

TNO-rapport**TNO 2023 R11035****Transitiepaden Schoon en Emissieloos
Bouwen (SEB)****Mobility & Built Environment**Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haagwww.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	5 juni 2023
Auteur(s)	Ruben Fransen, Annette Rondaij, Pim van Mensch, Siem van Merriënboer, Jorrit Harmsen, Janneke de Vries
Exemplaarnummer	2023-STL-REP-100349593
Aantal pagina's	46 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectnaam	SEB verlenging 2022
Projectnummer	060.53495

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

1	Inleiding	3
2	Mobiele werktuigen	5
2.1	Uitgangssituatie	5
2.2	Aangeleverde eisen minimum- en basisniveau	10
2.3	Methode van doorrekening	12
2.4	Resultaat van doorrekening	15
2.5	Haalbaarheid	20
3	Specialistisch spoormaterieel	24
3.1	Uitgangssituatie	24
3.2	Aangeleverde eisen ambitieuze niveau	25
3.3	Methode van doorrekening	25
3.4	Resultaat van de doorrekening	26
3.5	Haalbaarheid	27
4	Bouwtransport	30
4.1	Uitgangssituatie	30
4.2	Aangeleverde eisen basisniveau	31
4.3	Methode van doorrekening	32
4.4	Resultaat van doorrekening	32
4.5	Haalbaarheid basisniveau bouwtransport	33
5	Transitiepad kustlijnzorg & vaargeulonderhoud	35
5.1	Uitgangssituatie	35
5.2	Aangeleverde eisen basisniveau	37
5.3	Methode van doorrekening	39
5.4	Resultaat van doorrekening	39
5.5	Haalbaarheid transitiepad waterbouw	40
6	Samenvattend overzicht	42
6.2	Effect op CO ₂ -emissies	43
6.3	Effect op PM-emissies	43
7	Bibliografie	45
8	Ondertekening	46

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 tijdsperiode zijn eisen voorgeschreven om de inzet van bouwmaterieel te verduurzamen. Daaraan zijn doelstellingen op het gebied van CO₂ en luchtverontreinigende stoffen (stikstof 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_x, fijnstof en CO₂. 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.

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. Om deze reden is de impact van de ambitieuze niveaus niet doorgerekend, behalve voor spoorbouwmaterieel; daarvoor is aangenomen dat alle projecten 'koploper'-projecten zijn.

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 rekenmethodiek¹. 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 stikstofreductie in de bouwsector.²

¹ 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).

² Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland, TNO rapport 2021 R11086.

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)bouwoer tuigen 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. 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
NO_x (kton)	11,0 (+2,0)	10,1 (+1,8)
PM₁₀ (ton)	497 (+112)	414 (+92)
CO₂ (Mton)	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 ₂ (Mton)	NO _x (kton)	PM ₁₀ (ton)	NH ₃ (ton)
Energie infra	0,06 (4%)	0,37 (4%)	16 (4%)	2 (4%)
Weg, dijk en spoor**	0,74 (48%)	4,73 (47%)	201 (48%)	26 (49%)
Woningen en utiliteit	0,73 (48%)	5,00 (49%)	197 (48%)	25 (47%)
Totaal	1,5**^{+0.33}	10,1**^{+1.8}	414**⁺⁹²	54**⁺¹²

* 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 NH₃ relatief beperkt zijn ten opzichte van de NO_x-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 NH₃-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 NH₃ 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 stikstof en fijnstof worden gesteld). Onderstaande tabel laat per vermogenscategorie zien wat per ingangjaar de geldende Stage-norm is. De Europese wetgeving specificeert twee implementatiedatums:

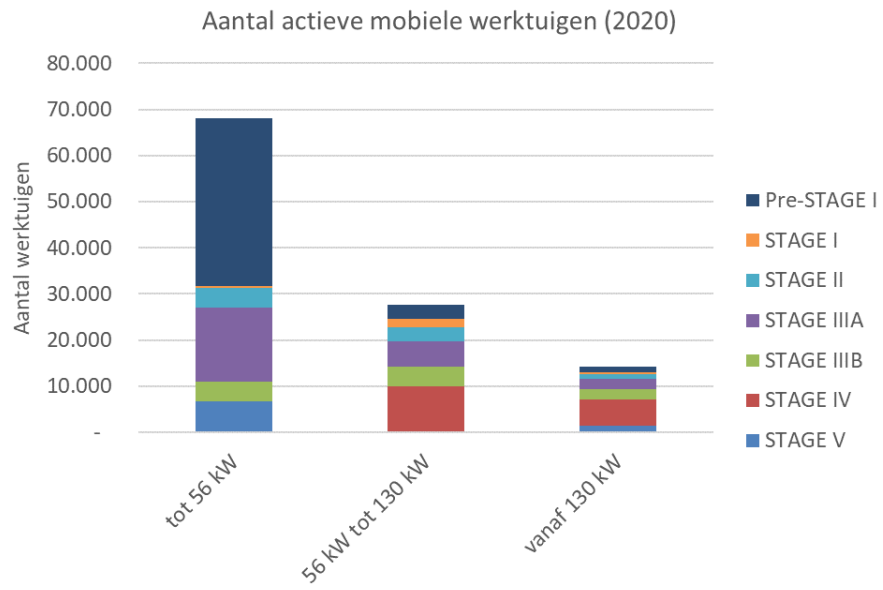
- 'Typegoedkeur': verplichte toepassingsdatum van de fasenorm voor nieuwe EU-typegoedkeuring van motoren;
- 'In de handel': verplichte toepassingsdatum van de fasenorm voor het in de handel brengen van motoren.

Tabel 3: Ingangsdata van Stage-normen per vermogenscategorie volgens de Europese wetgeving³. 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'.

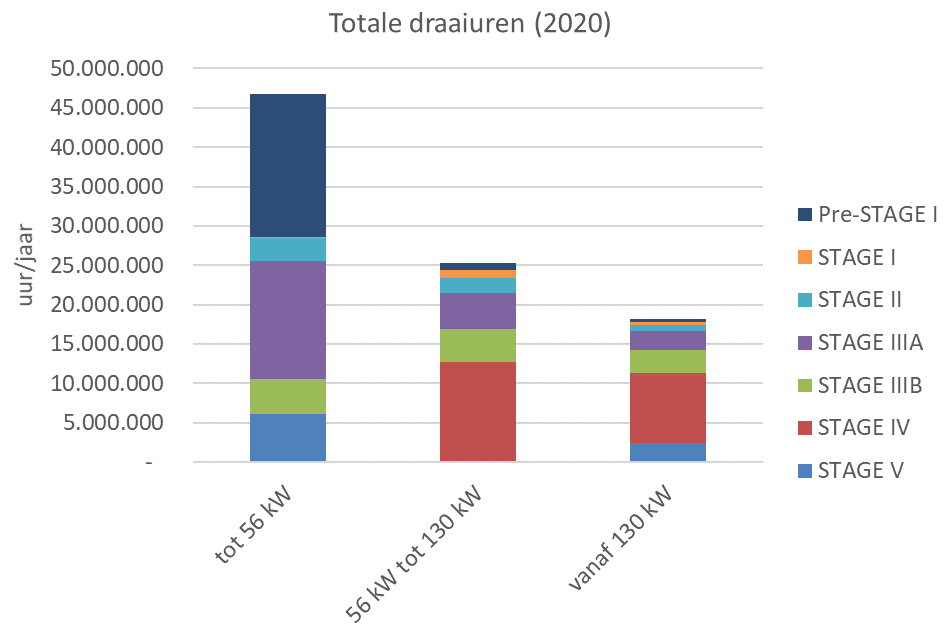
	Stage I	Stage II	Stage IIIa	Stage IIIb	Stage IV	Stage V
<19kW	-	-	-	-	-	T: 1-2018 H: 1-2019
18/19 - 37 kW	-	T: 1-2000 H: 1-2001	T: 1-2006 H: 1-2007	-	-	T: 1-2018 H: 1-2019
37 - 56 kW	T: 7-1998 H: 4-1999	T: 1-2003 H: 1-2004	T: 1-2007 H: 1-2008	T: 1-2012 H: 1-2013	-	T: 1-2018 H: 1-2019
56 - 75 kW				T: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

³ 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 minimum- en basisniveau

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

Tabel 4: Verplicht minimumniveau voor mobiele werktuigen.

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

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

Na een beschrijving van het juridisch kader wordt in de volgende secties de impact van het minimum- en basisniveau op emissies uitgewerkt. De impact van het ambitieuze niveau, dat moet gaan gelden voor een deel van de publieke opdrachtgevers en "koplopersprojecten", is in deze studie niet getoetst op impact op emissies en haalbaarheid aangezien niet bekend is wat de grootte is van de "koplopersgroep".

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_x-reductie in 2030⁴. 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 vergunning plichtige 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.

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 worden⁵. 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.

2.3 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.

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

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

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 materieel⁶) 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_x- en NH₃-emissies noodzakelijk, zie (van Mensch et al, 2023) voor mogelijkheden rondom emissie-monitoring.

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.

⁶ 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.

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 geregistreerde 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 CO₂, NO_x 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.

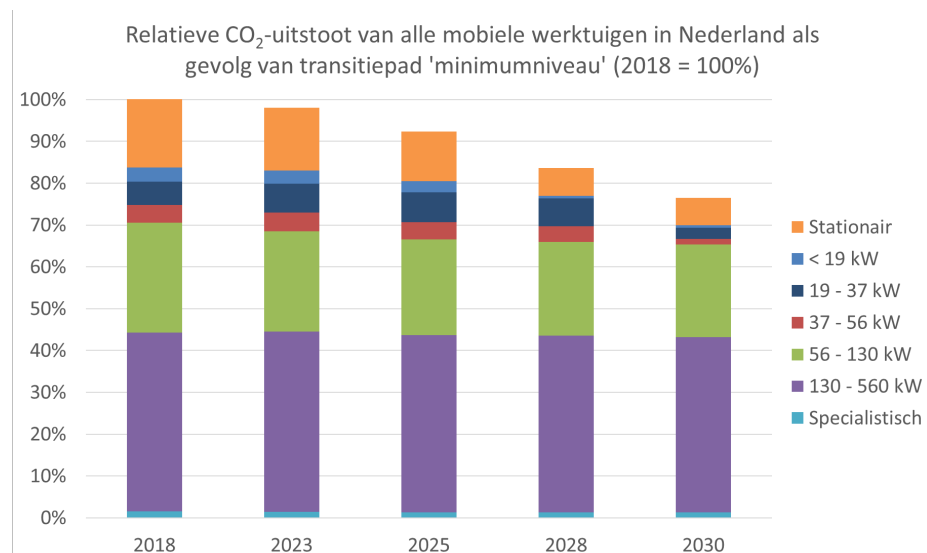
2.4.1 Impact op CO₂-uitstoot - minimumniveau

Het minimumniveau draagt bij aan een potentiële CO₂-reductie van ca. 23% in 2030 ten opzichte van 2018 (zie Tabel 6 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 CO₂-emissies in deze categorieën beperkt is. Schonere en nieuwere machines zijn over het algemeen zuiniger dan oudere machines (en stoten daarom minder CO₂ uit), maar dit verschil is beperkt ten opzichte van uitstootvrij materieel.

Tabel 6: CO₂-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%
Totaal	100%	97%	93%	84%	77%



Figuur 3: Potentiële reductie van CO₂-emissies in 2030 ten opzichte van 2018 als gevolg van het minimumniveau.

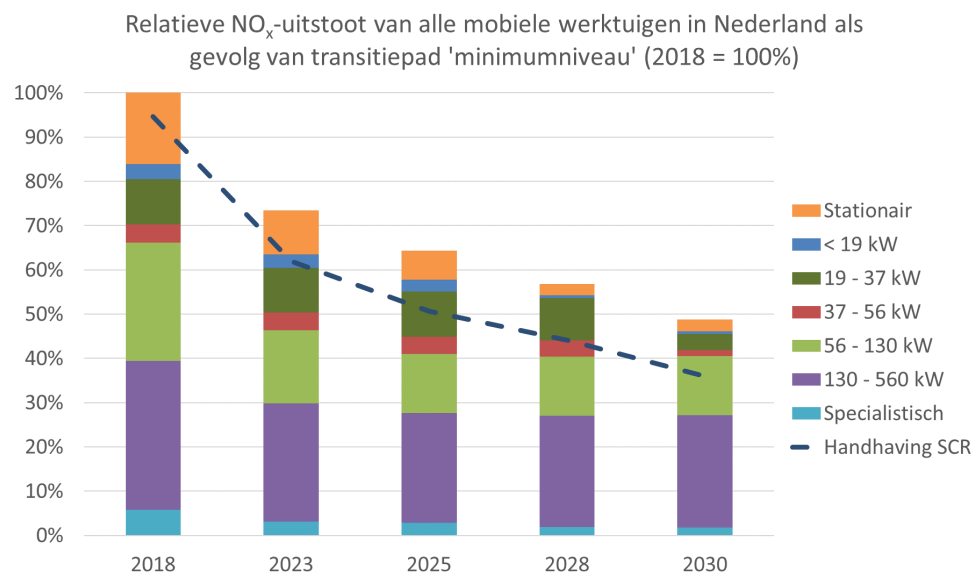
2.4.2 Impact op NO_x-uitstoot - minimumniveau

De potentiële impact van het minimumniveau, inclusief de autonome verjonging, op de uitstoot van NO_x in 2030 is ca. 51% reductie ten opzichte van 2018 (Tabel 7). 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 7: NO_x-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%
Totaal	100%	73%	64%	57%	49%

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_x-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_x-emissies in 2030 ten opzichte van 2018 als gevolg van het minimumniveau.

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

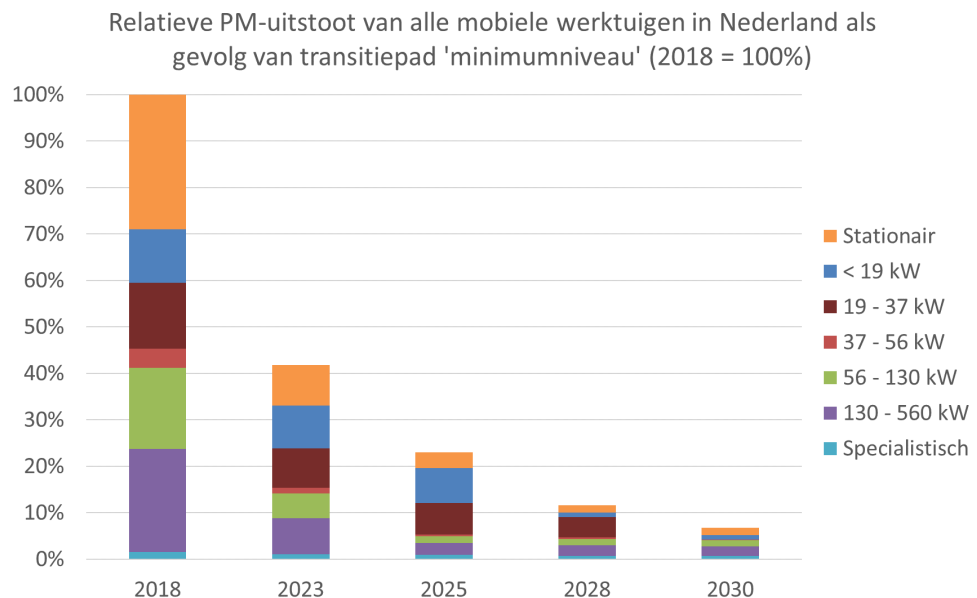
De uitstoot van fijnstof is in 2030 als gevolg van het minimumniveau, inclusief de autonome verjonging, met potentieel ca. 93% gereduceerd ten opzichte van 2018 (Tabel 8). Als gevolg van autonome vlootverjonging (los van de emissie-eisen in de routekaart) wordt een reductie van ca. 71% verwacht in 2030 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 8: 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%
Totaal	100%	42%	23%	12%	7%

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 t.o.v. 2018 als gevolg van het minimumniveau.

2.4.4 Basisniveau

In het geval dat alleen het basisniveau wordt aangehouden is de 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 9 laat in een overzicht zien hoe de emissies bij het basisniveau verschillen ten opzichte van de emissies bij het minimumniveau.

Tabel 9: Verschil in emissies in 2030 ten opzichte van. 2018 tussen het basis- en minimumniveau.

2030 t.o.v. 2018	Basisniveau	Minimumniveau
CO ₂	84%	77%
NO _x	59%	49%
PM	17%	7%

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 10 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, veelal gebaseerd op economische haalbaarheid en daarmee op normale afschrijving van bouw materieel. Momenteel is deze implementatietijd nog niet bekend. 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 10 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 10: Geweerd materieel per periode per vermogensklasse bij het minimumniveau.

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

De haalbaarheid van 100% uitstootvrije machines in 2033 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 bouw materieel. 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 kabelaansluiting;
- 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 bouw materieel 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.
 - o 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

subsidiereregeling is niet toereikend voor de aandelen ZE zoals in de routekaart opgenomen.

- Materieel dient qua praktische toepasbaarheid een hele werkdag inzetbaar te zijn.
 - o 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.

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 11). 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 11: Emissies van spoor-specialistisch materieel in 2020.

Spoor-specialistisch materieel	2020
NO _x	0,14 tot 0,22 kton
PM ₁₀	4 tot 6,5 ton
CO ₂	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 12 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 12: Aantallen en emissies per categorie spoor-specialistisch materieel.

Categorie			Aantal	NO _x	PM10	CO ₂
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	Periode 1 2023 tot en met 2024	Periode 2 2025 tot en met 2027	Periode 3 2028 tot en met 2029	Periode 4 Vanaf 2030
Specialistisch spoo materieel (werktuigen)				
Bouwmaterieel				
Mini spoo materieel (<19 kW)	Autonome ontwikkeling (ambitie 20% ZE)	Ambitie: 80% ZE	100% ZE	100% ZE
Middelzwaar spoo materieel (tot 130kW; met name krollen)	Maatwerk/autonome ontwikkeling	Stage IV + roetfilter	Stage IV + roetfilter	Ingroei naar 100% ZE
Specialistisch/zwaar spoo materieel (>130 kW)	Stimuleren ingroei ZE	Ambitie: 20% ZE	Ambitie: 50% ZE	
	Onderzoek / ontwikkeling verduurzamingsopties (retrofit, ZE/hybride)	Toepassing SCR+roetfilter	Eis: minimaal SCR+roetfilter	Eis: minimaal SCR+roetfilter
		Ambitie ZE: min. 1 ZE-stopmachine	Ingroei ZE: ambitie 10-20% ZE	Doorgroeien naar >50% ZE (2035-2040)
Rail-wegvoertuigen en bouwlogistiek*				
Middelzware rail-weg bussen (N1; <3.500kg)	Stimuleren ingroei ZE of hybride	Minimaal Euro 6/Gd, hybride of ZE	Minimaal Euro 6/Gd, ZE of hybride ZE (voor ZE-stadzones)	Eis: 100% ZE
Middelzwaar rail-weg materieel (N2/3; > 3.500kg)	Stimuleren ingroei ZE of hybride	Minimaal Euro VI, hybride of ZE	Minimaal Euro VI, ZE of hybride ZE (voor ZE-stadzones)	Minimaal ZE of hybride ZE (voor ZE-stadzones)
Transport van materialen naar de bouwplaats m.b.v. diesellocs (bouwlogistiek)	Onderzoek / ontwikkeling verduurzamingsopties (retrofit, ZE/hybride)	Toepassing SCR+roetfilter	Toepassing SCR+roetfilter	Toepassing SCR+roetfilter
	Procesmaatregelen	Ingroei hybride / ZE	Ambitie: 20% ZE	Ambitie: >50% ZE
		Procesmaatregelen	Procesmaatregelen	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 spoor specialistisch 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.

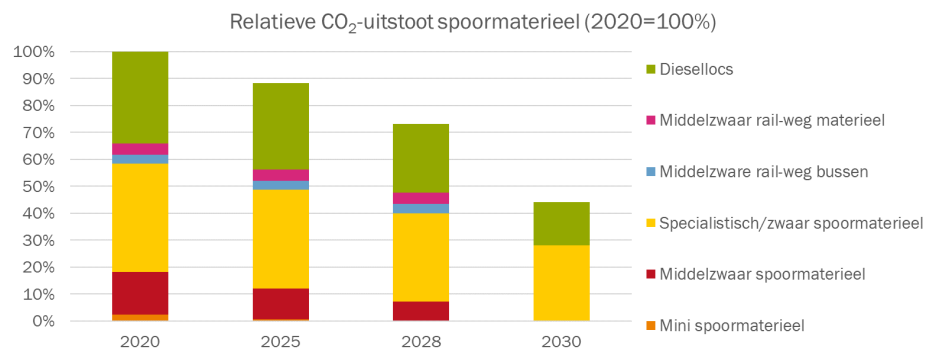
Voor middelzwaar spoo materieel is in de berekening aangenomen dat 100% van het materieel ZE is in 2030 (in de routekaart staat dit beschreven als 'ingroei naar 100% ZE').

Voor specialistisch/zwaar spoo materieel 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.

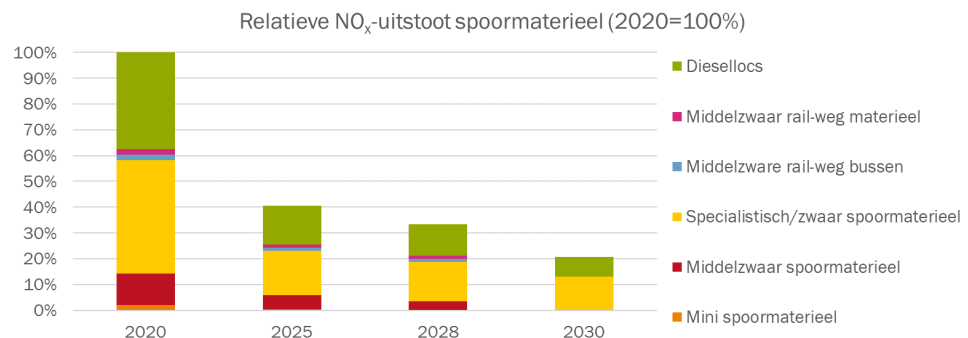
3.4 Resultaat van de doorrekening

Voor 2030 wordt ca. 55% reductie in CO₂-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: CO₂-reductie voor 2025, 2028 en 2030 ten opzichte van 2020 van spoorespecialistisch materieel ten gevolge van het ambitieuze niveau.

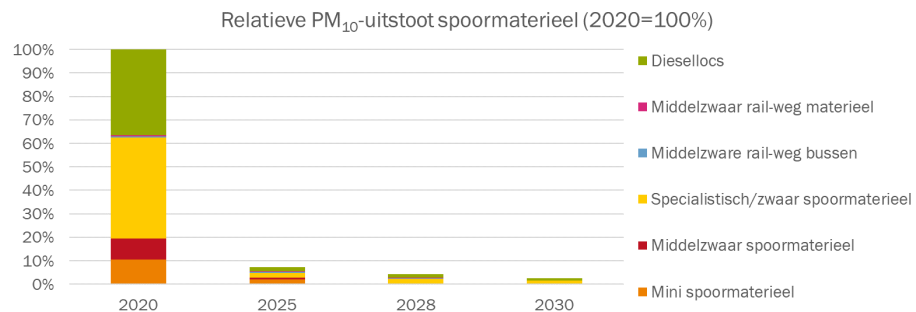
Voor de NO_x-emissie wordt de reductie voor 2030 t.o.v. 2020 op ca. 80% geschat ten gevolge van het ambitieuze niveau, zoals Figuur 8 laat zien. In 2025 en 2028 wordt een reductie van respectievelijk 60% en 67% becijferd. Hier is de reductie voornamelijk als gevolg van toepassing van SCR-katalysatoren. 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_x-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 208 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: PM₁₀-reductie voor 2025, 2028 en 2030 ten opzichte van 2020 van spoorespecialistisch materieel ten gevolge van het ambitieuze niveau.

3.5 Haalbaarheid

Voor elke categorie van spoorespecialistisch 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 spoorespecialistisch 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 laadinfrastructuur. 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 beslaat 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. 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 13 voor de uitgangssituatie in 2020, en de autonome ontwikkeling naar 2030 staat in Tabel 14. 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 13: Emissies bouwtransport voor de verschillende transitiepaden in 2020.

<i>Transitiepad</i>	<i>CO₂ Mton</i>	<i>NO_x (kton)</i>	<i>NH₃ (ton)</i>	<i>PM₁₀ (ton)</i>
Energie infra	0,04 (3%)	0,2 (3%)	2,3 (3%)	5,8 (3%)
Weg, dijk en spoor	0,24 (14%)	0,9 (14%)	14,1 (18%)	32,5 (14%)
Woningen en utiliteit	1,5 (83%)	5,2 (82%)	63,5 (77%)	204,1 (83%)
Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud	0,02 (1%)	0,1 (1%)	2,1 (2%)	2,2 (1%)
Totaal	1,8	6,3	82,0	244,6
Totaal wegvervoer (Emissieregistratie)	10,5	34,9	624,0	1327,3
Aandeel bouw in wegvervoer (weg)	17% (14%-21%)	18% (15%-22%)	13% (10%-18%)	18% (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 14: Autonome ingroei emissies bouwtransport van 2020 tot 2030.

	2020			2025				2030			
	Lic ht	Zwa ar	Tota al	Lic ht	Zwa ar	Tota al	Delta	Lic ht	Zwa ar	Tota al	Delta
CO ₂ (Mton)	0,98	0,81	1,79	0,95	0,83	1,78	0,6%	0,94	0,83	1,77	0,9%
NO _x (kton)	3,39	2,88	6,27	2,31	2,18	4,49	28,4%	1,17	2,18	3,35	46,6%
PM ₁₀ (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 15: 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
Totaal		277.300	37.500

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 16. De impact van deze technische eisen op de vloot van bouwtransport wordt in de volgende secties doorgerekend.

Tabel 16: Basisniveau bouwtransport

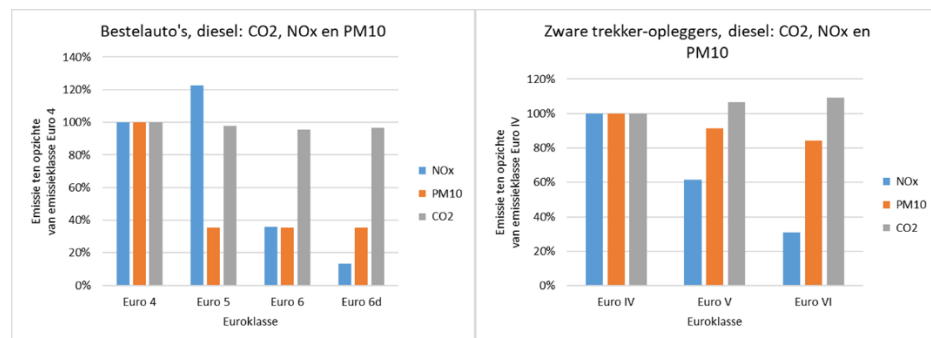
	Periode 1 1 jan. 2023	Periode 2 1 jan. 2025	Periode 3 1 jan. 2028	Periode 4 1 jan. 2030
N1 – Bestelauto's	Euro 5	Euro 6	100% ZE	100% ZE
N2 - lichte vrachtwagens	Euro V	Euro VI	Euro VI	100% ZE
N3 - zware vrachtwagens	Euro V	Euro VI	Euro VI	Euro VI

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 vlootuitstoot 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_x, PM10 en CO₂ 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 17. 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 t.o.v. de referentie jaren per emissiebron gegeven. Aangezien voor de stikstofreductie 2018 als referentiejaar geldt, is het verschil met 2018 expliciet toegevoegd.

Tabel 17: Verschil basisniveau bouwtransport ten opzichte van autonome ontwikkeling.

	2025			2030		
	Autonoom	Basis	Delta	Autonoom	Basis	Delta
CO₂ (Mton)	1,78	1,77	-0,7%	1,77	1,65	-7,1%
NO_x (kton)	4,49	4,32	-3,7%	3,35	3,14	-6,1%
PM₁₀ (kton)	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 CO₂-emissies van -0,14 Mton (ten opzichte van 2020). Hiermee draagt het ongeveer 35% bij aan de gewenste totale CO₂-reductie in de bouwsector (-0,4 Mton ten opzichte van 2019). De gewenste reductie in NO_x-emissies (60% ten opzichte van 2018) wordt hiermee wel gehaald (-59,5% ten opzichte van 2018). De potentiële reductie in PM₁₀-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 groei 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.

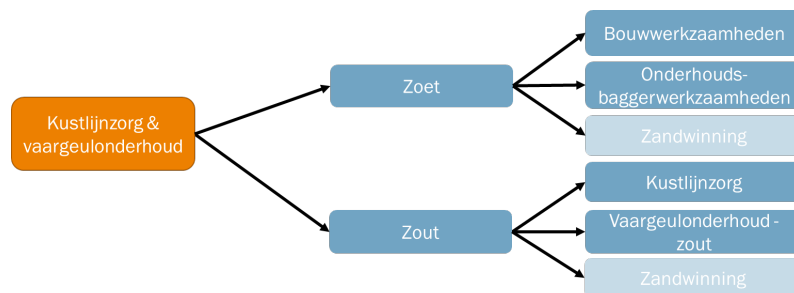
4.5.1 *Vrachtwagens*

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 t.a.v. 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 groei 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%). Daarmee 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 18. 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 (m³) zand, in situ (in situ) of in beunbak van de schepen (in beun). De uitgangssituatie aantal m³ in situ is aangeleverd door Rijkswaterstaat en de havenbedrijven:

Tabel 18: Jaarlijks gemiddeld baggervolume kustlijnzorg en vaargeulonderhoud door Rijkwaterstaat en door overige grote zeehavens.

<i>Miljoen m³</i>	Jaarlijks gemiddeld baggervolume (in-beun)
RWS - Kustlijnzorg	11
RWS – Vaargeulonderhoud	13
Overig - Vaargeulonderhoud	17
Totaal	41

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 m³ projectvolume, zoals weergegeven in Tabel 19. Het brandstofverbruik kent vele afhankelijkheden en daarom wordt een relatief hoge bandbreedte gehanteerd.

Tabel 19: Bandbreedte in verbruik Marine Gas Oil (MGO) bij een gemiddelde m³ in beun op basis van Drent 2019, Bolech en Kootstra 2020 en Jansen en Ringelberg 2020.

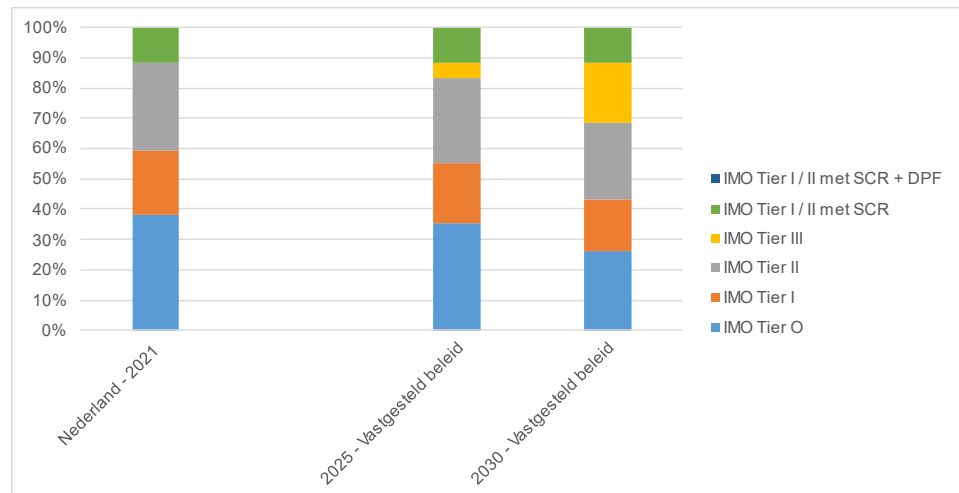
	kg MGO per m³ in beun	
	<i>Laag</i>	<i>Hoog</i>
Vooroever	0.51	0.83
Strand	0.69	1.31
Vaargeulonderhoud	0.89	1.74

Op basis van het totale brandstofverbruik zijn CO_{2-eq} (4,14 kg per kg MGO, Istrate et al, 2022), NO_x (12,00 gNO_x / kWh, gemiddeld Tier I) en PM (1,2 g PM10 per kg MGO) ingeschat zie Tabel 20. 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 20: Emissies waterbouwwloot transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud in 2021.

	Activiteit	Mton CO₂		Kton NO_x		ton PM	
K&V Zoet	Bouwwerkzaamheden	0,01	0,01	0,1	0,1	2	2
	Onderhouds- baggerwerkzaamheden	0,05	0,05	0,4	0,4	11	11
K&V Zout	Kustlijnzorg strand	0,03	0,05	0,4	0,7	9	15
	Zoute vaargeulonderhoud	0,11	0,24	1,5	3,1	37	72
Totaal	Totaal	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 kustlijnverzorg.

Verandering van de vlootsamenstelling naar de toekomst toe leidt tot autonome reductie in NO_x-uitstoot van 10% in zoet en 27% in zout, zoals weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21: Autonome ontwikkeling van emissies transitiepad kustlijnverzorg en vaargeulonderhoud tot 2030.

		2021	2025	2030	2021 - 2030
K&V zoet	CO₂ – Mton	0,055	0,051	0,045	-18%
	NO_x - kton	0,47	0,46	0,43	-10%
	PM - ton	13	12	11	-17%
K&V zout	CO₂ - Mton	0,21	0,21	0,20	-5%
	NO_x – kton	2,8	2,5	2,1	-27%
	PM - ton	0,067	0,067	0,067	0%

5.2 Aangeleverde eisen basisniveau

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

Tabel G. Basisniveau peloton varend bouwmaterieel

Kustlijn zorg en zout vaargeulonderhoud (Zeegeand materieel) - Basisniveau Rijswaterstaat - Havenbedrijf				
Scheepstype	Periode 1 2022 tot en met 2024	Periode 2 2025 tot en met 2027	Periode 3 2028 tot en met 2029	Periode 4 vanaf 2030
Sleephooperzuigers Kraanschip Cutter zuiger Hopperzuiger Water injectie baggeren	Motoren ↑ Energieledragers ↑	Minimaal emissie conform tier klasse I / **	Minimaal emissies conform tier klasse II / **	Minimaal emissies conform tier klasse III* / **
	Minimaal 10% duurzame energieledragers	Minimaal 20% duurzame energieledragers	Minimaal 40% duurzame energieledragers	Minimaal 60% duurzame energieledragers
<p>*Gecertificeerd tier I / m III of retrofit die voldoet aan de emissienormen conform tier I / m III</p> <p>** Uitgezonderd zijn schepen met een beuninhoud >15.000m2 waarbij aantoonbaar is gemaakt dat deze noodzakelijk zijn voor de uitvoer van de werkzaamheden</p> <p>Toelichting 1: Niet geïnstalleerde mobiele werktuigen op vaartuigen vallen onder het transitiepad van Weg, Dijk, Spoor materieel (WDSM)</p> <p>Toelichting 2: x% duurzame energieledragers: tenminste x% duurzame energieledragers conform REDII in het contractenportfolio van opdrachtgever</p> <p>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.</p>				
Vaargeulonderhoud zoot/aanleg - Basisniveau Rijswaterstaat - Provincies - Gemeenten - Waterschappen				
Scheepstype	Periode 1 2022 tot en met 2024	Periode 2 2025 tot en met 2027	Periode 3 2028 tot en met 2029	Periode 4 vanaf 2030
Transportschip, sleep-, duwen peilboten, schuifboten, survey schepen, kleine cutterzuigers** overig klein varend materieel	Geen eis	Geen eis	Minimaal emissies conform CCR II*	Minimaal emissies conform CCR II*
	Minimaal 20% duurzame energieledragers	Minimaal 35% duurzame energieledragers	Minimaal 60% duurzame energieledragers	Minimaal 75% duurzame energieledragers
Kraanschip, Cutterzuiger, Bakkenzuigers, Beunschepen, Heschepen, Werkschepen Hopperzuiger	Geen eis	Geen eis	Minimaal emissies conform CCR II*	Minimaal emissies conform stage V (IMP-IWA)*
	Minimaal 20% duurzame energieledragers	Minimaal 35% duurzame energieledragers	Minimaal 60% duurzame energieledragers	Minimaal 75% duurzame energieledragers

*Gecertificeerd CCR I / m stage V (IMP-IWA) of retrofit die voldoet aan de emissienormen conform CCR I / m stage V (IMP-IWA)

** Kleine cutterzuigers zijn zuigers die uitsluitend op zone 4 wateren worden ingezet

Toelichting 1: Niet geïnstalleerde mobiele werktuigen op vaartuigen vallen onder het transitiepad van Weg, Dijk, Spoor materieel (WDSM)

Toelichting 2: x% duurzame energieledragers: tenminste x% duurzame energieledragers conform REDII in het contractenportfolio van opdrachtgever

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: Definitief 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 CO₂-reductie is uitgegaan dat duurzame energiedragers tot 70% CO₂-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 CO₂-uitstoot zijn. Voor de uitstoot van NO_x 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 22 toont het effect van het “peloton” transitiepad op emissies in 2030. Het transitiepad laat een sterke afname zien in de emissies. Voor CO₂ komt deze afname door het gebruik van biobrandstoffen. Hier is uitgegaan van geavanceerde biobrandstoffen met een WTW CO₂-reductie van 70%. Bij NO_x en PM loopt de reductie parallel aan de ingroei van Stage V.

Tabel 22: Effect van transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud op zoete vloot.

	2021	2030 autonoom	% t.o.v. 2021	2030 transitiepad	% t.o.v. 2021
CO₂ – Mton	0,055	0,045	-18%	0,021	-61%
NO_x – 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 23. Het effect op CO₂ 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_x 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 23: Effect van transitiepad kustlijnzorg en vaargeulonderhoud op zoute vloot.

	2021	2030 autonoom	% t.o.v. 2021	2030 transitiepad	% t.o.v. 2021
CO₂ – Mton	0,21	0,20	-5%	0,12	-45%
NO_x – kton	2,8	2,1	-27%	0,83	-70%
PM – kton	0,067	0,067	0%	0,07	0%

5.5 Haalbaarheid transitiepad waterbouw

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 motorvervangings van de vloot transport- en overige schepen. In de eerste 2 periodes stelt het pad geen eisen aan motortypes. De eisen voor motorvervangings 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 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_x- CO₂-, 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 stikstofreductie (60% stikstofreductie in de bouw t.o.v. 2018), maar is ook voor fijnstof en CO₂ als referentiejaar genomen.

6.1.1 Effect op NO_x-emissies

Tabel 24 geeft een overzicht van de ontwikkeling van de NO_x-uitstoot van de verschillende materieeltypen in de bouw in het autonome scenario en het additionele reductiepotentieel van de emissie-eisen in het minimum- en basisniveau (behalve voor spoormateriaal waarvoor alleen het ambitieuze niveau is opgesteld).

Tabel 24: Effect van emissie-eisen op NO_x-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	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%
Totaal	24,1	-8,1	33%	-13,6 (-15,1) ^{****}	56% (62%) ^{****}

^{**} Voor kustlijnzorg & spoor is geen data bekend over het verloop in de tijd, 2018 is daarom gelijk gesteld aan 2020/ 2021

^{***} Niet-geschaalde emissies

^{****} Bij adequate handhaving op goedwerkende SCR-katalysatoren

De totale autonome afname ten opzichte van 2018 bedraagt 33%. Deze wordt veroorzaakt door een ingroei van schoon materieel en is het grootst bij wegtransport (met name ingroei van Euro 6-bestelauto's).

Als de emissie-eisen voor de materieeltypen worden doorgevoerd, dan neemt de NO_x-reductie potentieel verder af tot ca. 56%. 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.

6.2 Effect op CO₂-emissies

Tabel 25 presenteert de verwachte ontwikkeling van de CO₂-uitstoot van de verschillende materieeltypen in de bouw in het autonome scenario en het additionele reductiepotentieel van de transitiepaden.

Tabel 25: Effect van emissie-eisen op CO₂-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%
Totaal	3,87	-0,04	1%	-0,66	17%

** Voor kustlijnzorg & spoor is geen data bekend over het verloop in de tijd, 2018 is daarom gelijk gesteld aan 2020

*** Niet-geschaalde emissies

In het autonome pad is er een zeer geringe afname van CO₂-emissies. De emissie-eisen voor de verschillende materieeltypen leiden tot een potentiële afname van 0,65 Mton CO₂ (17%). 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.

6.3 Effect op PM-emissies

De verwachte ontwikkeling van de PM-uitstoot wordt in Tabel 26 weergegeven voor de verschillende materieeltypen in het autonome scenario en het additionele reductiepotentieel door de emissie-eisen.

Tabel 26: 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	0,6***	-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%
Totaal	0,90	-0,52	53%	-0,66	73%

** Voor kustlijnzorg & spoor is geen data bekend over het verloop in de tijd, 2018 is daarom gelijk gesteld aan 2020

*** 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.

7 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*.
- Hulskotte, J., & Verbeek, R. (2009). *Emissiemodel Mobiele Machines gebaseerd op machineverkopen 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*.
- 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*.
- Zyl, S. v., Holmes, G., & Verbeek, M. (2021). *Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel- en vrachtoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040*. Den Haag: TNO.

8 Ondertekening

Den Haag, 5 juni 2023

TNO

Janneke de Vries
Project manager

Ruben Fransen
Auteur

A black ink signature consisting of several overlapping loops and lines, appearing somewhat abstract and scribbled.A blue ink signature that reads 'R. Fransen' in a cursive, handwritten style, followed by a long, sweeping horizontal line.