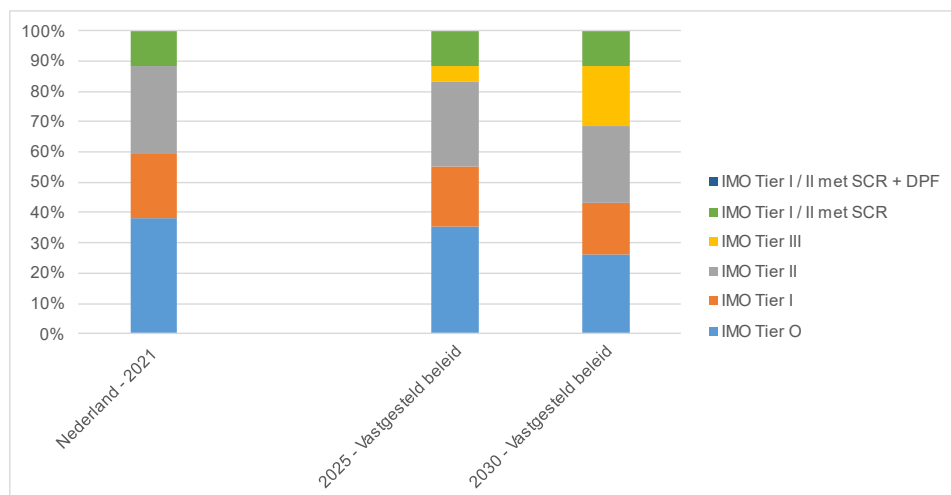
|                   | kg MGO per m <sup>3</sup> in beun |      |
|-------------------|-----------------------------------|------|
|                   | Laag                              | Hoog |
| Vooroever         | 0.51                              | 0.83 |
| Strand            | 0.69                              | 1.31 |
| Vaargeulonderhoud | 0.89                              | 1.74 |

Op basis van het totale brandstofverbruik zijn CO<sub>2-eq</sub> (4,14 kg per kg MGO, Istrate et al, 2022), NO<sub>x</sub> (12,00 gNO<sub>x</sub> / kWh, gemiddeld Tier I) en PM (1,2 g PM10 per kg MGO) ingeschat zie Tabel 24. Met vrij grove vlootgemiddelden is deze inschatting gemaakt, meer detailinzicht in de inzet en brandstofverbruik per scheepstype (Tier) en werktipe kan tot andere inzichten leiden. Deze gegevens zijn echter op moment van schrijven niet beschikbaar.

Tabel 24: Emissies waterbouwwloot transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud in 2021.

|                     | Activiteit                            | Mton CO <sub>2</sub> |      | Kton NO <sub>x</sub> |     | ton PM |     |
|---------------------|---------------------------------------|----------------------|------|----------------------|-----|--------|-----|
| <b>K&amp;V Zoet</b> | <b>Bouwwerkzaamheden</b>              | 0,01                 | 0,01 | 0,1                  | 0,1 | 2      | 2   |
|                     | <b>Onderhouds-baggerwerkzaamheden</b> | 0,05                 | 0,05 | 0,4                  | 0,4 | 11     | 11  |
| <b>K&amp;V Zout</b> | <b>Kustlijnzorg strand</b>            |                      |      |                      |     |        |     |
|                     |                                       | 0,03                 | 0,05 | 0,4                  | 0,7 | 9      | 15  |
|                     | <b>Zoute vaargeulonderhoud</b>        | 0,11                 | 0,24 | 1,5                  | 3,1 | 37     | 72  |
|                     |                                       |                      |      |                      |     |        |     |
|                     |                                       |                      |      |                      |     |        |     |
| <b>Totaal</b>       | <b>Totaal</b>                         | 0,20                 | 0,34 | 2,3                  | 4,2 | 58     | 100 |

Op basis van de verwachte autonome verschoning van de waterbouww vloot met nieuwere schepen en deels retrofit met SCR-katalysator voor bestaande schepen is er voor de zoute vloot een inschatting gemaakt van de autonome ontwikkeling van de uitstoot richting 2030, zie Figuur 12.



Figuur 12: Projectie van ingroei Tier III en SCR-nabehandeling bij schepen in zoute kustlijnzorg.

Verandering van de vlootsamenstelling naar de toekomst toe leidt tot autonome reductie in NO<sub>x</sub>-uitstoot van 10% in zoet en 27% in zout, zoals weergegeven in Tabel 25.

Tabel 25: Autonome ontwikkeling van emissies transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud tot 2030.

|                     |                              | 2021  | 2025  | 2030  | 2021 - 2030 |
|---------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------------|
| <b>K&amp;V zoet</b> | <b>CO<sub>2</sub> – Mton</b> | 0,055 | 0,051 | 0,045 | -18%        |
|                     | <b>NO<sub>x</sub> - kton</b> | 0,47  | 0,46  | 0,43  | -10%        |
|                     | <b>PM - ton</b>              | 13    | 12    | 11    | -17%        |
| <b>K&amp;V zout</b> | <b>CO<sub>2</sub> - Mton</b> | 0,21  | 0,21  | 0,20  | -5%         |
|                     | <b>NO<sub>x</sub> – kton</b> | 2,8   | 2,5   | 2,1   | -27%        |
|                     | <b>PM - ton</b>              | 0,067 | 0,067 | 0,067 | 0%          |

## 5.2 Aangeleverde eisen basisniveau

De definitieve basisniveaus voor de zoute kustlijnzorg en vaargeulonderhoud en het zoete vaargeulonderhoud staan in Figuur 13.

Tabel G. Basisniveau peloton varend bouwmaterieel

| Kustlijn zorg en zout vaargeulonderhoud (Zeegaand materieel) - Basisniveau<br>Rijks waterstaat - Havenbedrijf                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                  |                                          |                                           |                                           |                                            |                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Scheepstype                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                  | Periode 1<br>2022 tot en met 2024        |                                           | Periode 2<br>2025 tot en met 2027         |                                            | Periode 3<br>2028 tot en met 2029              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                  | Minimaal emissie conform tier klasse I** | Minimaal emissies conform tier klasse I** | Minimaal emissies conform tier klasse I** | Minimaal emissies conform tier klasse II** | Periode 4<br>vanaf 2030                        |
| Sleepproperzuigers<br>Kraanschip<br>Cutter zuiger<br>Hopperzuiger<br>Water injectie baggeren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ↑ Motoren        |                                          |                                           |                                           |                                            | Minimaal emissies conform tier klasse II**     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ↑ Energiedragers | Minimaal 10% duurzame energiedragers     | Minimaal 20% duurzame energiedragers      | Minimaal 20% duurzame energiedragers      | Minimaal 40% duurzame energiedragers       | Minimaal 60% duurzame energiedragers           |
| *Gecertificeerd tier I t/m III of retrofit die voldoet aan de emissienormen conform tier I t/m III<br>** Uitgezonderd zijn schepen met een beuninhoud >15.000m2 waarbij aantoonbaar is gemaakt dat deze noodzakelijk zijn voor de uitvoer van de werkzaamheden<br>Toelichting 1: Niet geïnstalleerde mobiele werktuigen op vaartuigen vallen onder het transitiepad van Weg, Dijk, Spoor materieel (WDSM)<br>Toelichting 2: x% duurzame energiedragers: tenminste x% duurzame energiedragers conform REDII in het contractenportfolio van opdrachtgever<br>Toelichting 3: Emissieklasse normering heeft betrekking op het gewogen gemiddelde van het geïnstalleerde vermogen op het gehele schip, dus inclusief alle hoofd, hulp en werkmotoren. |                  |                                          |                                           |                                           |                                            |                                                |
| Vaargeulonderhoud zout/aanleg - Basisniveau<br>Rijks waterstaat - Provincies - Gemeenten - Waterschappen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                  |                                          |                                           |                                           |                                            |                                                |
| Scheepstype                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                  | Periode 1<br>2022 tot en met 2024        |                                           | Periode 2<br>2025 tot en met 2027         |                                            | Periode 3<br>2028 tot en met 2029              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                  | Geen eis                                 | Geen eis                                  | Geen eis                                  | Minimaal emissies conform CCR II*          | Periode 4<br>vanaf 2030                        |
| Transportchip, sleep, duwen<br>pelboten, schuifboten, survey<br>schepen, kleine cutterzuigers**<br>overig klein varend materieel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ↑ Motoren        |                                          |                                           |                                           | Minimaal emissies conform CCR II*          | Minimaal emissies conform CCR II*              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ↑ Energiedragers | Minimaal 20% duurzame energiedragers     | Minimaal 35% duurzame energiedragers      | Minimaal 55% duurzame energiedragers      | Minimaal 65% duurzame energiedragers       | Minimaal 75% duurzame energiedragers           |
| Kraanschip, Cutterzuiger,<br>Bakkenzuigers, Beunschepen,<br>Heschepen, Werkschepen<br>Hopperzuiger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ↑ Motoren        |                                          |                                           |                                           | Minimaal emissies conform CCR II*          | Minimaal emissies conform<br>stage V (WP-IWA)* |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ↑ Energiedragers | Minimaal 20% duurzame energiedragers     | Minimaal 35% duurzame energiedragers      | Minimaal 55% duurzame energiedragers      | Minimaal 65% duurzame energiedragers       | Minimaal 75% duurzame energiedragers           |
| *Gecertificeerd CCR I t/m stage V (WP-IWA) of retrofit die voldoet aan de emissienormen conform CCR t/m stage V (WP-IWA)<br>** Kleine cutterzuigers zijn schepen die uitsluitend op zone 4 wateren worden ingezet<br>Toelichting 1: Niet geïnstalleerde mobiele werktuigen op vaartuigen vallen onder het transitiepad van Weg, Dijk, Spoor materieel (WDSM)<br>Toelichting 2: x% duurzame energiedragers: tenminste x% duurzame energiedragers conform REDII in het contractenportfolio van opdrachtgever<br>Toelichting 3: Emissieklasse normering heeft betrekking op het gewogen gemiddelde van het geïnstalleerde vermogen op het gehele schip, dus inclusief alle hoofd, hulp en werkmotoren.                                              |                  |                                          |                                           |                                           |                                            |                                                |

Figuur 13: Basisniveau transitiepad kustlijn zorg en vaargeulonderhoud.

### 5.3 Methode van doorrekening

De volgende stap is het bepalen van de impact van het transitiepad op de ontwikkeling van emissies in kustlijnzorg en vaargeulonderhoud. Het transitiepad stelt aan de verschillende scheepstypen eisen voor motoren met strengere emissienormen en groter aandeel van inzet van duurzame energiedragers voor de tijdsperiodes 1 tot en met 4.

De aanname is dat 100% van de opdrachten van deze schepen door publieke opdrachtgevers wordt uitgevoerd. In de praktijk kan dit afwijken, bijvoorbeeld in het geval van private kades of werk voor havenbedrijven. Alleen het effect van het 'peloton' scenario, oftewel 'basisniveau' transitiepad is doorgerekend, aangezien het onbekend is hoe groot het 'koplopers' aandeel zal zijn. Onzekerheid in de mate waarin de twee niveaus gaan gelden in de markt kan leiden tot uitstel van investeringen bij marktpartijen. Het zou kunnen dat wanneer zij snel kiezen voor inzet van Stage V, maar belangrijke aanbestedingen vereisen vanaf 2028 ZE, zij niet in aanmerking komen voor deze opdrachten. Zij kunnen hierbij beter wachten tot er meer duidelijkheid is vanuit de belangrijke opdrachtgevers.

De totale emissies in 2021 per vloot, zoet en zout, zijn opgesplitst over de scheepstypen in het transitiepad. Per periode, is de reductie in emissies per scheepstype ingeschat op basis van in het transitiepad opgestelde eisen. Voor de CO<sub>2</sub>-reductie is uitgegaan dat duurzame energiedragers tot 70% CO<sub>2</sub>-eq-reductie (WTW) leiden, omdat de leveringsketens van duurzame energiedragers nog niet volledig duurzaam zijn. In andere woorden, in het geval van 100% duurzame energiedragers zou er nog 30% van de huidige CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn. Voor de uitstoot van NO<sub>x</sub> en PM is op basis van de emissienorm-eisen een reductiepercentage per periode uitgerekend.

Met de reductiepercentages per emissie en scheepstype is een inschatting gemaakt van het reductie-effect over de verschillende periodes.

### 5.4 Resultaat van doorrekening

#### 5.4.1 Zoet

Tabel 26 toont het effect van het "peloton" transitiepad op emissies in 2030. Het transitiepad laat een sterke afname zien in de emissies. Voor CO<sub>2</sub> komt deze afname door het gebruik van biobrandstoffen. Hier is uitgegaan van geavanceerde biobrandstoffen met een WTW CO<sub>2</sub>-reductie van 70%. Bij NO<sub>x</sub> en PM loopt de reductie parallel aan de ingroei van Stage V.

Tabel 26: Effect van transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud op zoete vloot.

|                        | 2021  | 2030<br>autonoom | % t.o.v.<br>2021 | 2030<br>transitiepad | % t.o.v. 2021 |
|------------------------|-------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| CO <sub>2</sub> – Mton | 0,055 | 0,045            | -18%             | 0,021                | -61%          |
| NO <sub>x</sub> – kton | 0,47  | 0,43             | -10%             | 0,16                 | -67%          |
| PM – kton              | 0,013 | 0,011            | -17%             | 0,002                | -85%          |

#### 5.4.2 Zout

De effecten van het “peloton” scenario staan in Tabel 27. Het effect op CO<sub>2</sub> wordt veroorzaakt door de ingroei van geavanceerde biobrandstoffen. De reductie is lager dan bij de zoete waterbouw, omdat het aandeel ook lager is. Voor NO<sub>x</sub> hangt de reductie samen met de ingroei van Tier III, omdat Tier III geen norm stelt op fijnstof, wordt geen reductie in PM gerealiseerd.

Tabel 27: Effect van transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud op zoute vloot.

|                              | 2021  | 2030<br>autonoom | % t.o.v.<br>2021 | 2030<br>transitiepad | % t.o.v. 2021 |
|------------------------------|-------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| <b>CO<sub>2</sub> – Mton</b> | 0,21  | 0,20             | -5%              | 0,12                 | -45%          |
| <b>NO<sub>x</sub> – kton</b> | 2,8   | 2,1              | -27%             | 0,83                 | -70%          |
| <b>PM – kton</b>             | 0,067 | 0,067            | 0%               | 0,07                 | 0%            |

### 5.5 Haalbaarheid transitiepad Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud

#### 5.5.1 Zoet

In de analyse is aangenomen dat 100% van de opdrachten van deze schepen door publieke opdrachtgevers wordt uitgevoerd. In de praktijk kan dit afwijken (bijvoorbeeld in het geval van private kades of werk voor havenbedrijven). De analyse van de haalbaarheid van het ‘peloton’ scenario betreft met deze aanname ook alle schepen. Het is momenteel nog onduidelijk in welke mate de twee benoemde transitiepaden naast elkaar worden toegepast. Het pad voor de koplopers geldt voor “ambitieuze” opdrachtgevers. Onduidelijk is echter welk gedeelte van de opdrachtgevers dit pad zal volgen en in welke mate dit de investeringsbeslissing gaat beïnvloeden voor waterbouwers. Hoe groot de markt van “ambitieuze opdrachtgevers” is, bepaalt bijvoorbeeld of nul-emissie schepen volledig voor dergelijke opdrachtgevers kunnen worden ingezet. Als deze schepen maar een deel van de tijd voor “ambitieuze opdrachtgevers” worden ingezet, dan wordt investeren lastig.

Het transitiepad voor de zoete vloot lijkt haalbaar, wel met een uitdaging voor de motorvervanging van de vloot transport- en overige schepen. In de eerste 2 periodes stelt het pad geen eisen aan motortypes. De eisen voor motorvervanging in periode 3 vanaf 2028 en periode 4 vanaf 2030 bieden de bedrijven 6 jaar om 75% van de transport- en overige schepen te vervangen of vernieuwen.

In theorie is dat mogelijk, maar de vraag is wel of dit de juiste prioriteit is voor de bedrijven, door de relatief grote vloot van ca. 1000 ondersteunende schepen, met vaak relatief minder inzetintensiteit. De eisen voor emissienormen voor onder andere de kraanschepen, hopper- en cutterzuigers zijn haalbaar richting Stage V in 2030, hier is wel grootschalige ombouw en retrofitcampagne voor vereist. Met de kanttekening dat het een hele diverse vloot van materieel is, waar de haalbaarheid per scheepstype en/of machinetype kan verschillen, maar op vlootniveau lijkt dit haalbaar. Qua duurzame energiedragers is dit transitiepad haalbaar door ZE-oplossingen als elektrificatie voor kleinere schepen en voldoende inkoop van biobrandstoffen voor de overige schepen.

### 5.5.2 Zout

De onduidelijkheid die bestaat rondom de toepasbaarheid van de verschillende transitiepaden die is geconstateerd bij zoet, geldt nog in grotere mate bij zout door de dominantie van één aanbestedende partij.

Ook het transitiepad voor de vloot voor Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud lijkt haalbaar. De motoremissienormen in dit transitiepad met minimaal Tier III motoren in 2030 is haalbaar, mits de bedrijven voldoende investeringszekerheid geboden wordt, bijvoorbeeld via de contracten die met bedrijven worden gesloten (langere termijn contracten). Zeker voor zoute vaargeulonderhoud lijkt dit alleen mogelijk met gerichte campagne en ondersteuning. Het transitiepad qua duurzame energiedragers is haalbaar, mits er voldoende duurzame energiedragers beschikbaar zijn.

## 6 Transitiepad Energie

Een deel van de bouwactiviteiten voor de aanleg van energie-infrastructuur is ondergebracht in de transitiepaden voor mobiele werktuigen en bouwlogistiek (zie hoofdstukken 2 en 4). In het transitiepad Energie zijn maatregelen opgenomen voor offshore bouwactiviteiten. Specifiek gaat het hier om activiteiten voor de aanleg van het Net op Zee, aangezien het transitiepad Energie voor het offshore gedeelte op dit moment nog beperkt is tot dit gebied.

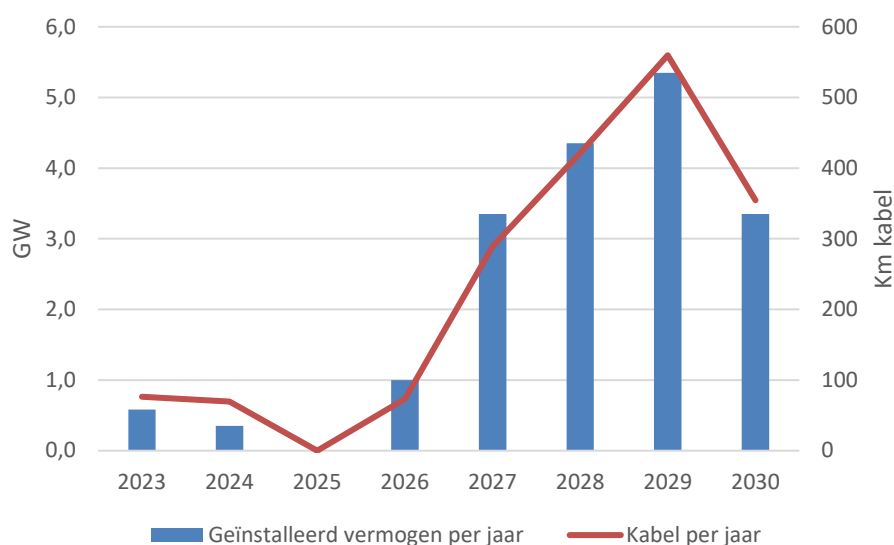
### 6.1 Uitgangssituatie

Voor het bepalen van de emissies van de vloot zijn een aantal stappen doorlopen:

- Er is informatie verzameld over de huidige en verwachte ontwikkeling van de bouwactiviteit voor net op zee en andere wind op zee activiteiten.
- Er is een inschatting gemaakt van het energiegebruik en de bijbehorende emissies gekoppeld aan de bouwactiviteit in de huidige situatie.
- Op basis van de verwachte ontwikkeling van de vlootsamenstelling is een inschatting gemaakt van de ontwikkeling van de uitstoot over de tijd.

Voor deze analyse is gebruik gemaakt van eerdere onderzoeken in het kader van SEB ( (Mensch, et al., 2022), (Harmsen, Merriënboer, Franssen, Mensch, & Steinmetz, 2023) en additionele input die we hebben ontvangen van TenneT en Primo Marine. Daarnaast zijn interviews gehouden met waterbouwers en is data over de vloot en het energiegebruik verkregen van hen.

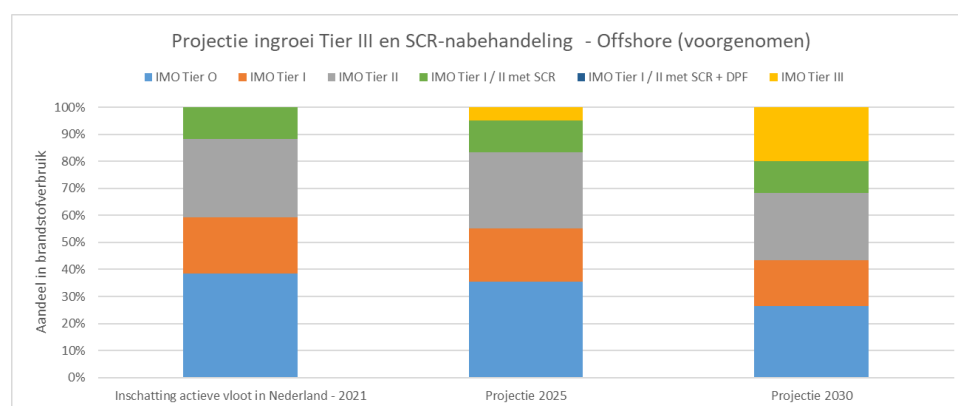
Om de omvang van net op zee activiteiten goed te kunnen duiden is een analyse gemaakt van de ontwikkeling van alle wind op zee offshore activiteiten. Hiervoor is door TenneT en Primo Marine, in het kader van de uitwerking van het transitiepad energie, een overzicht gemaakt van de Net op Zee activiteiten tot 2030. Op basis van lopende en geplande tenders komt naar voren dat er in de periode tot 2030 een groei plaats vindt van het geïnstalleerd vermogen van Wind op Zee van 2,5 naar 20,9 GW. Zoals blijkt uit onderstaande figuur is de verwachte activiteit in de jaren 2023 tot en met 2025 laag (in 2025 wordt zelfs geen bouwactiviteit verwacht). Daarna neemt de bouwactiviteit sterk toe (3 tot 5 GW per jaar in de periode 2027 tot en met 2030). Ook na 2030 lijkt deze groei door te zetten. In een kamerbrief in september 2022 werd de ambitie uitgesproken door te groeien naar 50 GW in 2040 en 70 GW in 2050. Voor Net op Zee activiteiten vooral het aantal kilometers kabel dat wordt geïnstalleerd lijdend voor de emissies. Het aantal te installeren kilometers is afhankelijk van de omvang van de projecten, maar ook de afstand van het park op zee tot de connectie aan de wal. Zoals blijkt uit onderstaande figuur is kan de omvang van het aantal te installeren kilometer per jaar sterk fluctueren.



Figuur 14: Installatie van geïnstalleerd vermogen van wind op zee installaties (in GW) en kabels (in km kabel per jaar) tussen 2023 en 2030.

Op basis van informatie uit Milieueffect rapportages (MER) hebben TenneT en Primo Marine een inschatting gemaakt van het energieverbruik en NO<sub>x</sub>-uitstoot van de verschillende Net op Zee projecten. De inzet en uitstoot verschillen sterk tussen de verschillende projecten door de hoeveelheid baggerwerkzaamheden die nodig zijn en de afstand van het wind op zee project tot het land. De informatie uit de verschillende MER gaan uit dat alle schepen voldoen aan dezelfde emissie-eisen (namelijk Tier II).

Op basis van vlootinformatie uit de nationale Emissieregistratie en interviews met een aantal waterbouwers komt naar voren dat de huidige vloot momenteel nog voor een groot gedeelte bestaat uit schepen met Tier 1 of zonder emissieklasse. Evenals bij de berekeningen van het Transitiepad Kustlijn zorg en Vaargeulonderhoud wordt er wel uitgegaan van een geleidelijk uitfasering van oudere schepen en een groei van het aandeel Tier III schepen. De uitgangspunten worden gepresenteerd in onderstaande figuur.



Figuur 15: Projectie van ingroei Tier III en SCR-nabehandeling bij schepen voor de aanleg van op zee en andere wind op zee activiteiten.

Op basis van het energieverbruik en de verwachte vlootontwikkeling is een inschatting gemaakt van de uitstoot van Net op Zee activiteiten. Deze zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 28: Inschatting emissies Net op Zee tussen 2023 en 2030

|                   | Kton CO <sub>2</sub><br>Net op zee | kton NO <sub>x</sub><br>Net op zee | Ton PM<br>Net op zee |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 2022              | 50                                 | 0,9                                | 9                    |
| 2023 <sup>1</sup> | 5                                  | 0,1                                | 1                    |
| 2024 <sup>1</sup> | 78                                 | 1,2                                | 15                   |
| 2025              | 0                                  | 0                                  | 0                    |
| 2026              | 23                                 | 0,3                                | 5                    |
| 2027              | 91                                 | 1,3                                | 19                   |
| 2028              | 135                                | 1,9                                | 28                   |
| 2029              | 183                                | 2,5                                | 39                   |
| 2030              | 116                                | 1,5                                | 24                   |

<sup>1</sup> De emissies voor 2023 en 2024 wijken (per km aangelegde kabel) sterk af van andere jaren wegens specifieke activiteiten.

Naast net op zee activiteit zijn ook andere bouwactiviteiten nodig voor de aanleg van wind op zee, namelijk de aanleg van de windparken zelf. Deze activiteit is nog niet opgenomen in de scope van SEB, maar leveren wel een bijdrage aan de emissies in de bouw. In dit rapport zijn de emissies voor de aanleg van windparken opgenomen, omdat deze activiteit mogelijk interessant is om op te nemen in een (latere) uitbreiding van het transitiepad.

Op basis van de nieuwe informatie over de ingroei van wind op zee tot 2030, is ook een nieuwe inschatting gemaakt van de emissies voor de aanleg van windparken op zee. Voor de inschatting van het energieverbruik is uitgegaan van de resultaten van verschillende MER-rapportages en gedetailleerde vlootinformatie vanuit waterbouwers zijn berekeningen uitgevoerd over totale energie inzet en uitstoot per type schip voor de verschillende projecten. Omdat ook voor installatie van windparken op zee geldt dat er grote verschillen kunnen zijn bij de uitstoot per project is besloten voor dit segment een bandbreedte aan te houden (zie (Mensch, et al., 2022)). De resultaten staan in onderstaande tabel.

Tabel 29: Inschatting emissies voor de aanleg windparken tussen 2023 en 2030

|      | Kton CO <sub>2</sub><br>windparken |     | Kton NO <sub>x</sub><br>windparken |     | Ton PM<br>windparken |     |
|------|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|----------------------|-----|
| 2022 | 115                                | 151 | 1,3                                | 1,7 | 24                   | 30  |
| 2023 | 52                                 | 68  | 0,6                                | 0,7 | 11                   | 14  |
| 2024 | 31                                 | 40  | 0,3                                | 0,4 | 7                    | 8   |
| 2025 | 0                                  | 0   | 0,0                                | 0,0 | 0                    | 0   |
| 2026 | 88                                 | 112 | 0,8                                | 1,1 | 19                   | 23  |
| 2027 | 292                                | 374 | 2,7                                | 3,6 | 63                   | 79  |
| 2028 | 375                                | 486 | 3,4                                | 4,5 | 82                   | 102 |
| 2029 | 457                                | 597 | 4,0                                | 5,3 | 100                  | 126 |
| 2030 | 283                                | 374 | 2,4                                | 3,2 | 63                   | 79  |

Aandachtspunt is dat er in de berekeningen van de verschillende MER-documenten wordt uitgegaan van een zeer hoge belasting van de motor voor alle activiteiten (80% tot 90% inzet van het maximale vermogen van het schip).

Er is veel onzekerheid over de precieze inzet van motoren tijdens het werk, maar ook bij andere factoren zoals de uren waarin de schepen worden ingezet.

Uit een check van scheepsdata van waterbouwers komt bijvoorbeeld naar voren dat de gemiddelde motorvermogens in de praktijk mogelijk iets lager uitvallen dan wat wordt aangegeven in de MER.

Het verdient de aandacht om het energieverbruik en bijbehorende emissies goed in beeld te krijgen.

## 6.2 Aangeleverde eisen transitiepad

De eisen voor de aanleg van net op zee staan in onderstaande tabel.

Tabel 30: Aangeleverde minimumeisen voor Net op Zee activiteiten in het Transitiepad Energie

| Emissie eis           | Periode 1<br>'23-24                                                                | Periode 2<br>'25-27                                                                | Periode 3<br>'28-29                                                                | Periode 4<br>'30                                                                   |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NO<sub>x</sub></b> | Gemiddeld 30% reductie t.o.v. IMO NO <sub>x</sub> Tier II voor alle schepen (*a/b) | Gemiddeld 40% reductie t.o.v. IMO NO <sub>x</sub> Tier II voor alle schepen (*a/b) | Gemiddeld 45% reductie t.o.v. IMO NO <sub>x</sub> Tier II voor alle schepen (*a/b) | Gemiddeld 50% reductie t.o.v. IMO NO <sub>x</sub> Tier II voor alle schepen (*a/b) |
| <b>CO<sub>2</sub></b> | Gemiddeld minimaal 10% duurzame energiedragers (*c)                                | Gemiddeld minimaal 20% duurzame energiedragers (*c)                                | Gemiddeld minimaal 40% duurzame energiedragers (*c)                                | Gemiddeld minimaal 60% duurzame energiedragers (*c)                                |

\*a: Reductie in NO<sub>x</sub> uitstoot is de gemiddelde (over alle schepen in een project, *gewogen naar energieverbruik*) reductie (in Nederlandse wateren) t.o.v. de situatie wanneer alle schepen Tier II schepen zijn.

\*b: Uitgezonderd zijn heavy-lift schepen

\*c: Percentage duurzame energiedragers als percentage van het energieverbruik van alle schepen die voor het project worden ingezet in Nederlandse wateren

## 6.3 Methode van doorrekening

Evenals bij de andere transitiepaden is een inschatting gemaakt van de effecten van het transitiepad op de ontwikkeling die is vastgesteld in paragraaf 6.1.

In de berekening is aangenomen dat het transitiepad zich alleen beperkt tot alle net op zee activiteiten en niet tot de aanleg van windparken.

De uitgangspunten van de berekeningen voor dit transitiepad zijn verder gelijkgesteld aan die van het transitiepad kustlijn- en vaargeulonderhoud (zie paragraaf 5.3).

## 6.4 Resultaat van doorrekening

De effecten van het transitiepad op de CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies staan in onderstaande tabel. In de tabel worden, anders dan in de andere hoofdstukken, de resultaten per jaar gepresenteerd.

Dit is gedaan omdat de emissies per jaar sterk verschillen door de grote verschillen in bouwactiviteiten. Dit is minder het geval in de andere transitiepaden.

Net als bij het transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud wordt het effect op CO<sub>2</sub> veroorzaakt door de ingroei van geavanceerde biobrandstoffen. Voor NO<sub>x</sub> hangt de reductie samen met de ingroei van Tier III. Omdat Tier III geen norm stelt op fijnstof, wordt geen reductie in PM gerealiseerd.

In de referentiesituatie nemen de CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies in de komende jaren sterk toe door een groei van de bouwactiviteit. Het gebruik van duurzame energiedragers leidt tot een afname van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van 42% in 2030 ten opzichte van het autonome pad. Het effect op CO<sub>2</sub> van het transitiepad is gelijk aan het ingroeipad van het transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud.

De reductiepercentages voor NO<sub>x</sub>-emissies verschillen van jaar op jaar. Dit heeft er mee te maken dat de gestelde eis voor een aantal jaar gelijk is, maar elk jaar de gemiddelde uitstoot in de referentie afneemt. De gemiddelde reductie in het laatste jaar van een periode is daarom lager dan die in een eerste jaar.

Door de sterke toename van de emissies in het referentiescenario wordt in de algemene doelstelling van 60% absolute NO<sub>x</sub> reductie uit het programma schoon en emissieloos bouwen ten opzichte van de huidige absolute uitstoot niet gehaald. De groei van de bouwactiviteiten voor net op zee zijn hiervoor te hoog.

In de analyse is nog geen inzage in de bijdrage van individuele schepen. Het is hiermee onbekend welk effect het uitsluiten van heavy lift operaties heeft. Uit eerdere MER studies komt naar voren dat deze schepen een bijdrage van 10% tot 15% van het energieverbruik in een project kunnen hebben. Mogelijk is de gepresenteerde reductie hiermee een onderschatting.

Tabel 31: Effect van transitiepad energie op de emissies van net op zee.

|      | CO <sub>2</sub> autonoom<br>Mton | CO <sub>2</sub> Reductie<br>Transitiepad<br>t.o.v. autonoom | NO <sub>x</sub> autonoom<br>Kton | NO <sub>x</sub> Reductie<br>transitiepad<br>t.o.v. autonoom |
|------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2022 | 0,05                             |                                                             | 0,9                              |                                                             |
| 2023 | 0,01                             | -7%                                                         | 0,1                              | -42%                                                        |
| 2024 | 0,08                             | -7%                                                         | 1,2                              | -39%                                                        |
| 2025 | 0                                | -                                                           | 0                                | 0%                                                          |
| 2026 | 0,02                             | -14%                                                        | 0,3                              | -43%                                                        |
| 2027 | 0,09                             | -14%                                                        | 1,3                              | -46%                                                        |
| 2028 | 0,14                             | -28%                                                        | 1,9                              | -44%                                                        |
| 2029 | 0,18                             | -28%                                                        | 2,5                              | -47%                                                        |
| 2030 | 0,12                             | -42%                                                        | 1,5                              | -44%                                                        |

Bovenstaande resultaten betreffen alleen de net op zee activiteit. De emissies van de aanleg van windparken zijn niet opgenomen in het transitiepad.

Het effect op de emissies van de totale activiteit voor wind op zee is hiermee kleiner (zie onderstaande tabel). De emissies verschillen sterk van jaar op jaar en zijn afhankelijk van de omvang van de projecten. De verwachting is dat, gezien de ambities voor wind op zee tot 2050, dat ook na 2030 de activiteiten hoog zijn.

Tabel 32: Effect van transitiepad energie op gehele emissies wind op zee (aanleg windparken en net op zee)

|                                      | 2022  | 2030<br>autonoom | % t.o.v.<br>2022 | 2030<br>transitiepad | % t.o.v. 2022 |
|--------------------------------------|-------|------------------|------------------|----------------------|---------------|
| <b>Net op zee activiteiten</b>       |       |                  |                  |                      |               |
| <b>CO<sub>2</sub> – Mton</b>         | 0,05  | 0,12             | +135%            | 0,07                 | +36%          |
| <b>NO<sub>x</sub> – kton</b>         | 0,9   | 1,5              | +64%             | 0,8                  | -8%           |
| <b>PM – kton</b>                     | 0,009 | 0,024            | +161%            | 0,024                | +161%         |
| <b>Aanleg windparken (gemiddeld)</b> |       |                  |                  |                      |               |
| <b>CO<sub>2</sub> – Mton</b>         | 0,13  | 0,33             | +147%            | 0,33                 | +147%         |
| <b>NO<sub>x</sub> – kton</b>         | 1,5   | 2,8              | +91%             | 2,8                  | +91%          |
| <b>PM – kton</b>                     | 0,027 | 0,071            | +161%            | 0,071                | +161%         |

## 6.5 Haalbaarheid transitiepad Energie

Het transitiepad voor de vloot voor energie is haalbaar. De motoremissienormen in dit transitiepad met minimaal Tier III motoren in 2030 is haalbaar en wordt voor een groot gedeelte al voorbereid in tenders door TenneT. Daarnaast is er ook een synergie met het transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud, aangezien een deel van het werk baggeractiviteiten betreft. Ook de ingroei van duurzame energiedragers is haalbaar. De gevraagde hoeveelheid brandstof is relatief overzichtelijk, en duurzame brandstoffen zijn momenteel goed beschikbaar in de Nederlandse zeehavens.

## 7 Samenvattend overzicht op emissies

In deze sectie wordt inzicht gegeven in de totale effecten van de emissie-eisen over de verschillende materieeltypen heen. Voor het effect op emissies zijn de effecten van de emissie-eisen op de NO<sub>x</sub>- CO<sub>2</sub>-, en PM-emissies (Tank-To-Wheel) in kaart gebracht. Hierbij is het effect van de routekaart bepaald voor het zichtjaar 2030 en is een vergelijking gemaakt met:

- de verwachte uitstoot in het autonome pad in 2030;
- de uitstoot in 2018.

2018 is het referentiejaar voor de gestelde ambities op het gebied van NO<sub>x</sub>-reductie (60% NO<sub>x</sub>-reductie in de bouw ten opzichte van 2018), maar is ook voor fijnstof en CO<sub>2</sub> als referentiejaar genomen.

### 7.1 Effect op NO<sub>x</sub>-emissies

Tabel 33 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de NO<sub>x</sub>-uitstoot van de verschillende materieeltypen in de bouw in het autonome scenario en het additionele reductiepotentieel van de emissie-eisen in het minimumniveau voor mobiele werktuigen, het basisniveau voor bouwtransport en kustlijnzorg en vaargeulonderhoud en het ambitieuze niveau voor spoormaterieel.

Tabel 33: Effect van emissie-eisen op NO<sub>x</sub>-emissies per materieeltype.

| Maatregel                                | Uitstoot 2018 [kton] | Autonome verandering 2030 [kton / % t.o.v. 2018] |             | Autonoom + reductie transitiepaden 2030 [kton / % t.o.v. 2018] |                        |
|------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|
| Mobiele werktuigen                       | 12,8***              | -2,9                                             | -23%        | -6,6 (-8,2)****                                                | -51% (-64%)****        |
| Bouwtransport                            | 7,8                  | -4,4                                             | -57%        | -4,6                                                           | -60%                   |
| Spoormaterieel                           | 0,2**                | -0,0                                             | -10%        | -0,1                                                           | -79%                   |
| Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud*       | 3,3**                | -0,8                                             | -24%        | -2,3                                                           | -70%                   |
| <b>Totaal excl. transitiepad energie</b> | <b>24,1</b>          | <b>-8,1</b>                                      | <b>-33%</b> | <b>-13,6 (-15,1)****</b>                                       | <b>-56% (-62%)</b>     |
| Net op zee                               | 0,9**                | +0,6                                             | +64%        | -0,1                                                           | -8%                    |
| <b>Totaal excl. aanleg windparken</b>    | <b>25,0</b>          | <b>-7,5</b>                                      | <b>-30%</b> | <b>-13,5 (-15,0)****</b>                                       | <b>-54% (-60%)</b>     |
| Aanleg windparken                        | 1,5**                | +1,3                                             | +91%        | +1,3                                                           | +91%                   |
| <b>Totaal</b>                            | <b>26,5</b>          | <b>-6,2</b>                                      | <b>-23%</b> | <b>-12,3 (-13,8)****</b>                                       | <b>-46% (-52%)****</b> |

\*\* Voor spoormaterieel, kustlijnzorg en vaargeulonderhoud en wind op zee is geen data bekend over het verloop in de tijd, 2018 is daarom gelijk gesteld aan 2020/ 2021/ 2022

\*\*\* Niet-geschaalde emissies

\*\*\*\* Bij adequate handhaving op goedwerkende SCR-katalysatoren

De totale autonome afname ten opzichte van 2018 bedraagt 23%. Deze wordt veroorzaakt door een ingroei van schoon materieel en is het grootst bij wegtransport (met name ingroei van Euro 6-bestelauto's). De autonome afname wordt geremd door de toename van de emissies van wind op zee. Zonder deze post is de autonome afname 33%. Zoals wordt aangegeven in paragraaf 6.4 naar voren verschillen de emissies van wind op zee sterk van jaar op jaar.

Als de emissie-eisen voor de materieeltypen worden doorgevoerd, dan neemt de NO<sub>x</sub>-reductie potentieel verder af tot ca. 46%. Het additionele reductiepotentieel is (absoluut gezien) het grootste bij mobiele werktuigen. Het additionele effect van de emissie-eisen voor bouwtransport is laag, doordat de eisen alleen van toepassing zijn op overheidsaanbestedingen. De afname wordt geremd door de toename van emissies in wind op zee. Zonder deze post bedraagt de afname 56%.

## 7.2 Effect op CO<sub>2</sub>-emissies

Tabel 34 presenteert de verwachte ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verschillende materieeltypen in de bouw in het autonome scenario en het additionele reductiepotentieel van de transitiepaden.

Tabel 34: Effect van emissie-eisen op CO<sub>2</sub>-emissies per materieeltype.

| Maatregel                                | Uitstoot 2018 [Mton] | Autonome afname 2030 [Mton / % t.o.v. 2018] |            | Autonoom + reductie transitiepaden 2030 [Mton / % t.o.v. 2018] |             |
|------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------|-------------|
| Mobiele werktuigen                       | 1,85***              | -0,04                                       | -2%        | -0,43                                                          | -23%        |
| Bouwtransport                            | 1,75                 | +0,02                                       | +1%        | -0,10                                                          | -6%         |
| Spoormaterieel                           | 0,02**               | -0,00                                       | -0%        | -0,01                                                          | -55%        |
| Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud        | 0,27**               | -0,02                                       | -8%        | -0,13                                                          | -48%        |
| <b>Totaal excl. transitiepad energie</b> | <b>3,87</b>          | <b>-0,04</b>                                | <b>-1%</b> | <b>-0,66</b>                                                   | <b>-17%</b> |
| Net op zee                               | 0,05**               | +0,06                                       | +135%      | +0,02                                                          | +36%        |
| <b>Totaal excl. aanleg windparken</b>    | <b>3,82</b>          | <b>+0,02</b>                                | <b>+1%</b> | <b>-0,64</b>                                                   | <b>-17%</b> |
| Aanleg windparken                        | 0,13**               | +0,20                                       | +147%      | +0,20                                                          | +147%       |
| <b>Totaal</b>                            | <b>4,05</b>          | <b>+0,22</b>                                | <b>+5%</b> | <b>-0,44</b>                                                   | <b>-11%</b> |

\*\* Voor spoormaterieel, kustlijnzorg en vaargeulonderhoud en wind op zee is geen data bekend over het verloop in de tijd, 2018 is daarom gelijk gesteld aan 2020/ 2021/ 2022

\*\*\* Niet-geschaalde emissies

In het autonome pad is er een zeer geringe toename van CO<sub>2</sub>-emissies. De emissie-eisen voor de verschillende materieeltypen leiden tot een potentiële afname van 0,45 Mton CO<sub>2</sub> (11%). Het grootste effect wordt veroorzaakt door de eisen voor mobiele werktuigen (0,43 Mton). Als aan de eisen voor mobiele werktuigen wordt voldaan kunnen de doelstellingen uit het Klimaatakkoord (0,4 Mton) worden behaald. De afname wordt geremd door de toename van emissies door de aanleg van wind op zee.

### 7.3 Effect op PM-emissies

De verwachte ontwikkeling van de PM-uitstoot wordt in Tabel 35 weergegeven voor de verschillende materieeltypen in het autonome scenario en het additionele reductiepotentieel door de emissie-eisen.

Tabel 35: Effect van emissie-eisen op PM-emissies per materieeltype.

| Maatregel                                | Uitstoot 2018 [kton] | Autonome afname 2030 [kton / % t.o.v. 2018] |             | Autonoom + reductie transitiepaden 2030 [kton / % t.o.v. 2018] |             |
|------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------|-------------|
| Mobiele werktuigen                       | 0,60***              | -0,43                                       | -71%        | -0,56                                                          | -93%        |
| Bouwtransport                            | 0,29                 | -0,09                                       | -31%        | -0,1                                                           | -32%        |
| Spoormaterieel                           | 0,01**               | -0,0                                        | -10%        | -0,01                                                          | -98%        |
| Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud        | 0,08**               | -0,0                                        | -3%         | -0,01                                                          | -14%        |
| <b>Totaal excl. transitiepad energie</b> | <b>0,90</b>          | <b>-0,52</b>                                | <b>-58%</b> | <b>-0,66</b>                                                   | <b>-73%</b> |
| Net op zee                               | 0,01                 | +0,02                                       | +161%       | +0,02                                                          | +161%       |
| <b>Totaal excl. aanleg windparken</b>    | <b>0,91</b>          | <b>-0,50</b>                                | <b>-55%</b> | <b>-0,64</b>                                                   | <b>-70%</b> |
| Aanleg windparken                        | 0,04                 | +0,04                                       | +161%       | +0,04                                                          | +161%       |
| <b>Totaal</b>                            | <b>0,94</b>          | <b>-0,46</b>                                | <b>-48%</b> | <b>-0,60</b>                                                   | <b>-64%</b> |

\*\* Voor spoormaterieel, kustlijnzorg en vaargeulonderhoud en wind op zee is geen data bekend over het verloop in de tijd, 2018 is daarom gelijk gesteld aan 2020/ 2021/ 2022

\*\*\* Niet-geschaalde emissies

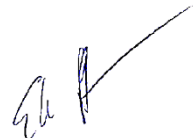
De reductie in het autonome pad en als gevolg van de emissie-eisen vindt met name plaats bij de mobiele werktuigen door ingroei van schonere machines met roetfilter. In het bouwtransport is de PM-uitstoot in de jaren voor 2018 reeds sterk afgenomen door de ingroei van schonere vrachtwagens (vanaf Euro VI) en bestelwagens (vanaf Euro 5) met een roetfilter.

## 8 Bibliografie

- Dellaert, S., Van Mensch, P., Bhoraskar, B., & Van der Mark, P. (2021). *Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland*. TNO 2021 R11086 .
- EICB en TNO. (2021). *Toekomst Duurzame Binnenvaart*.
- Fransen, R., Rondaij, A., Merriënboer, S. v., Harmsen, J., Mensch, P. v., & Vries, J. d. (2023). *Transitiepaden Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB)*. TNO.
- Harmsen, J., & Fransen, R. (2021). *Verkenning duurzaamheidsopties zoete waterbouw*.
- Harmsen, J., Merriënboer, S. v., Fransen, R., Mensch, P. v., & Steinmetz, M. (2023). *Verbeteren data voor onderbouwing programma Schoon en Emissieloos bouwen*. TNO 2023 R11094.
- Hulskotte, J., & Verbeek, R. (2009). *Emissiemodel Mobiele Machines gebaseerd op machineverkoop in combinatie met brandstof Afzet (EMMA)*. Utrecht: TNO-034-UT-2009-01782\_RPT-ML.
- Ligterink, N., Eijk, v. E., & Holmes, G. (2021). *MaVe Action Emission Monitoring and Periodic Inspection of Mobile Machines*. TNO.
- Mensch, P. v., Elstgeest, M., Kranendonk, M., & Paschinger, P. (2023). *Pilot project Emissie Monitoring en Periodieke Keuring (EMPK) van bouwmachines*. TNO.
- 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.
- Mulder, H., Verbeek, M., Tol, D., Mensch, P., Rondaij, A., Uslu, A., . . . Harmsen, J. (2022). *TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022*. TNO.
- National Renewable Energy Laboratory. (2021). *Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage: 2021 Update*. Golden, CO: National Renewable Laboratory.
- PBL. (2021). *Klimaat- en Energieverkenning*. Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL. (2022). *Klimaat en Energieverkenning 2022*. Planbureau voor de Leefomgeving.
- SEB. (2023). *Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen - versie 10-2-2023*.
- TNO. (2021). *Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel- en vrachtvoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040*. Den Haag: TNO.
- TNO. (2023 (TBP)). *TNO (2023), Schoon en Emissieloos Bouwen - Transitiepad Energie voor Net op Zee activiteit*.
- Tol, D., & Verbeek, R. (2021). *Scenarioberekening van het bereik en emissie-effect van de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel*. TNO 2021 R12244.
- Transport & Environment. (2021). *How to decarbonise long-haul trucking in Germany. An analysis of available vehicle technologies and their associated costs*.

## 9 Ondertekening

Den Haag, 19 oktober 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'EH' followed by a long, sweeping horizontal stroke.

Ellen Hofbauer  
Plv Research Manager

TNO

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Annette Rondaij' in a cursive style.

Annette Rondaij  
Auteur