

TNO

achtergrondrapport

Mobiliteit bij

KEV 2024 en ERL 2025

Analyses en berekeningen voor de Klimaat en Energieverkenning 2024 (KEV 2024) en de Emissieramingen Luchtverontreinigende stoffen 2025 (ERL 2025)

TNO 2025 R10461 – 6 maart 2025

TNO achtergrondrapport Mobiliteit bij KEV 2024 en ERL 2025

Analyses en berekeningen voor de Klimaat en Energieverkenning 2024 (KEV 2024) en de Emissieramingen Luchtverontreinigende stoffen 2025 (ERL 2025)

Auteurs	Hans Mulder, Michiel Zult, Maarten Verbeek, Pim van Mensch, Annette Rondaij, Ruud Verbeek, Xander Seykens, Hein de Wilde, Arjan Eijk, Jessica de Rooter, Jorrit Harmsen, Pierre Paschinger, Emiel van Eijk, Gerben Geilenkirchen (PBL)
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	132 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0
Editors	Hein de Wilde, Arjan Eijk
Reviewers	Rob Cuelenaere, Marijke Menkveld

Dit rapport is in 2 versies gepubliceerd. Versie 1 verscheen in oktober 2024 als achtergrondrapport bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV 2024). De huidige versie, Versie 2, is aangevuld met informatie over toekomstige emissies van luchtverontreinigende stoffen. Daarmee is deze 2^e versie eveneens een achtergrondrapport bij de Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen 2025 (ERL-2025).

Alle rechten voorbehouden

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

© 2025 TNO

Samenvatting

In dit rapport, opgesteld voor het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), beschrijven en duiden we, in zes hoofdstukken, de recente ontwikkelingen in de sector mobiliteit, voor de onderstaande door PBL geselecteerde thema's.

1. Ingroei elektrische vrachtwagens in relatie tot beschikbare netcapaciteit
2. Potentie van waterstof in mobiliteit
3. Non Road Mobile Machinery¹
4. Binnenvaart
5. Zeevaart
6. Wegverkeer

De TNO analyse op deze zes thema's is (mede) gebruikt om de toekomstige uitstoot van CO₂ en/of luchtverontreinigende stoffen te ramen. In het onderstaande zijn de belangrijkste bevindingen voor de zes thema's samengevat.

1. Ingroei elektrische vrachtwagens in relatie tot beschikbare netcapaciteit

TNO heeft een aanpak met meerdere stappen uitgewerkt om te kunnen vaststellen of de ingroei van elektrische vrachtwagens door beschikbare netcapaciteit beperkt wordt. Twee stappen van deze aanpak zijn in kaart gebracht: de beschikbare netcapaciteit over tijd en de vermogensvraag ontwikkeling op depot van batterij-elektrische vrachtwagens (BEV's). Doordat de andere stappen nog niet zijn gezet, vormt de huidige analyse een deel van het uiteindelijke antwoord en moeten de uitkomsten ook op die manier geïnterpreteerd worden. Met de huidige analyse is een eerste beeld gevormd van de ordegrrootte van dit vraagstuk en hoe dit zich ontwikkelt over de tijd.

De analyse bestaat uit een basisscenario en vijf gevoeligheidsanalyses. Uit het basisscenario komt naar voren dat in 2025 voor circa 70% van de verwachte voertuigen geen directe aansluitcapaciteit beschikbaar is. Richting 2033 daalt dit aandeel als gevolg van additionele investeringen in netcapaciteit, ondanks een toename van elektrische voertuigkilometers, naar circa 40%.

De meeste gevoeligheidsanalyses komen tot een vergelijkbaar resultaat als het basisscenario. In scenario 3 (bedrijven koppelen aan alternatief station mét capaciteit), daalt het percentage voertuigen waarvoor geen aansluiting beschikbaar is tot 16% in 2033. Dat betekent wel een gemiddelde toename in afstand tussen bedrijven en stations van 22%, wat niet realistisch lijkt. Scenario 4 (toedelen van voertuigen mits capaciteit beschikbaar) laat een nog lager percentage zien (11%). Hierbij kan de ingroei van elektrische vrachtwagens in eerste instantie plaatsvinden in delen van West- en Noord-Nederland en richting 2033 ontstaat hiervoor ook de mogelijkheid in de andere delen van het land. De vraag is wel hoe realistisch dit scenario is, aangezien het vereist dat het totaal aantal verwachte elektrische vrachtwagens verdeeld moet worden over een veel kleiner aantal bedrijven.

¹ Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een zeer breed spectrum aan machines, die niet behoren tot de categorieën wegvoertuigen, zeeschepen of vliegtuigen. De analyse in dit rapport is vooral gericht op bouwmachines.

Op basis van de capaciteitskaart is er in totaal voldoende capaciteit beschikbaar, en neemt deze richting de toekomst ook sterk toe. Echter niet op alle locaties waar vraag zal ontstaan, ontstaat ook beschikbare netcapaciteit. De verschillen tussen regio's in de beschikbare capaciteit en geplande investeringen leidt tot een ongelijke verdeling van deze problematiek tussen geografisch verspreid liggende bedrijven, met als mogelijk gevolg een ongewenst effect op concurrentiepositie van bedrijven en mogelijk leidend tot herlocatie van bedrijvigheid.

Netcongestie vormt vooralsnog een belemmerende factor voor de elektrificatie van vrachtvervoer in Nederland. Van bedrijven is veel inzet en creativiteit nodig om gegeven de netcongestie elektrisch rijden mogelijk te maken. Voorlopig is de inzet van mitigatiemaatregelen cruciaal. Op termijn komt er voldoende capaciteit beschikbaar, maar niet op alle locaties.

2. Potentie van waterstof in mobiliteit

Batterijtechnologie speelt momenteel de hoofdrol in de verduurzaming van het wegverkeer. Maar de inzet van waterstof in zware wegvoertuigen is een denkbaar alternatief. Vooralsnog gaat het hierbij om kleine aantallen voertuigen: per september 2024 rijden er zo'n 54 waterstof aangedreven vrachtwagens in Nederland en kan er op 21 locaties worden getankt.

Als gevolg van de hoge kosten en de beperkte beschikbaarheid van waterstofvoertuigen en waterstoftankinfrastructuur is de verwachting dat het aandeel waterstofvrachtwagens in de vloot beperkt zal zijn tot 2030. Dit wordt sterk bepaald door de hoge productie- en distributiekosten van waterstof en de lagere energie-efficiëntie van waterstofvoertuigen in vergelijking met batterij-elektrische voertuigen. Voor waterstofbrandstofcelvoertuigen geldt bovendien dat de productiekosten nog erg hoog zijn.

Er zijn verschillende (inter)nationale beleidsmaatregelen die zero-emissievoertuigen stimuleren. Specifiek voor waterstof bestaat de Subsidieregeling Waterstof in Mobiliteit (SWiM) die subsidie aan waterstoftankstations combineert met subsidie voor de aanschaf van waterstof-aangedreven voertuigen.

Volgens de nieuwe Europese definitie kwalificeren sinds mei 2024 ook waterstofvoertuigen met een waterstofverbrandingsmotor als zero-emissie voertuigen. Mede hierom verwachten we meer vrachtwagens met een waterstofverbrandingsmotor in de tweede helft van dit decennium. Echter, het is vooralsnog onduidelijk om wat voor aantallen dit gaat.

De potentie voor toepassing van waterstof in de mobiliteit ligt vooral daar waar de inzet van batterij-elektrische aandrijvingen lastig(er) is, bijvoorbeeld voor zeer energie-intensieve en lange afstandstoepassingen.

3. Ontwikkelingen voor Non Road Mobile Machinery

PBL heeft TNO gevraagd om voor de KEV 2024 en de ERL 2025 een inschatting te geven van de groei van schone en emissieloze mobiele werktuigen in de bouwsector ten gevolge van het beleid van het Programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). De Rijksoverheid heeft het programma SEB opgezet met als doel de stikstofemissies van bouwmachines te reduceren en tegelijkertijd via CO₂-reductie en fijnstofreductie ook bij te dragen aan de doelstellingen uit het Klimaatakkoord en Schone Lucht Akkoord. De beleidsmaatregelen

vanuit het programma SEB zoals die per 1 mei 2024 van kracht waren worden door PBL in de KEV 2024 en ERL 2025 tot vastgesteld beleid gerekend. Concreet gaat het om:

- De SEB-subsidieregelingen, bedoeld om een deel van de meerkosten van emissieloze bouwmachines te dekken (Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwen (SSEB), Specifieke uitkering Schoon en Emissieloos Bouwen medeoverheden (SPUK SEB), SEB-middelen voor aanbestedende Rijksdiensten);
- De Routekaart SEB en het Convenant SEB. De Routekaart geeft een meerjarenstappenplan voor vermindering van emissies in de bouwsector. In het Convenant maken overheden, marktpartijen en brancheorganisaties afspraken over het uitvoeren van de Routekaart SEB.

Met de subsidieregelingen en de Routekaart werkt het programma SEB aan:

- Het stimuleren van de groei van emissieloos materieel;
- Het stimuleren van de groei van schoon materieel.

Het effect van het vastgestelde beleid op de groei van emissieloos materieel en van schoon materieel zijn in dit hoofdstuk apart van elkaar berekend. Voor de groei van schoon materieel wordt specifiek gekeken naar de groei van Stage V-materieel (de momenteel schoonste categorie bouwmachines)². Dit gaat om zowel fabriek-af Stage V-materieel (en Stage IV-materieel met een roetfilter) als om retrofit Stage V-materieel.

Figuur S.1 geeft de inschatting van de aantallen emissieloze bouwmachines in de periode 2025 – 2040, als gevolg van de hierboven genoemde vastgestelde beleidsmaatregelen (de SEB subsidieregelingen en de Routekaart). In 2030 wordt het aantal emissieloze bouwmachines geschat op 10.000 – 41.000. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de aantallen emissieloze bouwmachines ten gevolge van de vastgestelde beleidsmaatregelen gelijk zijn aan het totaal aantal emissieloze bouwmachines in de vloot. De toename van emissieloos materieel wordt dus uitsluitend gedreven door het vastgestelde SEB-beleid. Na 2030 vlakt de groei van emissieloze bouwmachines af. Er is namelijk aangenomen dat de subsidieregelingen voor emissieloze bouwmachines na 2030 stoppen. Wel wordt aangenomen dat de Routekaart SEB na 2030 van kracht blijft. Dit zorgt voor een lichte toename van zero emissie bouwmachines ná 2030.

Figuur S.2 geeft een inschatting van de extra groei van Stage V-materieel (de momenteel schoonste categorie bouwmachines). In 2025 komen er volgens de middenraming ca. 7.300 Stage V-machines bij ten gevolge van de Routekaart SEB, dat is ca. 15% van het totaal aantal Stage V-machines. Bij latere periodes neemt de extra groei ten gevolge van het beleid af, dit komt doordat de vloot (ook) vanwege de autonome verjonging langzaam maar zeker nieuwer en schoner wordt.

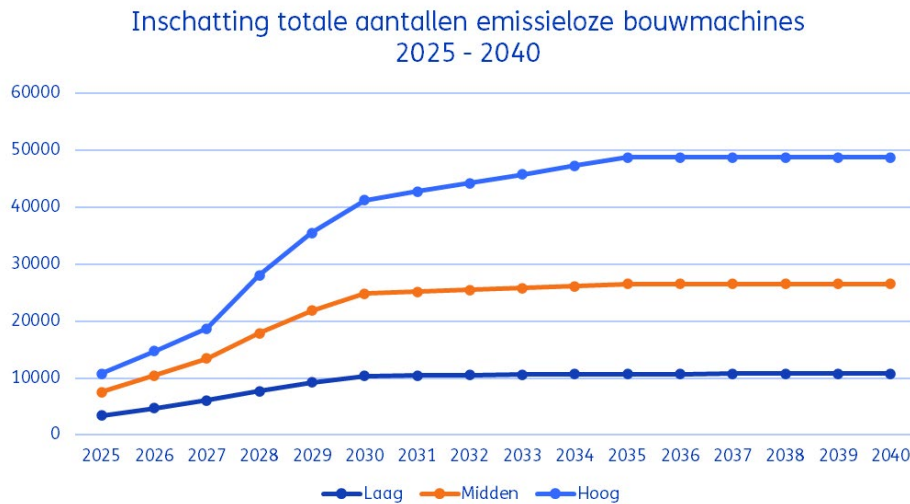
Beide figuren geven grote bandbreedtes aan, omdat er nog grote onzekerheid bestaat over de opvolging van de maatregelen uit de Routekaart SEB, met name vanwege de volgende twee redenen:

- Het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) beschrijft een emissiereductieplicht voor bouw- en sloopwerken, waarbij ‘adequate maatregelen’ dienen te worden genomen. De Routekaart SEB, die drie ambitieniveaus kent, schrijft in het minimumniveau van de Routekaart de uitvoering van de reductieplicht zoals beschreven in het Bbl voor. Het is

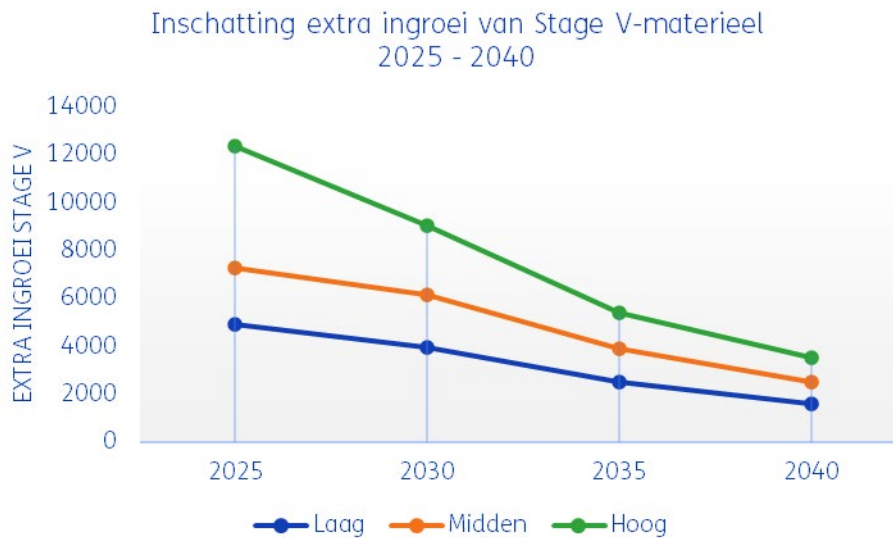
² Bouwmachines vallen onder de categorie Non-Road Mobile Machinery (NRMM) in de Europese emissiewetgeving. De emissieclassen van NRMM worden aangeduid in Stage-classes. Stage-classes geven aan hoeveel emissies de motor van nieuwe machines maximaal mogen uitstoten. Stage V is de meest recente en meest strenge emissienorm.

vanuit de wettekst echter onduidelijk wat er met adequate maatregelen wordt bedoeld en daarmee ook in welke mate het minimumniveau gebruikt gaat worden als invulling van de emissiereductieplicht.

- Er bestaat nog grote onzekerheid over de mate van toezicht en handhaving op de maatregelen uit de Routekaart SEB, omdat het in dit stadium nog onduidelijk is hoe toezicht en handhaving gaat plaatsvinden.



Figuur S.1: Inschatting van de totale aantallen emissieloze bouwmachines als gevolg van de beleidsontwikkelingen vanuit het programma SEB in de periode 2025 – 2040.



Figuur S.2: Inschatting van de extra ingroei van Stage V-materieel als gevolg van vaststaand beleid voor drie scenario's.

4. Binnenvaart

Binnenvaart is een relevante emissiebron van luchtverontreinigende stoffen, in het bijzonder voor stikstofoxiden en fijnstof. TNO heeft voor de ERL 2025 de emissieramingen gemaakt voor de binnenvaart in Nederland, mede gebaseerd op uitgangspunten die door PBL zijn bepaald omtrent de groei van de vervoersvolumes in de binnenvaart en de instroom van

nulemissietechnologie in de vloot. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste trends in de professionele binnenvaart,³ en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen, beschreven.

Een belangrijke verandering in de binnenvaartramingen voor de ERL 2025 is de overgang op een nieuw emissieprognosemodel voor de binnenvaart (POTAMIS+) dat veranderingen modelleert per schip en per jaar.

De emissies zijn geraamd voor de zichtjaren 2025, 2030 en 2035. Daarnaast wordt een kwalitatieve doorkijk gegeven richting 2040. Merk op dat de in de ERL 2025 geprognosticeerde emissie lager zijn dan de in de ERL 2023 geprognosticeerde emissies vanwege:

- een verandering van methodiek binnen de Emissieregistratie⁴ voor het vaststellen van binnenvaartemissies. Namelijk, tussen de ER 2023 (gebruikt als input voor ERL 2025) en de ER 2021 (gebruikt als input voor ERL 2023) is een methodische overstap gemaakt. Specifiek gaat het bij de nieuwe methodiek om het vaststellen van de verkeersprestaties van de binnenvaart op basis van AIS⁵-gebaseerde data (in plaats van op basis van analyses van historische data).
- nieuw beleid (met betrekking tot hernieuwbare brandstoffen en de intensivering van de subsidieregeling verduurzaming binnenvaart);
- en lagere verwachte vraagontwikkeling/verkeersvolumes.

De onderstaande tabel geeft de geraamde verkeersvolumes, het verwachte aandeel van de relatief schone Stage-V motoren, en de hiermee samenhangende jaarlijkse emissies bij vastgesteld en voorgenomen beleid.

Tabel S.1: Geraamde verkeersvolume (uit Tabel 4.3), aandeel Stage-V (uit Tabel 4.4) en jaarlijkse emissies (uit Tabel 4.5) binnenvaart bij vastgesteld en voorgenomen beleid

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
Verkeersvolume [km x 10 ⁶]	63,50	60,83	61,69	62,53	63,82	65,12
Aandeel verkeersvolume Stage-V [%]	1,0	5,0	11,4	25,8	40,5	55,8
Stikstofoxiden (NO _x) [kton]	16,75	15,89	15,32	13,81	12,56	11,28
Fijnstof (PM10 ⁶) [kton]	0,58	0,54	0,51	0,43	0,36	0,28
Fijnstof (PM2.5 ⁷) [kton]	0,55	0,51	0,48	0,40	0,33	0,25
Elementair Koolstof ⁸ [kton]	0,31	0,29	0,28	0,23	0,19	0,15

Voor vastgesteld en voorgenomen beleid wordt tussen 2022 en 2030 een daling in NO_x-emissie verwacht van 2,9 kton (ca. 18%), en tussen 2022 en 2035 een daling van ca. 4,2 kton (ca. 25%). Voor PM2.5 is betreft dit een daling van ca. 0,15 kton (ca. 26%) en ca. 0,22 kton (ca. 38%). De nieuwe ramingen voor ERL-25 wat betreft het aandeel Stage-V in het verkeersvolume van de binnenvaart zijn in lijn met de huidige leveringsaantallen van Stage-

³ Zoals gedefinieerd in (Geilenkirchen *et al.*, 2024) is dit exclusief de pleziervaart, maar bevat wel ca. 8000 schepen die actief zijn op Nederlandse wateren waarvan wordt verwacht dat ze in professionele context gebruikt worden.

⁴ [Alle emissiegegevens op één plek | Emissieregistratie](#)

⁵ AIS = Automatic Identification System. Hiermee kunnen schepen geïdentificeerd en gevolgd worden.

⁶ PM10 = fijnstofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer.

⁷ PM2,5 = fijnstofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 micrometer.

⁸ Elementair koolstof is een indicator voor het aandeel “roet” in fijn stof.

V motoren en verwachtingen met betrekking tot instroom: in 2030 is dit 25.8 % en in 2040 is dit 55.8%.

5. Zeevaart

Bij de emissies van de zeescheepvaart spelen verschillende ontwikkelingen die voortkomen vanuit beleid van de IMO (International Maritime Organisation, een organisatie van de Verenigde Naties) en de Europese Commissie. Door dit beleid wordt verwacht dat de emissies van de zeevaart, met name stikstofoxiden (NO_x), zullen afnemen in de komende jaren.

Op het gebied van stikstofemissies is de recente implementatie van de zogenaamde “Nitrogen Oxide Emission Control Area” (NECA) op de Noordzee en de Oostzee belangrijk. Schepen met een kiellegging vanaf 1 januari 2021 moeten in dit gebied voldoen aan de zogenaamde Tier III norm. Deze is voor NO_x ruim 70% strenger dan de (hiervoor geldende) Tier II norm. Door geleidelijke ingroei van Tier III schepen nemen de NO_x-emissies in de basisraming af met 33% tussen 2022 en 2035, van 103,6 kton in 2022 naar 69,3 kton in 2035.

Er zijn echter een aantal onzekerheden die mogelijk leiden tot een minder grote reductie:

- Eerste emissiemetingen laten zien dat Tier III schepen in de praktijk hogere NO_x-emissies hebben dan de limietwaarden. Er is echter nog onzekerheid over de mate waarin de emissies nu worden onderschat, en wat de precieze oorzaak is van de hogere praktijkemissies. De impact van hogere praktijkemissies is aanzienlijk (10 kton hogere NO_x-emissie in 2035). Gezien deze onzekerheid wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de oorzaak en frequentie van hoger dan verwachte NO_x-emissies van schepen met Tier III-gecertificeerde motoren.
- Een tweede onzekerheid is de snelheid waarmee Tier III schepen in de vloot zullen ingroeien. In de basisraming wordt hiervoor uitgegaan van de gemiddelde in- en uitstroom van schepen in de afgelopen 20 jaar. Recente ontwikkeling laat echter een mogelijke vertraging zien, door gebrek aan scheepsbouwcapaciteit. Wanneer de uitfasering van Tier I en Tier II schepen minder snel verlopen dan verwacht, dan kan dit leiden tot een minder snelle reductie van emissies van de zeescheepvaart.

Andere belangrijke regelgeving betreft regelgeving voor het verminderen van broeikasgassen. De IMO heeft zichzelf ten doel gesteld om rond 2050 de netto-broeikasgasuitstoot van de zeescheepvaart tot nul te reduceren. Eerste maatregelen om dit doel te bereiken zijn vooral gericht op de energie-efficiëntie van schepen. In 2025 wordt een pakket aan maatregelen verwacht dat nog niet in de ramingen is meegenomen. De Europese Commissie heeft in 2023 verschillende maatregelen aangenomen om de zeescheepvaart te verduurzamen, als onderdeel van het Fit-for-55 pakket. Dit leidt onder meer tot een geleidelijke afname van de broeikasgasintensiteit op vaarten van en naar Europese havens en het opnemen van zeevaart in EU-ETS⁹.

Deze maatregelen leiden tot een afname van de uitstoot van zowel broeikasgassen als van luchtverontreinigende emissies:

- Toename van het gebruik van energie-efficiëntie maatregelen. Op de korte termijn (tot ca. 2030) kan dit rond de 10% energiebesparing opleveren.

⁹ Sinds januari 2024 is het EU ETS uitgebreid naar de CO₂-uitstoot van alle grote schepen (> 5000 brutoton) die EU-havens binnenvaren, ongeacht de vlag waaronder ze varen ([Reducing emissions from the shipping sector - European Commission](#))

- Gebruik van walstroom door (onder meer) container- en passagiersschepen. Met name in de havengebieden kan dit een grote impact hebben op luchtverontreinigende emissies. Wel is er onzekerheid of er in 2030 voldoende walstroomcapaciteit aanwezig is om aan de vraag te voldoen.
- Ingroei van alternatieve brandstoffen. Momenteel zijn er verschillende opties voor alternatieve brandstoffen in ontwikkeling, zoals toepassing van LNG, methanol en waterstof. Op de korte termijn lijkt met name de ingroei van LNG door te zetten (mede door gebruik van LNG als motorbrandstof door tankers die LNG vervoeren). De ingroei op lange termijn is nog onzeker.

6. Wegverkeer

TNO heeft ook voor het wegverkeer de emissies van de luchtverontreinigende stoffen stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof geraamd¹⁰. Dit is beschreven in het hoofdstuk wegverkeer. Dit hoofdstuk legt de ramingsmethodiek uit en beschrijft de onderliggende aannames en methodes. Het hoofdstuk voorziet hiermee in een onderbouwing en verdieping van het ERL-25 hoofdrapport, waarin de emissieresultaten alleen op hoofdlijnen zijn beschreven.

Het hoofdstuk wegverkeer beschrijft de emissieraming stap voor stap. De belangrijkste stappen hierbij zijn:

- De vlootraming (verkeersprestaties) achter de KEV is gespecificeerd naar emissie-klassen. D.w.z. dat gemodelleerd is hoeveel voertuigen in een toekomstig jaar voldoen aan een bepaalde emissienorm en hoeveel kilometers deze voertuigen zullen rijden. Hierbij wordt rekening gehouden met de toekomstige introductie van de emissienorm Euro 7.
- Na de koude start stoot een voertuig tijdelijk meer NO_x en fijnstof uit. In de emissieramingen wordt daar nu (beter) rekening mee gehouden. Het aantal koude starten en de bijbehorende extra emissies wordt berekend op basis van de verkeersprestaties.
- Als voertuigen ouder worden neemt de effectiviteit van hun emissiereductiesystemen af. Daarom is op basis van het bouwjaar van de voertuigen de emissietoename ten gevolge van veroudering ingeschat.
- Voor de (toekomstige) Euro 7 norm zijn nog geen praktijkemissies bekend. De emissiefactoren voor Euro 7 voertuigen zijn daarom ingeschat op basis van een expertbeoordeling van het commissievoorstel.

Het nu voorliggende achtergrondrapport geeft de onderstaande detailresultaten, die bijdragen aan een nauwkeuriger emissieraming van het wegverkeer (zoals gerapporteerd in het ERL-25 hoofdrapport en de bijbehorende tabellenbijlage):

- Het aandeel door koude start veroorzaakte NO_x en fijnstof emissies op het totaal, neemt toe voor nagenoeg alle voertuigen (ten opzichte van de in het verleden gebruikte rekenmethodiek).
- Veroudering van emissiereductiesystemen is in toenemende mate van invloed op de hoogte van NO_x -emissies uit het wegverkeer. Dit geldt met name voor benzine personenauto's.
- Door de hoge aandelen elektrische voertuigen in de vlootramingen van de KEV is het aandeel (toekomstig verwachte) voertuigen wat voldoet aan emissienorm Euro 7 beperkt. Hierdoor is het netto-effect van deze toekomstige strenge norm beperkt.

¹⁰ Naast NO_x en fijnstof heeft TNO voor het wegverkeer ook de emissies geraamd van zwaveldioxide (SO_2) en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS).

Het grootste effect van de nieuwe emissienorm Euro 7 wordt verwacht op de stikstofemissies van zware voertuigen.

Ten slotte draagt het hoofdstuk wegverkeer nog bij aan de onzekerheidsanalyse van de ERL 2025. Voor wegverkeer zitten de grootse onzekerheden in de hoogte van emissiefactoren van nieuwe emissieklassen, het effect van veroudering op de emissiefactoren en het aandeel elektrische voertuigen in de vloot.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Inleiding	14
1 Ontwikkeling vermogensvraag zware elektrische voertuigen in relatie tot netcapaciteit	16
1.1 Samenvatting	16
1.2 Inleiding	17
1.3 Methode	20
1.4 Resultaten	24
1.5 Conclusies en discussie	34
2 Potentie van de inzet van waterstof in de mobiliteit	36
2.1 Samenvatting	36
2.2 Inleiding	36
2.3 Beschrijving van aandrijftechnologieën met waterstof als energiedrager	37
2.4 Ontwikkelingen in de markt	40
2.5 Beleid gericht op waterstof in mobiliteit:	41
2.6 Factoren die introductie en opschaling van waterstof aangedreven voertuigen kunnen belemmeren	50
2.7 Conclusies	54
3 Non Road Mobile Machinery - Ingroei van schone en emissieloze bouwmachines	56
3.1 Samenvatting	56
3.2 Inleiding	58
3.3 Effectschatting van de SEB subsidieregelingen	60
3.4 Effectschatting van de Routekaart SEB	65
3.5 Uitkomsten	71
4 Binnenvaart	75
4.1 Samenvatting	75
4.2 Inleiding	76
4.3 Beleidsmaatregelen binnenvaart	77
4.4 Nieuwe rekenmethode POTAMIS+	80
4.5 Ramingen	81
4.6 Onzekerheden	84
4.7 Referenties	85
5 Zeescheepvaart	87
5.1 Samenvatting	87
5.2 Inleiding	88
5.3 Methode berekening emissies zeescheepvaart	88
5.4 Vraagontwikkeling zeescheepvaart	89
5.5 Beleidsmaatregelen	92
5.6 Verwachte effectiviteit van Tier II en Tier III	95
5.7 Ingroei nieuwe schepen	99
5.8 Emissies van de waterbouw	102
5.9 Ontwikkeling efficiëntiemaatregelen	106
5.10 Ingroei alternatieve energiedragers	108
5.11 Ontwikkeling walstroom	111
5.12 Effect op emissies	112
5.13 Referenties	114

6	Wegverkeer	116
6.1	Samenvatting	116
6.2	Inleiding	117
6.3	Toedeling VERSIT+ klassen	118
6.4	Koude start emissies	120
6.5	Veroudering	123
6.6	Aannames emissiefactoren Euro 7	126
6.7	Emissieresultaten en onzekerheden	128
6.8	Referenties	134

Inleiding

In dit rapport, opgesteld voor het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), beschrijven en duiden we de recente ontwikkelingen in de sector mobiliteit voor diverse deelgebieden. Per deelgebied geven we een analyse die (mede) gebruikt is om de toekomstige uitstoot van CO₂ en/of luchtverontreinigende stoffen te ramen.

Dit rapport is in twee versies gepubliceerd:

Versie 1 (met publicatiedatum 24 oktober 2024) onderbouwt de te verwachten hoeveelheid CO₂-uitstoot door mobiliteit en de te verwachten inzet van hernieuwbare energie tussen nu en 2035. Het gaat hierbij om een drietal hoofdstukken, met analyses over:

- de ingroei van elektrische vrachtwagens in relatie tot beschikbare netcapaciteit
- de potentie van waterstof in mobiliteit
- de ontwikkelingen voor “Non Road Mobile Machinery”¹¹.

Het PBL heeft deze analyses, inzichten en cijfers (mede) gebruikt ter onderbouwing van het hoofdstuk Mobiliteit in de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV 2024)¹².

Versie 2 (met publicatiedatum 6 maart 2025) onderbouwt ook de te verwachten uitstoot van luchtverontreinigende stoffen tussen nu en 2035. In deze tweede versie zijn daartoe drie extra hoofdstukken toegevoegd:

- Binnenvaart
- Zeevaart
- Wegverkeer.

Bovendien is het hoofdstuk “Non Road Mobile Machinery” uitgebreid met een extra paragraaf die relevant is voor luchtverontreinigende emissies. De bovengenoemde aanvullende hoofdstukken (zoals toegevoegd aan deze de tweede versie van het rapport) geven inzichten en cijfers die gebruikt zijn voor de emissieramingen luchtverontreinigende stoffen (ERL)¹³.

Bredere context

De KEV 2024 geeft een projectie van het te verwachten energieverbruik en de emissies van broeikasgassen tot en met 2035 voor alle sectoren. Mobiliteit is een van deze sectoren. TNO speelt een structurele rol bij het tot stand komen van de jaarlijkse KEV, en de tweejaarlijkse ERL, voor alle sectoren. Wat betreft de analyses binnen de sector mobiliteit werken de TNO groepen Sustainable Transport and Logistics, Climate Air and Sustainability en Energie Transitie Studies al jaren samen met PBL. Dit betreft onder andere de jaarlijkse update van emissiefactoren voor zowel wegverkeer als niet-wegverkeer; en inzichten en prognoses over de samenstelling en prestaties van het voer-, vaar- en werktuigen-park.

Beleidsvarianten

¹¹ Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een breed spectrum aan machines; deels overeenkomend met de Nederlandse naam “mobiele werktuigen”

¹² [Klimaat- en Energieverkenning \(KEV\) | Planbureau voor de Leefomgeving \(pbl.nl\)](#)

¹³ Deze tweejaarlijkse publicatie is een nevenpublicatie bij de KEV en geeft een beeld van de verwachte toekomstige ontwikkeling van de emissies voor luchtverontreinigende stoffen in relatie tot de EU-emissiedoelen.

In de KEV 2024 en ERL 2025 zijn emissieramingen uitgewerkt voor drie beleidsvarianten: vastgesteld beleid (V), vastgesteld en voorgenomen beleid (VV) en vastgesteld, voorgenomen en geagendeerd beleid (G). Bij V is alleen het per 1 mei 2024 vastgestelde beleid meegenomen. Bij VV zijn ook de per die datum concreet uitgewerkte beleidsvoornemens meegenomen. In G zijn daarnaast ook de per 1 juli 2024 geagendeerde maatregelen meegenomen waaraan al een effect kon worden toegekend. Voor een uitgebreide beschrijving van het beleid dat in de verschillende beleidsvarianten is verwerkt wordt verwezen naar de achtergrondrapporten bij de KEV 2024 en ERL 2025 (verschijnt gelijk met dit rapport) van PBL. In het nu voorliggende achtergrondrapport beschrijven we, net als in de KEV 2024 en ERL 2025 rapportages van PBL, de resultaten voor de beleidsvariant VV. De resultaten voor de beleidsvariant V zijn in de ERL rapportage van PBL met bijbehorende tabellenbijlage te vinden.

Rollen TNO en PBL

Bij het opstellen van het hoofdstuk Mobiliteit in de KEV zijn de rollen als volgt. TNO levert kennis en data op basis van analyses van trends en ontwikkelingen in technologie, markt en beleid (nationaal en Europees). Deze TNO analyses zijn (mede) gebruikt voor de rekentechnische vertaalslag naar:

- (1) De uitstoot van CO₂ en de inzet van hernieuwbare energie ter onderbouwing van de KEV 2024. Deze berekeningen zijn door PBL uitgevoerd.
- (2) De uitstoot van luchtverontreinigende stoffen, ter onderbouwing van de ERL-25. Deze emissieberekeningen zijn uitgevoerd door PBL voor het thema NNRMM. Voor de thema's binnenvaart, zeevaart en wegverkeer zijn de emissieberekeningen uitgevoerd door TNO in samenwerking met PBL.

Leeswijzer

Dit rapport biedt verdiepende analyses voor de KEV 2024 en ERL 2025 en richt zich vooral op de lezersdoelgroep "energie- en emissiespecialist". Het rapport is daarmee ook intrinsiek minder toegankelijk dan de KEV 2024 en ERL 2025 hoofdrapporten.

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Het rapport begint met een samenvatting en inleiding. Aansluitend geeft Hoofdstuk 1 een analyse van de ingroeiselheid van zware elektrische voertuigen in het wagenpark in relatie tot de beschikbare netcapaciteit. Hoofdstuk 2 beschrijft het potentieel van waterstof als transportbrandstof. Hoofdstuk 3 geeft een inschatting van de ontwikkelingen van de sector "Non Road Mobile Machinery".

De hoofdstukken 4 en 5 geven een analyse van de belangrijkste trends, ontwikkelingen en emissies van luchtverontreinigende stoffen in respectievelijk de Binnenvaart en de Zeevaart. Tenslotte beschrijft hoofdstuk 6 hoe voor het wegverkeer de toekomstig verwachte emissies van de luchtverontreinigende stoffen NO_x en fijn stof zijn berekend. Dit hoofdstuk legt ook de berekeningsmethodiek uit, inclusief de onderliggende aannames en methodes.

Verantwoording

Deze rapportage is opgesteld voor het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Hierbij hebben TNO en PBL samen bepaald welke analyses uitgevoerd moesten worden en met welke mate van diepgang. Deze inhoudelijke prioritering vormt de basis voor het rapport. Het was binnen beschikbare tijd en budget niet altijd mogelijk om alle gewenste onderwerpen (volledig) te behandelen. Hierbij hebben we soms ook benoemd welke deelonderwerpen nu nog niet voldoende zijn onderzocht en daarom relevant zijn voor nader onderzoek in de KEV-2025 of latere edities. Aan dit rapport hebben diverse TNO medewerkers bijgedragen. De inhoudelijke verantwoordelijkheid voor dit rapport ligt volledig bij TNO.

1 Ontwikkeling vermogensvraag zware elektrische voertuigen in relatie tot netcapaciteit

Auteurs: Michiel Zult, Hans Mulder

1.1 Samenvatting

PBL heeft TNO gevraagd vast te stellen of, en zo ja, in welke mate de netcapaciteit een beperkende factor is voor de ingroei van elektrische vrachtwagens. TNO heeft meerdere stappen geïdentificeerd die uitgevoerd moeten worden om deze vraag te kunnen beantwoorden.

Twee stappen zijn in kaart gebracht: de beschikbare netcapaciteit over tijd en de vermogensvraag ontwikkeling op depot van batterij-elektrische vrachtwagens (BEV's). Doordat de andere stappen nog niet zijn gezet, vormt de huidige analyse een deel van het uiteindelijke antwoord en moeten de uitkomsten ook op die manier geïnterpreteerd worden. Met de huidige analyse is een eerste beeld gevormd van de ordegrrootte van dit vraagstuk en hoe dit zich ontwikkelt over de tijd.

De analyse bestaat uit een basisscenario en vijf gevoeligheidsscenario's. Uit het basisscenario komt naar voren dat in 2025 voor circa 70% van de verwachte voertuigen geen directe aansluitcapaciteit beschikbaar is. Richting 2033 daalt dit aandeel als gevolg van additionele investeringen in netcapaciteit, ondanks een toename van elektrische voertuigkilometers, naar circa 40%.

De meeste gevoeligheidsanalyse komen tot een vergelijkbaar resultaat als het basisscenario. In scenario 3 (bedrijven koppelen aan alternatief station mét capaciteit), daalt het percentage voertuigen waarvoor geen aansluiting beschikbaar is tot 16% in 2033. Dat betekent wel een gemiddelde toename in afstand tussen bedrijven en stations van 22%, wat niet realistisch lijkt. Scenario 4 (toedelen van voertuigen mits capaciteit beschikbaar) laat een nog lager percentage zien (11%). Hierbij kan de ingroei van elektrische vrachtwagens in eerste instantie plaatsvinden in delen van West- en Noord-Nederland en richting 2033 ontstaat hiervoor ook de mogelijkheid in de andere delen van het land. De vraag is wel hoe realistisch dit scenario is, aangezien het vereist dat het totaal aantal verwachte elektrische vrachtwagens verdeeld moet worden over een veel kleiner aantal bedrijven.

Op basis van de capaciteitskaart is er in totaal voldoende capaciteit beschikbaar, en neemt deze richting de toekomst ook sterk toe. Echter niet op alle locaties waar vraag zal ontstaan, ontstaat ook beschikbare netcapaciteit. De verschillen tussen regio's in de beschikbare capaciteit en geplande investeringen leidt tot een ongelijke verdeling van deze problematiek tussen geografisch verspreid liggende bedrijven, met als mogelijk gevolg een ongewenst effect op concurrentiepositie van bedrijven en mogelijk leidend tot herlocatie van bedrijvigheid.

Netcongestie vormt voornamelijk een belemmerende factor voor de elektrificatie van vrachtvervoer in Nederland. Van bedrijven is veel inzet en creativiteit nodig om gegeven de netcongestie elektrisch rijden mogelijk te maken. Voorlopig is de inzet van mitigatiemaatregelen cruciaal. Op termijn komt er voldoende capaciteit beschikbaar, maar niet op alle locaties.

1.2 Inleiding

Aanleiding

PBL heeft TNO gevraagd om ten behoeve van de Klimaat en Energieverkenning (KEV) vast te stellen of, en zo ja, in welke mate de netcapaciteit een beperkende factor is voor de ingroei van elektrische vrachtwagens, als vervolg op de analyse van vorig jaar (TNO, 2023¹⁴). In reactie daarop is door TNO een voorstel gedaan voor een aanpak. In overleg met het PBL is besloten deze aanpak op onderdelen uit te voeren.

Context

Uit verschillende studies komt naar voren dat de techno-economische potentie van batterij-elektrische vrachtwagens groot is¹⁵, onder meer doordat de verwachting is dat productievolumes toenemen en batterijprijzen zullen afnemen. De verwachting is dat dit zal leiden tot batterij-elektrische vrachtwagen (BEV) met lagere kostprijzen en grote inzetbaarheid. Er zijn echter factoren die de ingroei van BEV's belemmeren. In eerder onderzoek is een opsomming gegeven van verschillende belemmeringen¹⁶. Deze omvatten onder andere beschikbaarheid van voertuigen en beschikbaarheid van laadinfrastructuur. Met name rondom de beschikbaarheid van laadinfrastructuur zijn de ontwikkelingen erg onzeker. Nederland heeft nu al te maken met netcongestie en het is onzeker hoe dit zich op korte termijn ontwikkelt en wat de gevolgen daarvan zullen zijn voor de ingroei van batterij-elektrische vrachtwagens. Daarbij neemt ook de energievraag vanuit andere sectoren toe, waardoor onzeker is hoeveel ruimte op het net beschikbaar is voor de transportsector.

Uit meerdere interviews met logistieke partijen komt naar voren dat bedrijven een voorkeur hebben om laadfaciliteiten te realiseren op het eigen depot. Dit geeft maximale controle over de mogelijkheid tot het opladen en over de energiekosten. Op de korte termijn, tijdens de introductie en opschalingsfase, kan het zijn dat bedrijven genoodzaakt zijn om (vaker dan gewenst) publiek te laden, omdat er sprake is van netcongestie of omdat er nog geen laadfaciliteit op het eigen depot is gerealiseerd. Dit kan betekenen dat de optimale standplaats van voertuigen anders zal zijn dan in de huidige situatie. Ook kan de voorkeur om te laden op eigen depot ertoe leiden dat het depot ruimtelijk uitgebreid moet worden, omdat in de huidige situatie niet voor alle voertuigen ruimte is.

Het aantal elektrische vrachtwagens in de vloot van bedrijven zal geleidelijk toenemen, waarbij op logische vervangingsmomenten de aanschaf van elektrische vrachtwagens zal worden overwogen. Dit leidt ook tot een geleidelijke groei van de vraag naar laadvermogen. Zo kan het zijn dat op korte termijn netcongestie minder een rol speelt maar dat het juist bij een toenemend aantal elektrische vrachtwagens wel een rol gaat spelen.

Voor sommige bedrijven is het mogelijk om binnen het bestaande gecontracteerde vermogen een of meerdere elektrische vrachtwagens te laden. De verwachting is dat bij een toename van het aantal elektrische vrachtwagens alle bedrijven op termijn additioneel vermogen nodig hebben.

¹⁴ [TNO \(2023\), Effecten van additionele middelen voor laadinfrastructuur vrachtwagens](#)

¹⁵ [TNO-2022-P12044](#) & [TNO-2022-R11862](#)

¹⁶ [TNO-2022-P12044](#)

De energievraag op een gegeven locatie is afhankelijk van de combinatie van het aantal, de inzet en het energiegebruik van vrachtwagens. Op basis van deze energievraag kan vervolgens een laadfaciliteit worden opgezet. In het geval dat de huidige netaansluiting niet afdoende is om de benodigde energievraag te leveren zijn er verschillende opties met elk eigen voor- en nadelen. Deze zijn:

- **Verzwaren van netaansluiting:**

Deze optie brengt op korte termijn mogelijk hoge initiële kosten met zich mee en het duurt hoogstwaarschijnlijk meerdere jaren voordat dit mogelijk is. Het voordeel is dat het bedrijven maximale controle geeft over laadprijzen en toegang tot laadfaciliteiten.

- **Mitigatiemaatregelen:**

Er zijn verschillende (combinaties van) mitigerende maatregelen mogelijk, zoals:

- o Logistieke ritten anders indelen.
- o Gebruik maken van lokale duurzame elektriciteitsopwekking.
- o Stationaire opslag (binnen het gecontracteerde vermogen is er vaak gedurende de nacht nog ruimte om energie te gebruiken en ook kan lokale opwekking gebruikt worden om energieaanbod binnen het huidige contract te verplaatsen over tijd¹⁷).
- o Groepsaansluitingen achter de meter (energie delen met andere afnemers door het aangaan van een groepscontract/energiehub).
- o Delen van laadinfrastructuur.
- o Non-firm ATO (een contract die de restcapaciteit benut, zowel in tijd als in afgekaderd vermogen).

Het voordeel is dat dergelijke maatregelen vaak al op korte termijn mogelijkheden bieden.

- **Openbaar laden en anders laden:**

Als beide eerdere opties niet afdoende zijn, vanuit economisch perspectief niet interessant of als de range van een voertuig niet afdoende is, kan onderweg bij een publieke laadvoorziening bijgeladen worden. Het ligt voor de hand dat dit op hoog vermogen wordt gedaan. Andere opties zijn om gebruik te maken van het wisselen van batterijen (deze kunnen ook op het eigen depot geladen worden) of gebruik maken van een 'Electric-Road-System' (ERS). De levensvatbaarheid van dergelijke systemen is sterk afhankelijk van de schaalgrootte waarop het toegepast kan worden en of het voor gebruikers voldoende interessant wordt. Als dergelijke opties in beeld komen moet ook rekening gehouden worden met de mogelijkheid van andere energiedragers als waterstof en duurzame koolstof houdende brandstoffen.

- Het ligt voor de hand dat voor een combinatie van de genoemde opties gekozen wordt.

¹⁷ [Charge Management maakt elektrificatie van transport bij Jan Bakker mogelijk ondanks netcongestie - Duurzaam Ondernemen \(duurzaam-ondernemen.nl\)](#)

1.2.1 Scope

Om vast te stellen of, en zo ja, in welke mate de netcapaciteit een beperkende factor is voor de ingroei van elektrische vrachtwagens, nu en in de toekomst, zou bij voorkeur een integrale analyse uitgevoerd moeten worden waarvan alle hiervoor genoemde mitigatiemaatregelen onderdeel zijn.

Een dergelijke integrale analyse bestaat uit de volgende elementen (deelvragen):

1. Private vermogensvraagontwikkeling van elektrische vrachtwagens.
2. Openbare vermogensvraagontwikkeling van elektrische vrachtwagens.
3. Vermogensvraagontwikkeling van andere modaliteiten (bestel- en personenauto's) en andere sectoren (huishoudens, industrie, nutsbedrijven etc.).
4. Ontwikkeling van beschikbare netcapaciteit.
5. Potentie van mitigatieopties voor bedrijven en bedrijventerreinen inclusief lokale opwek en flexibiliteit.

Gegeven de complexiteit van het vraagstuk en het tijdspad van de KEV is in overleg met het PBL besloten om in het huidige project de elementen 1 en 4 uit te voeren. Dit is een verantwoorde inperking, omdat het niet kunnen realiseren van een laadaansluiting op eigen depot in dit kader waarschijnlijk de belangrijkste barrière is voor het aanschaffen van een elektrische vrachtwagen. Door elementen 1 en 4 uit te voeren, kan een redelijk beeld geschetst worden hoe de vermogensvraagontwikkeling op depots zich verhoudt tot de ontwikkeling van beschikbare netcapaciteit en dus ook aan welk aandeel van deze verwachte vermogensvraag waarschijnlijk niet voldaan zal kunnen worden. Concreet betekent dit dat in deze analyse de ontwikkeling van de vermogensvraag op private depots door de tijd wordt afzet tegen de beschikbare capaciteit op onderstations. Hierbij wordt aangenomen dat elk bedrijf de volledige berekende vermogensvraag als additionele energievraag ziet.

De verwachting is dat (zeker op korte termijn) een deel van de energievraag buiten het depot geladen zal worden, omdat batterijen niet voldoende capaciteit hebben voor de volledige dagtrip of omdat de laadinfrastructuur op het eigen depot nog niet gerealiseerd is. Het gevolg van het niet meenemen van de vermogensvraagontwikkeling van openbaar laden (element 2) is dat deze analyse een onderschatting is van de totale vermogensvraag door vrachtwagens. De energievraag die openbaar geladen wordt zal in veel gevallen in een korter tijdsbestek – vooral tijdens werktijden – geladen moet worden. Dit leidt vermoedelijk tot een relatief grote stijging van het benodigde aansluitvermogen.

Om de vraag te beantwoorden in welke mate netcongestie de ingroei van batterij elektrische voertuigen belemmert is het van belang ook rekening te houden met de vermogensvraag vanuit andere modaliteiten binnen de mobiliteitssector en vanuit andere sectoren (element 3). In de komende decennia zal ook daar de vraag naar energie stijgen waardoor de beschikbare capaciteit met deze energievragers gedeeld moet worden. Deze informatie speelt een belangrijke rol bij het beantwoorden van de hoofdvraag en zet deze ook in groter perspectief (de beschikbare capaciteit is nodig voor alle sectoren). In het project 'ruimte voor energie'¹⁸ wordt gewerkt aan het in kaart brengen van de ruimtelijke en temporele ontwikkeling van vermogensvraag vanuit industrie, utiliteit, landbouw, gebouwde omgeving en mobiliteit en dit wordt afgezet tegen de beschikbare netcapaciteit. Het is interessant om hier in de toekomst op aan te sluiten.

¹⁸ [Het energiesysteem ruimtelijk in beeld \(ruimtevoorenergie.nl\)](https://www.ruimtevoorenergie.nl)

Deze analyse is vooral bedoeld om tot een eerste beeld te komen van de mate waarin netcongestie een beperkende factor vormt voor de ingroei van batterij-elektrische vrachtwagens. Hiermee geeft het een indicatie van de ordegrrootte van dit vraagstuk en hoe dit zich ontwikkelt over de tijd. Om tot een meer sluitend antwoord te komen op dit vraagstuk, kan deze analyse in een eventuele vervolgstudie worden uitgebreid met elementen 2, 3 en 5.

1.3 Methode

1.3.1 Ontwikkeling van beschikbare netcapaciteit

Voor de ontwikkeling van de beschikbare netcapaciteit wordt gebruik gemaakt van de dataset “beschikbare capaciteit elektriciteitsnet” die is opgesteld door het samenwerkingsverband VIVET (Verbetering Informatie Voorziening Energie Transitie) ¹⁹.

Deze dataset geeft een indicatie van de beschikbare capaciteit op circa 400 onderstations²⁰ (zie [Figuur 1.1](#)) met een spanning van 25 kV of meer, op 4 momenten in de tijd: 2023, 2026, 2028 en 2033. De capaciteitsontwikkeling is gebaseerd op geplande investeringen zoals aangeleverd door de regionale netbeheerders. Voor de huidige analyse nemen we aan dat de beschikbare capaciteit in tussenliggende jaren niet verandert. Op basis van de dataset is niet duidelijk of de geplande investeringen al voor het aangegeven zichtjaar tot additionele capaciteit leidt.

Beschikbare capaciteit betekent hier het transportvermogen dat ingezet kan worden voor nieuwe initiatieven voor afname, rekening houdend met transportbeperkingen op het hoogspanningsnet van TenneT.

¹⁹ [VIVET Verbetering Informatievoorziening Energietransitie | Planbureau voor de Leefomgeving \(pbl.nl\)](#)

²⁰ Onderstations koppelen het hoogspanningsnet van TENNET met de middenspanningsnetten van de regionale netbeheerders



Figuur 1.1: Kaart van onderstations uit VIVET dataset.

Overbelasting

Het netvlak met een spanning van 25 kV is het hogere middenspanningsniveau. Op dit spanningsniveau worden o.a. industrie, glastuinbouw, wind- en zonneparken, snellaadstations en laadpleinen voor mobiliteit aangesloten. In een systeemstudie naar het elektriciteitsnet van Zuid-Holland wordt verwacht dat de overbelasting van het net op middenspanningsniveau relatief het grootst is vergeleken met lagere netvlakken²¹. Voor een laadvoorziening op het depot is een grote aansluitcapaciteit op het hogere middenspanningsniveau nodig.

De VIVET dataset geeft geen inzicht in de beschikbare capaciteit van stations met een spanning lager dan 25 kV. Dat zijn stations waaruit de netten gevoed worden waarop doorgaans particuliere en kleinere zakelijke aansluitingen zijn aangesloten.

1.3.2 Private vermogensvraagontwikkeling van elektrische HDV

Voor het bepalen van de vermogensvraag is een bottom-up aanpak gebruikt. Dat wil zeggen dat op individueel voertuigniveau analyses worden gedaan, waarna op een geaggregeerd niveau resultaten worden gepresenteerd.

Er zijn meerdere redenen dat is gekozen voor een bottom-up aanpak. In een bestaande methodiek werd voor een bepaald zichtjaar een simulatie gemaakt van dag kilometrages op voertuigniveau. Als aanvulling op deze bestaande methodologie is het doel om hier een

²¹ [Systeemstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland. Integrale systeemstudie gas, elektriciteit, CO2 en warmte: 2020-2030-2050 - CE Delft](#)

temporeel aspect aan toe te voegen. Hiervoor is het nodig om de eerder ontwikkelde methodologie te koppelen aan een wagenparkmodel omdat het van belang is om voertuigen door de tijd te volgen. Het door TNO ontwikkelde bottom-up model voor vrachtvoertuigen is hier uitermate voor geschikt omdat het op eenzelfde detail niveau modelleert, waardoor het eenvoudig mogelijk is om op dag niveau te simuleren en om voertuigen door de tijd te volgen.

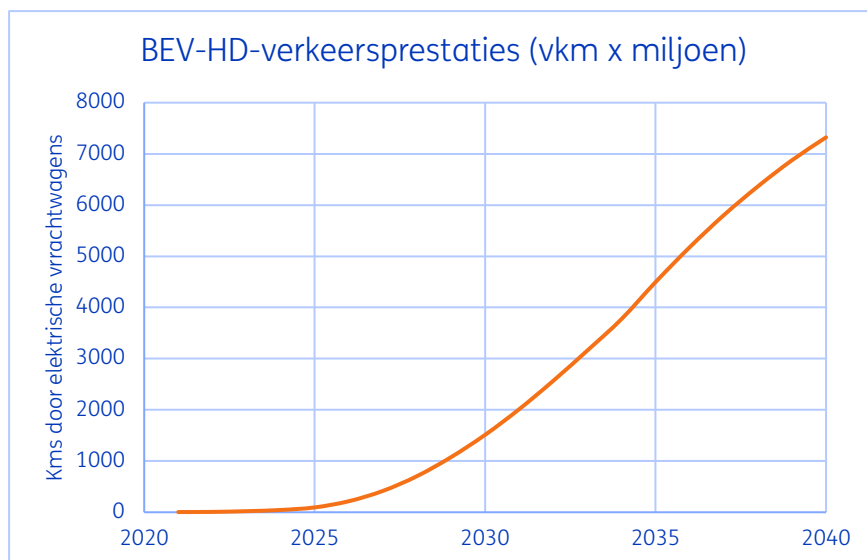
De gehanteerde aanpak bestaat uit een drietal stappen:

- Bepalen van het wagenpark door de tijd.
- Toewijzen van voertuigen aan bedrijven.
- Bepalen van vermogensvraag op bedrijfsniveau.

Tenslotte worden bedrijven gekoppeld aan het dichtstbijzijnde transformatorstation en wordt bepaald in hoeverre aan de vermogensvraag voldaan kan worden met de beschikbare capaciteit op de stations. Gegeven de vele onzekerheden zijn naast het bovengenoemde basisscenario verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze zijn beschreven in paragraaf 3.2. Iedere gevoeligheidsanalyse wijkt op een onderdeel af van het basisscenario, maar de methode blijft in de kern vergelijkbaar.

Bepalen wagenpark

Omdat wordt uitgegaan van een bottom-up aanpak is het nodig om individuele voertuigen te modelleren. Hiervoor is gebruik gemaakt van een bottom-up wagenparkmodel van TNO²². Dit stochastische model volgt voertuigen op individueel niveau: in welk jaar een vrachtwagen aan de Nederlandse vloot wordt toegevoegd en wanneer deze uitvalt. Per voertuig bevat het ook informatie over het voertuigtype en jaarkilometrage. De jaarkilometrages zijn gebaseerd op kansverdelingen van geobserveerde gereden kilometers per jaar in Nederland. De som van jaarkilometrages door BEV's is geijkt op basis van een prognose voor elektrische voertuigkilometers, aangeleverd door PBL, waarbij nauwelijks rekening is gehouden met netcongestie als een belemmerende factor²³, zie Figuur 1.2.



Figuur 1.2: Prognose voertuigprestaties (totaal gereden kilometers) batterij-elektrische vrachtwagens.

²² TNO, t.b.d. werktitel 'how to model long term trends in fleet development'

²³ Deze prognose is daarmee niet de KEV 2024 prognose voor voertuigkilometers van elektrische vrachtwagens.

Het resultaat van deze stap is een lijst met individuele voertuigen met de volgende informatie:

- Het jaar dat deze instroomt in de vloot
- Indien het geval, het jaar dat deze uitstroomt
- Het voertuigtype
- Per jaar het aantal gereden kilometers.

Toewijzen van voertuigen aan bedrijven

De voertuigen op basis van de voorgaande stap worden toegekend aan bedrijven. Per bedrijf wordt bepaald hoe groot de kans is dat deze een nieuw kenteken van een bepaald voertuigtype krijgt toegewezen. De kans wordt bepaald door 2 factoren:

- a. Het aantal voertuigen van dat voertuigtype waarover het bedrijf beschikte in 2020 t.o.v. het totaal aantal voertuigen van dat voertuigtype in 2020.
- b. De totale vlootomvang van het bedrijf in 2020, aangenomen dat grote bedrijven over meer middelen beschikken om de nodige investeringen te maken voor de transitie naar elektrisch. Deze beïnvloedt f_{weging} .

Dit resulteert in de volgende formule (per voertuigtype):

$$P_{toewijzing} = \frac{N_{trucks,bedrijf}}{N_{trucks,totaal}} \cdot f_{weging}$$

Per bedrijf wordt deze kans individueel voor de vier voertuigtypen berekend. Het is namelijk niet aannemelijk dat een bedrijf dat in 2020 over een grote vloot van enkel zware trekkers beschikte een heel andere vlootsamenstelling heeft in de toekomst.

Tabel 1.1: Weegfactoren voor kans op elektrisch voertuig naar vlootomvang.

Vlootomvang	N < 5	5 < N < 20	20 < N < 100	N > 100
f_{weging}	1	1.5	2	2.5

Ieder voertuig dat is toegewezen aan een bedrijf wordt om de vijf jaar opnieuw toegewezen. Ook kan een voertuig uitvallen waarna deze verdwijnt uit de vloot en daarmee ook niet langer onderdeel is van de analyse.

Deze stap resulteert in een koppeling tussen voertuigen en bedrijven. Over de periode 2020 – 2035 wordt ieder voertuig per jaar aangegeven of deze actief is en aan welk bedrijf deze gekoppeld is.

Bepalen van vermogensvraag op bedrijfsniveau

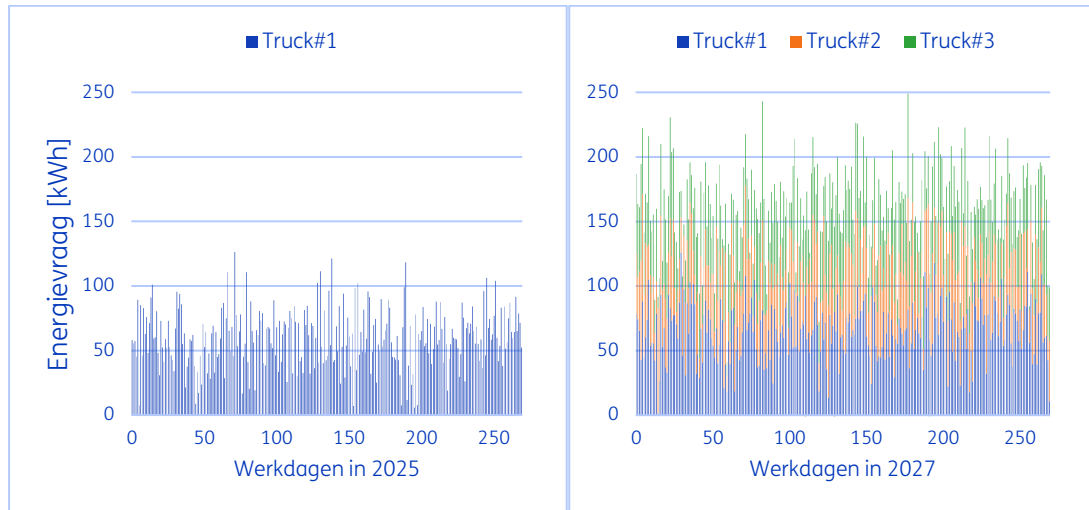
Om te komen tot een vermogensvraag op bedrijfsniveau is op voertuigniveau een simulatie gemaakt van de afgelegde afstanden per dag in een gegeven jaar. Deze dag-afstanden zijn gebaseerd op een gemiddelde dag-afstand (jaarkilometrage gedeeld door 260 werkdagen) en een standaarddeviatie²⁴. Vervolgens is op basis van het gemiddelde energieverbruik per voertuigtype zoals bepaald in eerder onderzoek²⁵ de energievraag per dag bepaald.

Vervolgens worden alle energievragen op bedrijfsniveau geaggregeerd. De resulterende vermogensvraag wordt tenslotte bepaald op basis van de dag met de hoogste energievraag en een laadtijd van 11 uur.

²⁴ [TNO-2022-R11862](#)

²⁵ [TNO-2022-P12044](#)

Op basis van onderstaande figuren van de energievraag per dag van een bedrijf in 2025 (1 BEV truck) en 2027 (3 BEV trucks) laat zien dat de piekdagen van individuele ritten uitmiddelen naar gelang de omvang van het elektrisch wagenpark toeneemt, zie Figuur 1.3.



Figuur 1.3: Energievraag per werkdag in 2025 en 2027 van een voorbeeldbedrijf.

Bedrijven koppelen aan dichtstbijzijnde onderstation

De verzorgingsgebieden van de stations in de VIVET dataset zijn gebaseerd op basis van ‘Voronoi diagrammen’. Daarmee wordt aangenomen dat ieder punt op de kaart is aangesloten op het dichtstbijzijnde station. Voor deze studie is eenzelfde aanpak gehanteerd met als aanvulling dat een bedrijf enkel aan het dichtstbijzijnde station wordt toegewezen als zowel het station als het bedrijf in het verzorgingsgebied van eenzelfde regionale netbeheerder gesitueerd zijn.

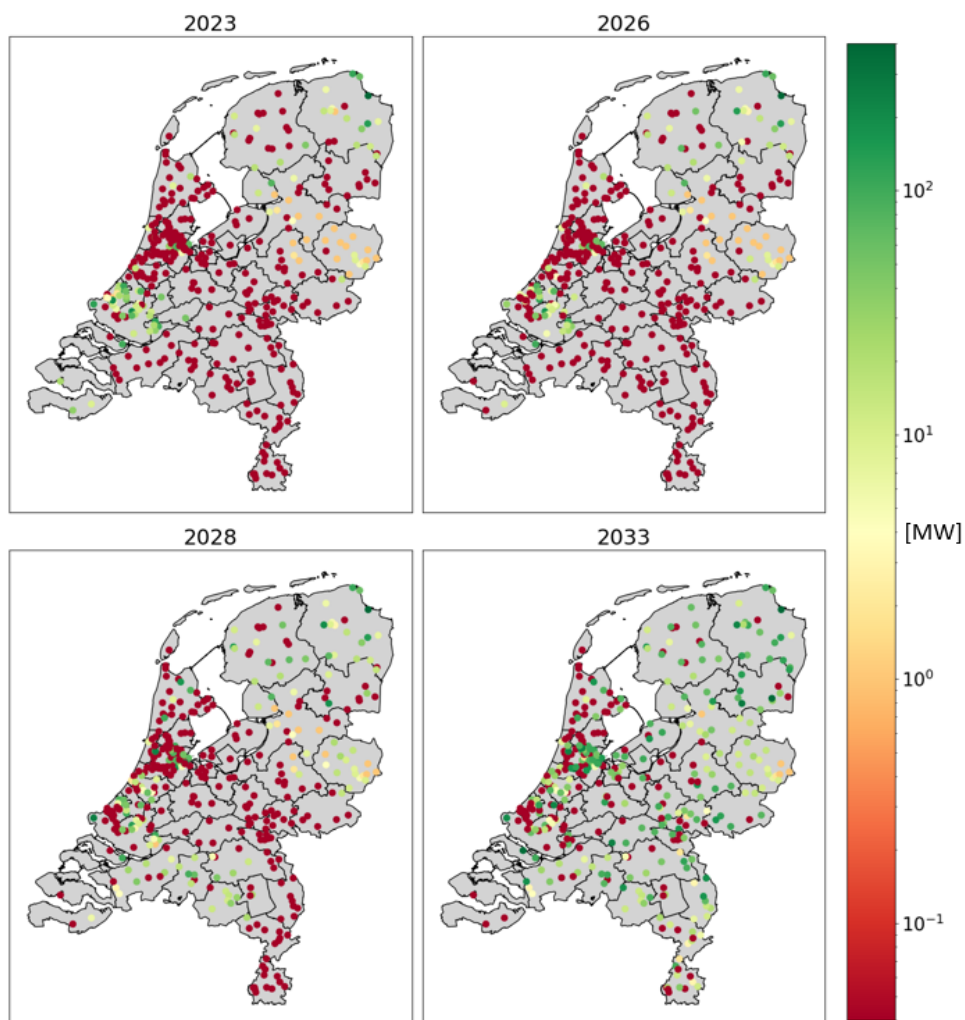
1.4 Resultaten

1.4.1 Basisscenario

In deze paragraaf worden de resultaten van het basisscenario toegelicht. Eerst wordt ingegaan op de ontwikkeling van de beschikbare capaciteit op onderstations, vervolgens wordt het gevraagde vermogen toegelicht waarna ten slotte de energiebalans op de betreffende stations is gevisualiseerd

Ontwikkeling van beschikbare capaciteit transformatorstations door de tijd

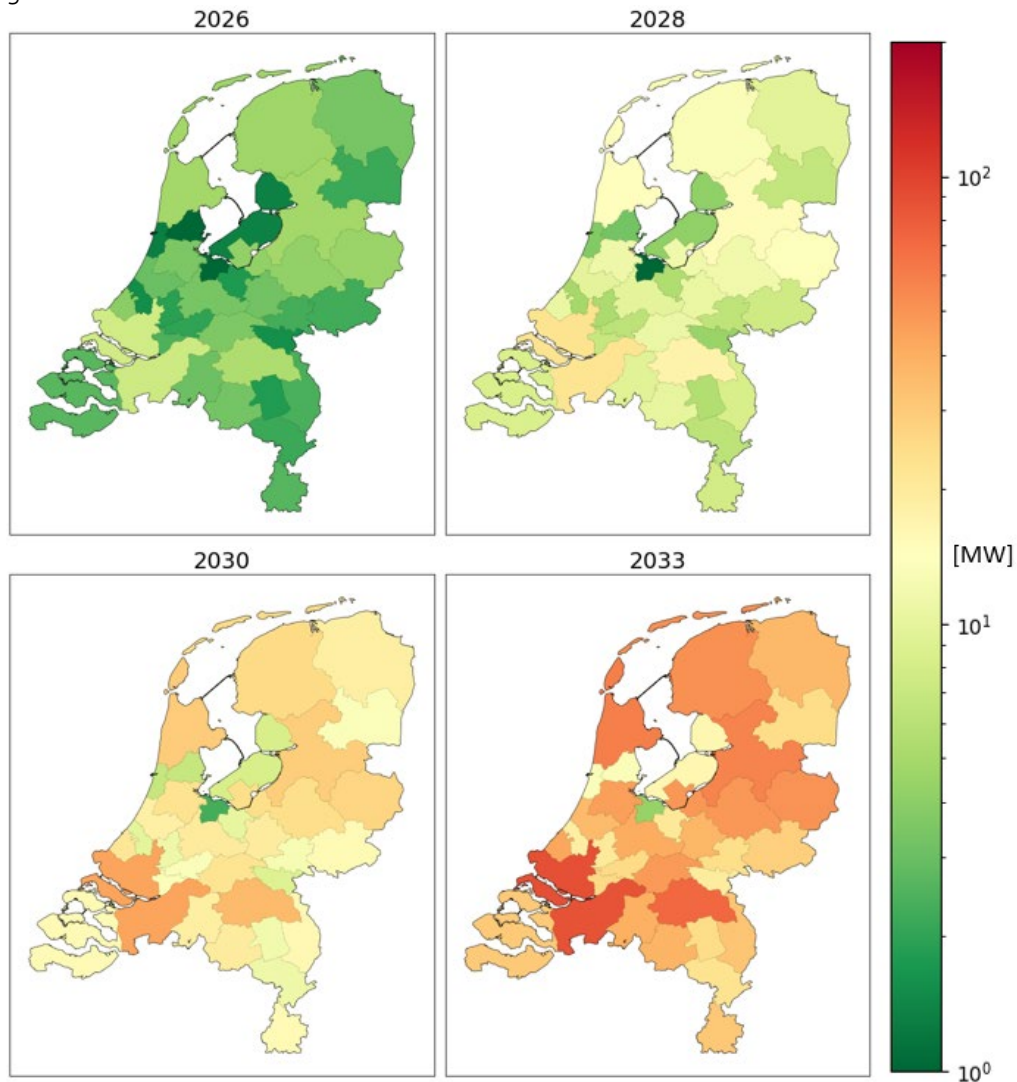
Figuur 1.4 laat de beschikbare capaciteit (in MW) van de transformatorstations zien in de jaren 2023, 2026, 2028 en 2033, uitgedrukt in een logaritmische schaal. Door de geplande investeringen is de verwachting dat de capaciteit voor de ruime meerderheid van de stations toeneemt (verschuiving van rood naar groen).



Figuur 1.4: Ontwikkeling van beschikbare capaciteit op onderstations (in MW, logaritmische schaal).

Ontwikkeling van vermogensvraag per CBS gebied

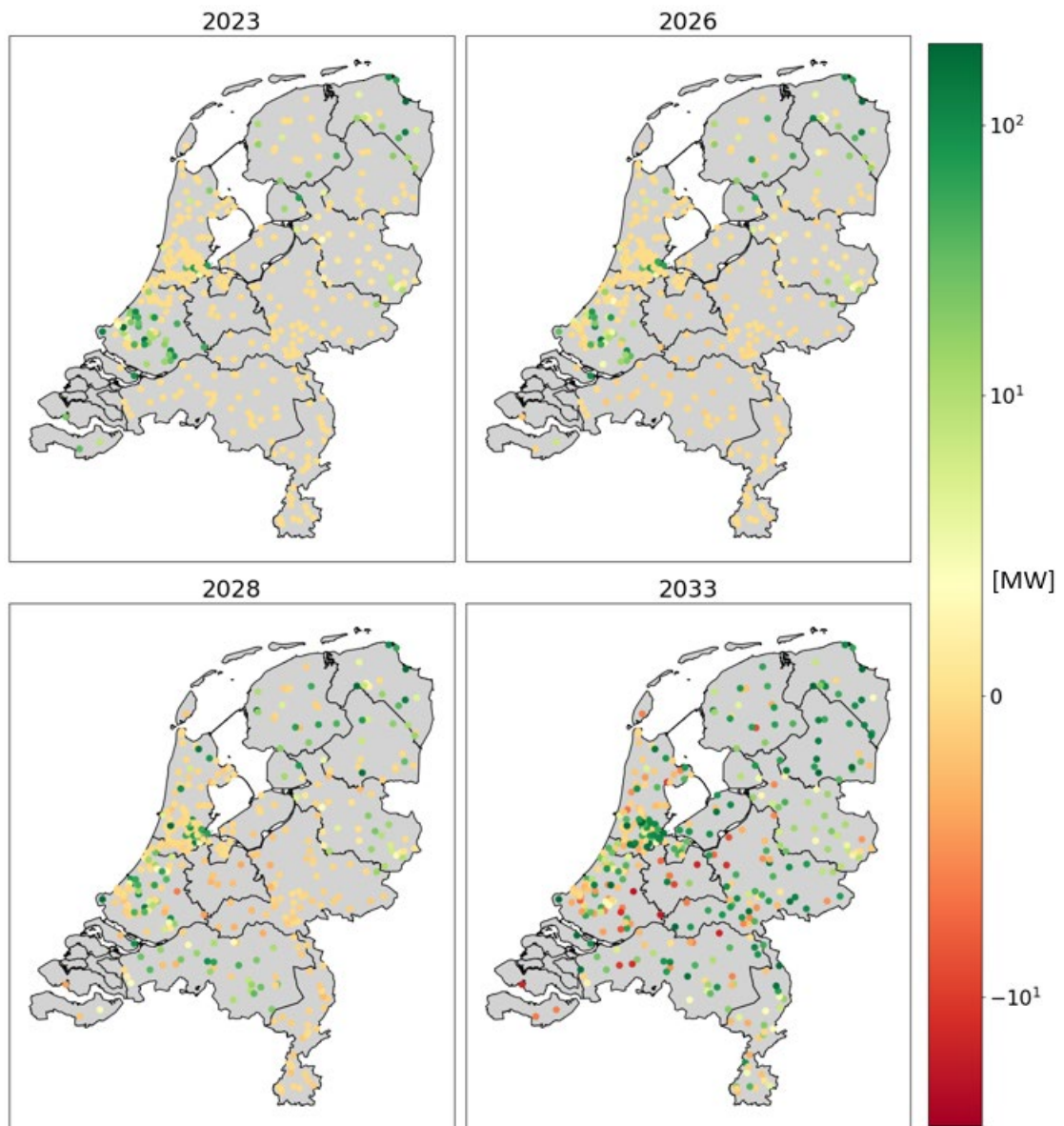
In **Figuur 1.5** is de ontwikkeling van vermogensvraag van elektrische vrachtwagens geaggregeerd op CBS gebiedsregio's. De figuur laat een sterke toename zien met name in delen van Zuid-Holland, Brabant, Gelderland, Overijssel, Drenthe en Noord-Holland Noord. Het resultaat is een gevolg van de verdeling van logistieke bedrijven over de verschillende gebieden.



Figuur 1.5: Ontwikkeling van vermogensvraag per CBS gebied (in MW, logaritmische schaal).

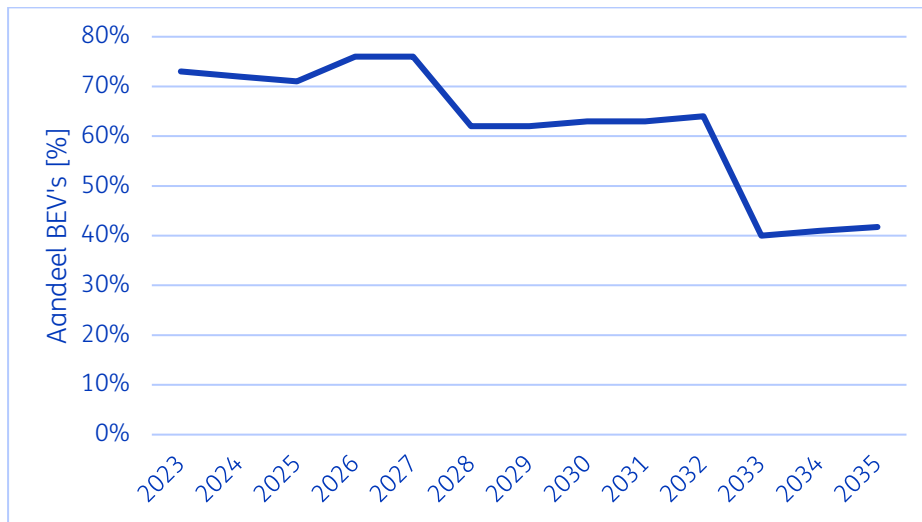
Energiebalans op onderstations

In **Figuur 1.6** is de energiebalans per onderstation gevisualiseerd. Deze is bepaald door de vermogensvraag van aangesloten bedrijven in mindering te brengen op de beschikbare capaciteit van het betreffende station. Bij een licht-oranje kleur is de capaciteitsbalans negatief en treedt er overbelasting op. In 2023 en 2026 is er vrijwel overal in het land sprake van overbelasting op de onderstations, met uitzondering van Zuidwest en Noordoost Nederland. In 2028 verbetert het beeld, maar blijven met name Limburg, Gelderland en Utrecht achter. Richting 2033 neemt de capaciteit in alle gebieden toe, maar slaat de balans voor sommige stations negatief uit ten opzichte van 2028.

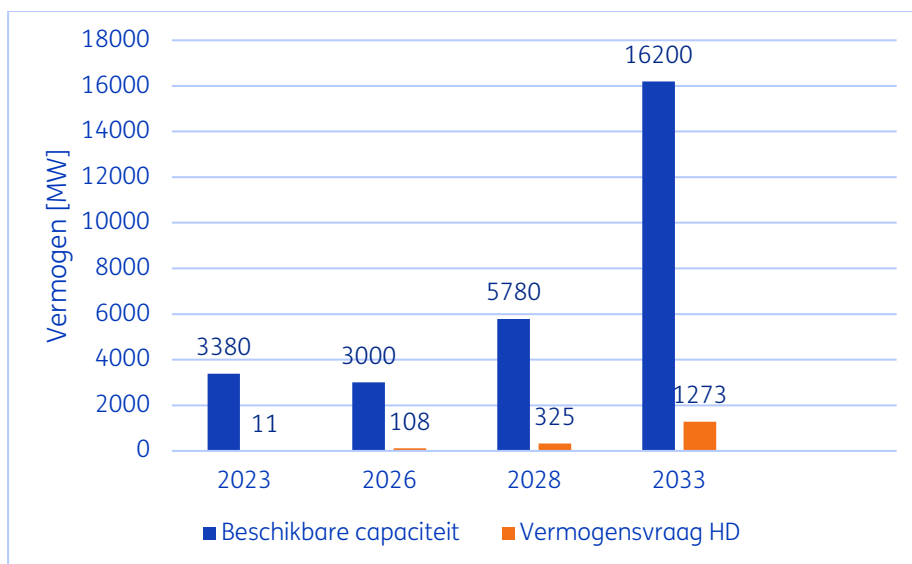


Figuur 1.6: Energiebalans op onderstations (in MW, logaritmische schaal). Vanaf een licht-oranje kleur is de balans negatief, wat betekent dat het onderstation overbelast is.

Figuur 1.7 laat het aandeel elektrische vrachtwagens zien waarvoor geen capaciteit beschikbaar is gebaseerd op de ontwikkeling van beschikbare capaciteit zoals beschreven in 1.3.1. Tussen 2023 en 2026 neemt het aandeel elektrische vrachtwagens waarvoor geen capaciteit beschikbaar is nog toe tot ca. 75%, doordat de elektrische vloot harder groeit dan de beschikbare capaciteit op de geselecteerde middenspanningsstations. Daarna neemt het af naar ca 40% in 2033. Na 2026 neemt het beschikbare vermogen op een aantal van de knelpunten sneller toe dan de vraag vanuit zwaar wegtransport. Dit blijkt ook duidelijk uit de toename van de totale beschikbare capaciteit in relatie tot de toename van de totale vermogensvraag, zie **Figuur 1.8**. Het feit dat desondanks in 2035 nog steeds ruim 40% van de verwachte registraties geen capaciteit beschikbaar heeft betekent dat dit vooral komt door geografische verschillen tussen vraag en aanbod. (N.B. deze percentages kunnen niet 1-op-1 doorvertaald worden naar de ingroei-resultaten van de KEV-2024).



Figuur 1.7: Aandeel BEV's zonder beschikbare capaciteit door de tijd²⁶.

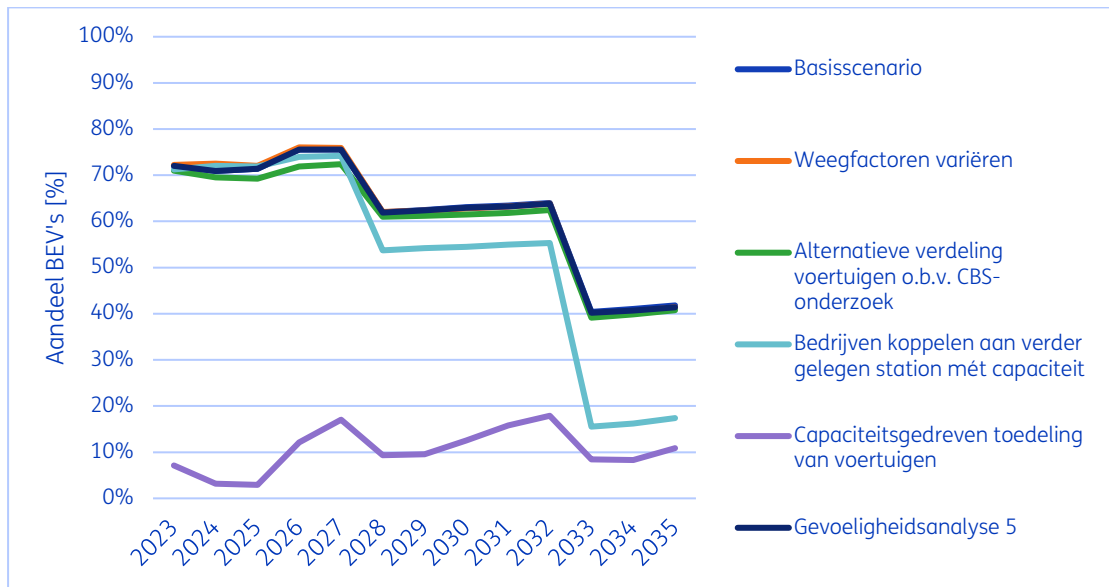


Figuur 1.8: Ontwikkeling van totaal beschikbare capaciteit vs vermogensvraag [MW].

1.4.2 Gevoeligheidsanalyses

In **Figuur 1.9** zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyses op het aandeel belemmerde elektrische vrachtwagens in het wagenpark gevisualiseerd. Gevoeligheidsscenario's 1, 2 en 5 leiden grofweg tot hetzelfde resultaat als het basisscenario. Gevoeligheidsscenario 3 (bedrijven koppelen aan dichtstbijzijnde station met beschikbare capaciteit) leidt richting 2033 tot een significant beter resultaat. Gevoeligheidsanalyse 4 (voertuigen toedelen mits bedrijf capaciteit heeft) leidt tot een veel lager aandeel BEV's waarvoor geen capaciteit beschikbaar is. De resultaten van de scenario's worden in wat volgt individueel toegelicht.

²⁶ De VIVET dataset geeft inzicht in de beschikbare capaciteit in steekjaren 2023, 2026, 2028 en 2033, echter kan uit de data niet gehaald worden wat de beschikbare capaciteit zal zijn in tussenliggende jaren. Er is gekozen om niet te interpoleren over deze jaren, omdat de capaciteit op een locatie in werkelijkheid niet geleidelijk toeneemt. De vermogensvraagontwikkeling is wel berekend voor ieder jaar. De sprongen die in de figuur gemaakt worden van 2025 - 2026, 2027 - 2028 en 2032 - 2033 zijn in de praktijk waarschijnlijk meer geleidelijk.



Figuur 1.9: Uitkomsten gevoeligheidsanalyses op aandeel BEV's zonder aansluitcapaciteit.

Gegeven de vele onzekerheden en aannames die worden gedaan in de analyses zijn naast het basisscenario vijf gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze zijn:

1. Aangepaste weegfactoren voor het toewijzen van voertuigen aan bedrijven

De weegfactoren die worden gebruikt in het toewijzen van voertuigen aan bedrijven worden aangepast. Hierbij worden twee varianten toegepast (zie Tabel 1.2):

- A. Variant met alle weegfactoren gelijk, de-facto geen weegfactoren.
- B. Variant met grotere differentiatie tussen weegfactoren.

Tabel 1.2: Weegfactoren gebruikt in gevoeligheidsanalyse vergeleken met basisscenario.

Vlootomvang	N < 5	5 < N < 20	20 < N < 100	N > 100
f_{weging} (basisscenario)	1	1.5	2	2.5
f_{weging} (variant 1A)	1	1	1	1
f_{weging} (variant 1B)	1	2	3	4

Deze gevoeligheidsanalyses leiden niet tot een significant verschil in de resultaten. Figuur 1.10 laat het resultaat zien van variant 1A. Variant 1B is weggelaten uit de figuur, omdat het resultaat nagenoeg overlapt met het basisscenario.

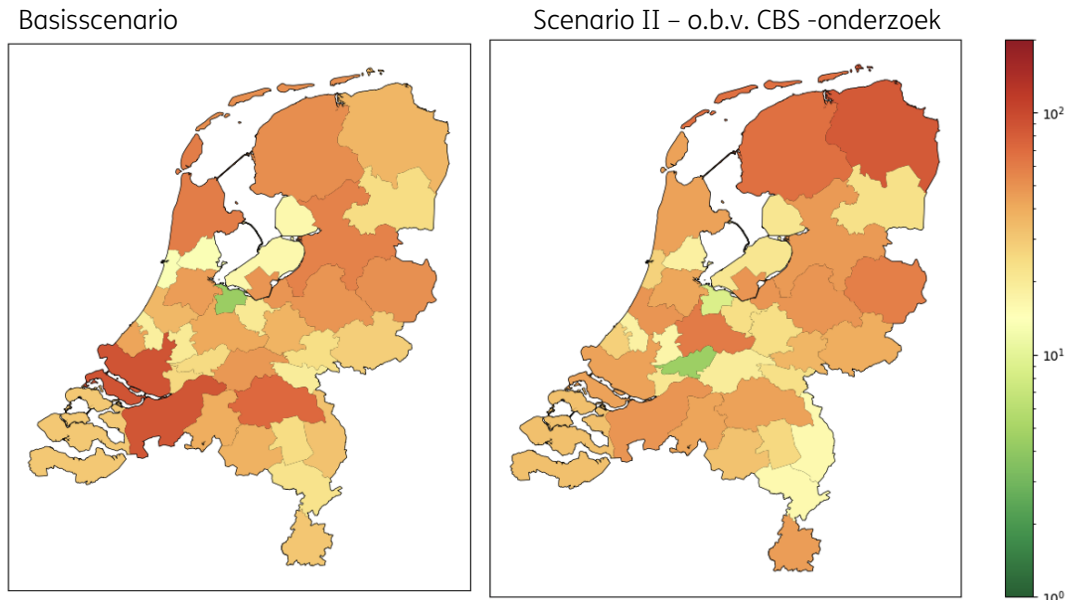
2. Alternatieve verdeling van voertuigen gebaseerd op CBS-onderzoek²⁷

In plaats van de voertuigen toe te wijzen aan bedrijven worden voertuigen toegewezen aan standplaatsen zoals deze zijn gevonden in onderzoek door CBS uitgevoerd voor voertuigen die op 1-1-2022 kentekenplichtig waren (CBS gebruikt zelf hiervoor de term 'rustplaatsen'). Hierdoor is het niet mogelijk te aggregeren op bedrijfsniveau waardoor het 'uitmiddelen van piekdagen' niet optreedt en de totale vermogensvraag hoger zal uitvallen.

Deze gevoeligheidsanalyse leidt niet tot een andere uitkomst op totaalniveau. Wel is er een verschil in geografische verdeling zichtbaar, zie Figuur 1.10. Het zwaartepunt ligt bij het

²⁷ [Rustplaatsen vracht- en bestelauto's | CBS](#)

basisscenario rondom Rotterdam en het westen van Noord-Brabant, bij gevoeligheidsanalyse 2 is de vermogensvraag in het noordoosten aanzienlijk groter.



Figuur 1.10: Vermogensvraag per CBS gebied in 2033 (in MW, logaritmische schaal): basisscenario vs. gevoeligheidsanalyse 2 – locatietoedeling o.b.v. CBS-onderzoek.

3. Bedrijven koppelen aan dichtstbijzijnde station met capaciteit beschikbaar

In deze gevoeligheidsanalyse worden bedrijven gekoppeld aan het dichtstbijzijnde transformatorstation waar capaciteit beschikbaar is, onder voorwaarde dat:

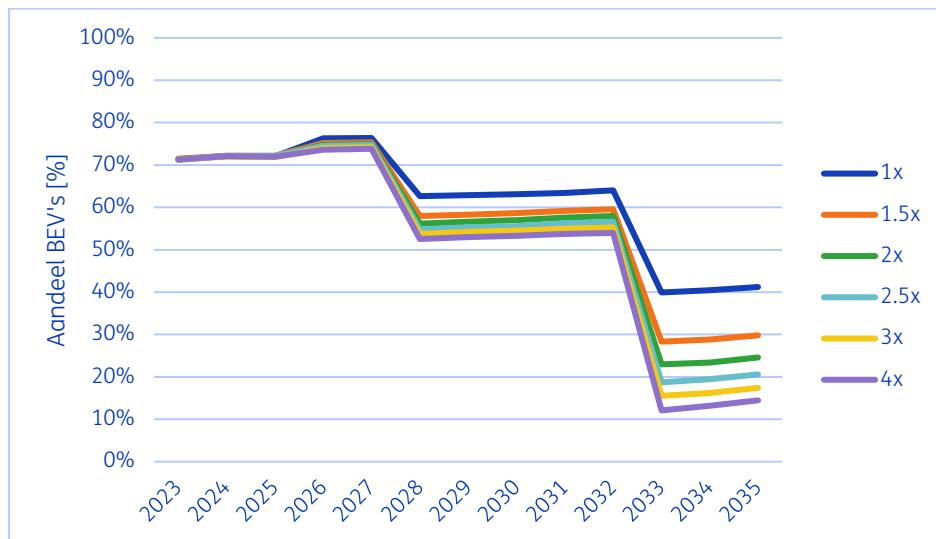
- De afstand tot het station met capaciteit beschikbaar is maximaal 3 maal de afstand tot het daadwerkelijk dichtstbijzijnde station. Dit om te voorkomen dat een groot deel van de voertuigen wordt toegewezen aan een locatie die geografisch niet aannemelijk is.
- De maximale afstand tussen een bedrijf en een onderstation is nooit meer dan de maximale afstand die is gevonden in het basisscenario.

In deze gevoeligheidsanalyse daalt het aandeel voertuigen waarvoor geen capaciteit beschikbaar is sterk, het aandeel van 40% in 2033 daalt naar 16%. Wel leidt dit ertoe dat voor een behoorlijk deel van de bedrijven de afstand tot het bijbehorende onderstation aanzienlijk toeneemt, gemiddeld neemt dit met 22%. In [Tabel 1.3](#) staat per afstandstoenamecategorie aangegeven hoeveel procent van de bedrijven daarbinnen valt en hoeveel de gemiddelde afstand toeneemt voor betreffende categorie. Voor 69% van de bedrijven wijzigt de situatie niet, echter neemt bijvoorbeeld voor 4% van de bedrijven de gemiddelde afstand toe van 3.3 naar 9.0 km.

Tabel 1.3: Per afstandstoenamecategorie (factor waarmee de afstand tussen bedrijf en onderstation toeneemt in scenario 3) het aandeel bedrijven en de toename van gemiddelde afstand tot onderstation.

Afstandstoenamecategorie	Aandeel bedrijven	Toename gemiddelde afstand tot onderstation
Geen toename	69%	Blijft 4.2 km
1 - 1.5	14%	Van 6.1 km naar 7.4 km
1.5 - 2	8%	Van 4.9 km naar 8.3 km
2 - 2.5	5%	Van 4.3 km naar 9.6 km
2.5 - 3	4%	Van 3.3 km naar 9.0 km

Additioneel is gevarieerd met de maximale afstand tussen het station met capaciteit en bedrijven, zie **Figuur 1.11**. Een toename van de factor leidt ook tot een toename van de gemiddelde afstand.



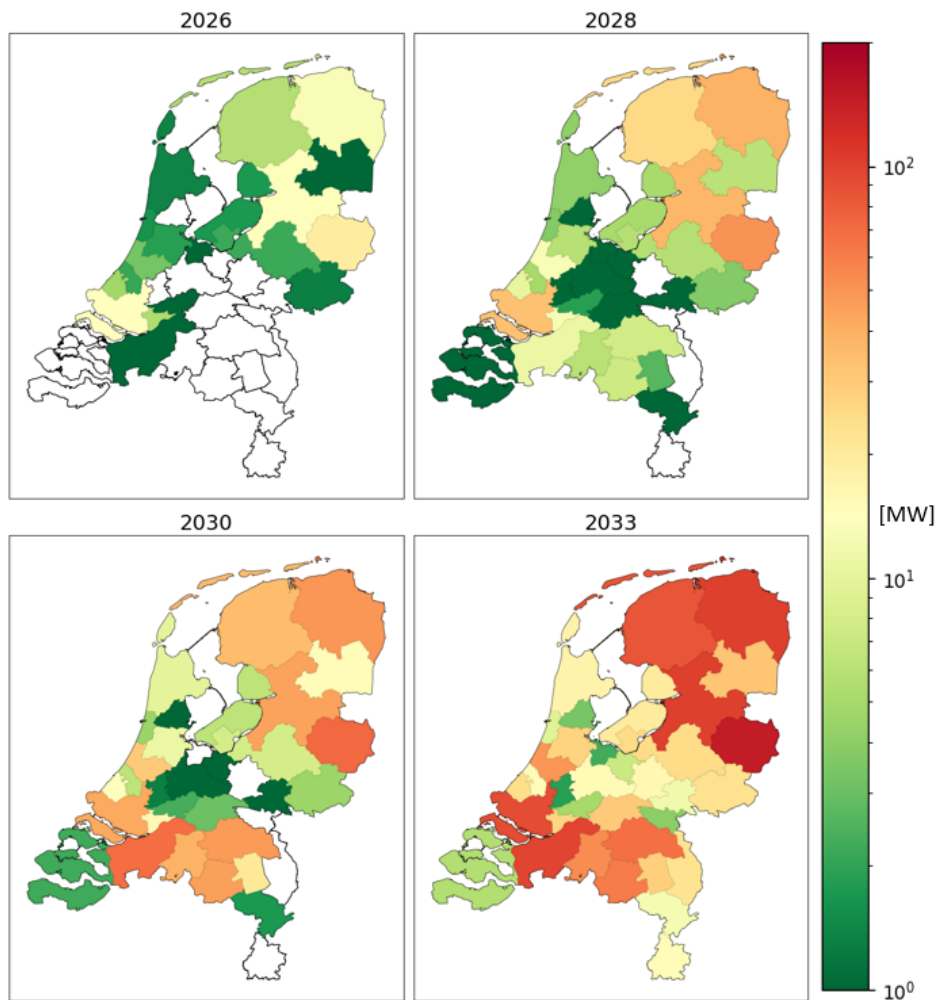
Figuur 1.11: Aandeel belemmerde voertuigen in de elektrische vloot over tijd bij variërende maximale relatieve afstand tussen onderstations met beschikbare capaciteit en bedrijven.

4. Toedeling van voertuigen aan bedrijven die zijn aangesloten op stations met beschikbare capaciteit

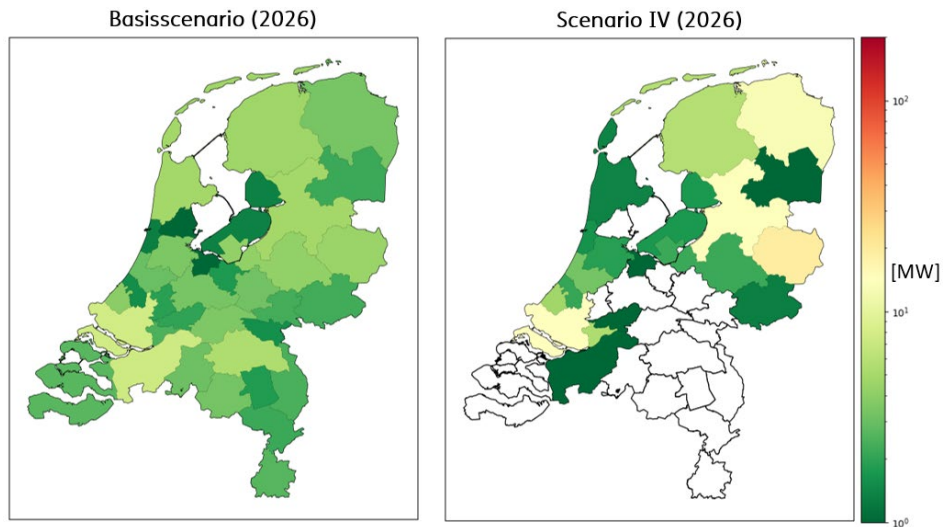
In deze gevoeligheidsanalyse wordt de aanpak van het basisscenario omgedraaid. Voertuigen worden niet eerst toegewezen aan bedrijven om vervolgens te controleren of dit technisch mogelijk is, maar in plaats daarvan worden voertuigen alleen toegewezen aan bedrijven waarvan het dichtstbijzijnde transformatorstation capaciteit heeft. Voorwaarde daarbij is dat de omvang van de vloot van een bedrijf ten opzichte van de totale Nederlandse vloot niet groter is dan in het basisjaar (2020).

In deze gevoeligheidsanalyse is de beschikbare capaciteit op het hogere middenspanningsnet nauwelijks een beperkende factor voor de ingroei van BEV's (zie **Figuur 1.12**). **Figuur 1.12** laat de ontwikkeling van vermogensvraag verspreid over Nederland zien in 2026, 2028, 2030 en 2033. In eerste instantie kunnen elektrische vrachtwagens ingroeien in delen van West- en Noord-Nederland. Richting 2033 kan er ook voldaan worden aan de vraag in de andere delen van het land.

De vraag is wel hoe realistisch dit scenario is, aangezien de elektrische vrachtwagens verdeeld zouden moeten worden over een veel kleiner aantal bedrijven. Tot 2026 kan ruim 20% van de bedrijven beschikken over een aansluiting, richting 2028 neemt dit toe naar 35% en richting 2033 neemt dit verder toe naar 63%.



Figuur 1.12: Ontwikkeling van vermogensvraag per CBS gebied gevoeligheidsanalyse 4 (in MW, logaritmische schaal).



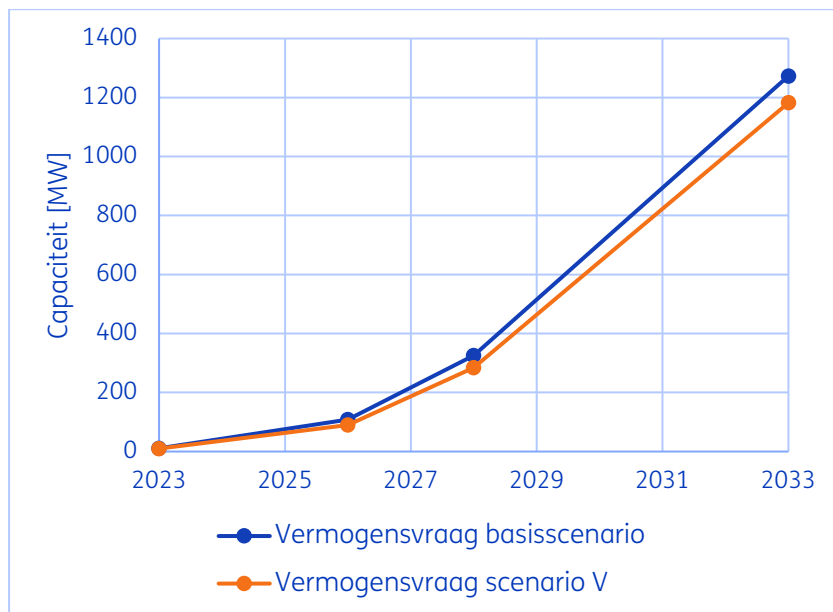
Figuur 1.13: Vermogensvraag per CBS gebied in 2026: basisscenario vs gevoeligheidsanalyse 4.

5. Vermogensvraag ‘optimaliseren’ op stationsniveau

Het benodigde vermogen op een depot wordt in het basisscenario bepaald door de piekdagen van een jaar op bedrijfsniveau. Hoe meer elektrische vrachtwagens een bedrijf heeft, hoe meer de piekdag relatief gezien uitmiddelt.

Dit mechanisme geldt ook als bedrijven samenwerken in collectieve hubs. Om de impact van dit idee te benaderen, wordt in deze gevoeligheidsanalyse de piekvermogensvraag bepaald op het onderstation waar de dag-afstanden van alle elektrische vrachtwagens die hierop aangesloten zijn worden geaggregeerd.

Deze gevoeligheidsanalyse leidt tot een afname van de totale vermogensvraag van 8% in 2033, zie [Figuur 1.14](#). Dit laat zien dat samenwerking kan leiden tot een significante afname van de vermogensvraag.



Figuur 1.14: Ontwikkeling totale vermogensvraag basisscenario vs. gevoeligheidsanalyse 5.

1.5 Conclusies en discussie

Doelstelling van deze analyse is om een globaal beeld te schetsen van de mate waarin netcapaciteit een beperkende factor is voor de ingroei van elektrische vrachtwagens. Netcongestie blijkt een belemmerende factor te zijn voor de elektrificatie van het vrachtvervoer in Nederland. Van bedrijven is veel inzet en creativiteit nodig om gegeven de netcongestie elektrisch rijden mogelijk te maken. Met name op korte termijn vormen mitigatie maatregelen een belangrijke oplossingsrichting voor bedrijven.

In 2025 is voor circa 70% van de verwachte voertuigen geen directe aansluitcapaciteit op het eigen depot beschikbaar. Richting 2033 daalt dit aandeel als gevolg van additionele investeringen in capaciteit naar circa 40% terwijl gelijktijdig het verwachte aantal elektrische kilometers sterk stijgt.

Op basis van de capaciteitskaart is er in totaal voldoende capaciteit beschikbaar, en neemt deze richting de toekomst ook sterk toe. Echter niet op alle locaties waar vraag zal ontstaan, ontstaat ook beschikbare netcapaciteit. De verschillen tussen regio's in de beschikbare capaciteit en geplande investeringen leidt tot een ongelijke verdeling van deze problematiek tussen geografisch verspreid liggende bedrijven, met als mogelijk gevolg een ongewenst effect op concurrentiepositie van bedrijven en mogelijk leidend tot herlocatie van bedrijvigheid.

De meeste gevoeligheidsanalyses komen tot een vergelijkbaar resultaat. In gevoeligheidsanalyse 3 (bedrijven koppelen aan dichtstbijzijnde station met beschikbare capaciteit) daalt het aandeel voertuigen waarvoor geen aansluiting beschikbaar is naar 16% in 2033, maar lijkt deze gegeven de toename in afstand (22%) tussen bedrijven en stations niet erg realistisch. Scenario 4 (toedelen van voertuigen mits capaciteit beschikbaar) laat een nog lager percentage zien (11%). Hierbij kan de ingroei van elektrische vrachtwagens in eerste instantie plaatsvinden in delen van West- en Noord-Nederland en richting 2033 ontstaat hiervoor ook de mogelijkheid in de andere delen van het land. De vraag is wel hoe realistisch dit scenario is, aangezien het vereist dat het totaal aantal verwachte elektrische vrachtwagens verdeeld wordt over een veel kleiner aantal bedrijven. Ook laat dit zien dat de beschikbare capaciteit richting 2033 ongelijk verdeeld is over het land.

Discussie

In deze analyse is de ontwikkeling van de vermogensvraag op private depots door de tijd afgezet tegen de beschikbare capaciteit op onderstations. Hiermee worden slechts twee van de vijf geïdentificeerde elementen afgedekt die bepalen in hoeverre netcapaciteit een beperkende factor is voor de ingroei van elektrische vrachtwagens. Zo is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met de ontwikkeling van de vermogensvraag voor openbare laadpleinen voor zwaar materieel. De verwachting is dat (zeker op korte termijn) een deel van de energievraag buiten het depot geladen zal worden, omdat batterijen niet afdoende capaciteit hebben, of omdat de laadinfrastructuur op het eigen depot nog niet gerealiseerd is. Het gevolg hiervan is dat deze analyse een onderschatting is van de totale vermogensvraag door vrachtwagens. De energievraag die openbaar geladen wordt zal in veel gevallen in een korter tijdsbestek geladen moeten worden. Gegeven dat deze energievraag geografisch verspreid zal zijn, leidt dit tot een relatief grote stijging van de vermogensvraag.

Als er op basis van deze analyse geen capaciteit beschikbaar is, wil dat niet zeggen dat er geen mogelijkheden zijn om voertuigen te laden. Het laat alleen zien dat er geen

gegarandeerde aansluitingscapaciteit meer mogelijk is. Andere mogelijke oplossingen zijn: binnen de bestaande aansluiting de restcapaciteit benutten, een tijdgebonden contract afsluiten (vormen van capaciteit beperkende contracten) of door samen te werken met andere bedrijven in de omgeving die op eenzelfde knooppunt zijn aangesloten. Flexibilisering van logistiek kan ook ruimte bieden om optimaal gebruik te maken van hernieuwbare energie en is hier niet onderzocht.

Ook kan het zijn dat binnen het bestaande gecontracteerde vermogen mogelijkheden zijn om één of enkele elektrische vrachtwagens te laden waardoor het aandeel elektrische vrachtwagens waarvoor geen capaciteit beschikbaar is wordt overschat. Hier is geen gevoeligheidsanalyse naar gedaan.

De grootste impact op de beschikbare capaciteit voor elektrische vrachtwagens is mogelijk de concurrentie die zal ontstaan vanuit andere modaliteiten (binnen de mobiliteitssector) en andere sectoren waar de energievraag naar verwachting fors zal toenemen. Al deze punten samen laten zien dat de huidige analyses slechts een deel zijn van het uiteindelijke antwoord en ook op die manier geïnterpreteerd moeten worden.

De gebruikte VIVET dataset (dataset beschikbare capaciteit elektriciteitsnet) geeft goede inzichten in vermogens tot circa 49 MW. Bij grotere vermogensvragen kan het zijn dat er op een ander (hoger gelegen) netvlak congestie ontstaat. Verder is het onduidelijk welke vraagontwikkeling al rekening mee is gehouden in de verwachte beschikbare capaciteit ontwikkeling in VIVET. De VIVET dataset wordt inmiddels niet meer geüpdatet; op korte termijn wordt een meer gedetailleerde opvolger verwacht. Het model dat in deze analyse is gebruikt, is voorbereid voor een overgang op de verwachte meer gedetailleerde opvolger.

In een studie van Elaad uit 2023²⁸ is een vergelijkbare analyse gedaan, alleen was het doel van de studie anders. Hierbij is onderzocht wat de verwachte impact van elektrische mobiliteit is op het elektriciteitsnet in 2030 met een doorkijk naar 2035, waarbij ook rekening is gehouden met elektriciteitsvraag uit andere sectoren. De ontwikkeling van beschikbare capaciteit is in deze studie tevens gebaseerd op geplande investeringen van regionale netbeheerders. Hierbij wordt verwacht dat 35% van de onderstations overbelast zijn in 2030 en dat dit richting 2035 mogelijk verder zal stijgen (afhankelijk van toekomstige investeringsbeslissingen). In de huidige analyse van TNO wordt verwacht dat 39% van de onderstations overbelast zijn in 2033, wat ten opzichte van de Elaad studie iets hoger is dan verwacht gezien het feit dat in die studie ook de elektriciteitsvraag uit andere sectoren is meegewogen. Hierbij is het mogelijk dat Elaad beschikt over meer up-to-date gegevens van de ontwikkeling van beschikbare capaciteit, aangezien zij in direct contact staan met de regionale netbeheerders en eventuele hiaten in de dataset hebben kunnen opvullen. De verschillen zijn niet van dermate aard dat het de conclusies van de huidige analyse van TNO verandert.

²⁸ Elaad (2023), Analyse netimpact van elektrische mobiliteit. [Netimpact-analyse-mobiliteit-Totaal-excl.-G4-juni-2023-def-3.pdf](https://www.elaad.nl/netimpact-analyse-mobiliteit-Totaal-excl.-G4-juni-2023-def-3.pdf) (elaad.nl)

2 Potentie van de inzet van waterstof in de mobiliteit

Auteurs: Hans Mulder, Xander Seykens, Hein de Wilde en Maarten Verbeek

2.1 Samenvatting

Het PBL heeft TNO gevraagd inzicht te geven in de potentie van waterstof in zware wegvoertuigen. Batterijtechnologie speelt momenteel de hoofdrol in de verduurzaming van het wegverkeer. Maar de inzet van waterstof in zware wegvoertuigen is een denkbaar alternatief. Vooral nog gaat het hierbij om kleine aantallen voertuigen: per september 2024 rijden er zo'n 54 waterstof aangedreven vrachtwagens in Nederland en kan er op 21 locaties worden getankt.

Als gevolg van de hoge kosten en de beperkte beschikbaarheid van waterstofvoertuigen en waterstoftankinfrastructuur is de verwachting dat het aandeel waterstofvrachtwagens in de vloot beperkt zal zijn tot 2030. Dit wordt sterk bepaald door de hoge productie- en distributiekosten van waterstof en de lagere energie-efficiëntie van waterstofvoertuigen in vergelijking met batterij-elektrische voertuigen. Voor waterstofbrandstofcelvoertuigen geldt bovendien dat de productiekosten nog erg hoog zijn.

Er zijn verschillende (inter)nationale beleidsmaatregelen die zero-emissievoertuigen stimuleren. Specifiek voor waterstof bestaat de Subsidieregeling Waterstof in Mobiliteit (SWiM) die subsidie aan waterstoftankstations combineert met subsidie voor de aanschaf van waterstof-aangedreven voertuigen.

Volgens de nieuwe Europese definitie kwalificeren sinds mei 2024²⁹ ook waterstofvoertuigen met een waterstofverbrandingsmotor als zero-emissie voertuigen. Mede hierom verwachten we meer vrachtwagens met een waterstofverbrandingsmotor in de tweede helft van dit decennium. Echter, het is voornog onduidelijk om wat voor aantallen dit gaat.

De potentie voor toepassing van waterstof in de mobiliteit ligt vooral daar waar de inzet van batterij-elektrische aandrijvingen lastig(er) is, bijvoorbeeld voor zeer energie-intensieve en lange afstandstoepassingen.

2.2 Inleiding

Het PBL heeft TNO gevraagd een hoofdstuk te schrijven waarin wordt ingegaan op de potentie van het gebruik van waterstof in zware wegvoertuigen. Nederland staat in de beginfase van een transitie naar een duurzaam mobiliteitssysteem. Op basis van de huidige verwachtingen lijkt batterijtechnologie een grote rol te spelen in de toekomst van mobiliteit. De inzet van waterstof in zware wegvoertuigen is een denkbaar alternatief. In deze notitie wordt nader ingegaan op de potentie van dit alternatief. Om dit nader te duiden wordt ingegaan op:

²⁹ [ID-130---EU-CO2_policy_update_final.pdf](#)

- Status en verwachte ontwikkeling van aandrijftechnologieën met waterstof als energiedrager;
- Ontwikkelingen in de markt op basis van aangekondigde productiehoeveelheden;
- Beleid gericht op waterstof in de mobiliteit en zwaar wegverkeer in het bijzonder;
- Beschrijving van KPI's relevant voor introductie en opschaling van waterstof-aangedreven voertuigen.

2.3 Beschrijving van aandrijftechnologieën met waterstof als energiedrager

Voor toepassing van waterstof in mobiliteit zijn twee technologiesporen in ontwikkeling, de waterstofbrandstofcel (FC) en de waterstofverbrandingsmotor. In deze paragraaf zal kort worden ingegaan op de ontwikkelingen van beide sporen.

Waterstofbrandstofcel

In een waterstofbrandstofcel wordt waterstof omgezet in elektriciteit met behulp van zuurstof uit de lucht. Bij deze omzetting komen geen CO₂, NO_x of andere luchtverontreinigende emissies vrij. De meest kansrijke technologie op de middellange termijn voor inzet in de mobiliteit is de 'Polymer Electrolyte Membrane' (PEM) brandstofcel technologie. Onderzoek en ontwikkeling van deze technologie richt zich met name op verbetering van het systeemrendement, betrouwbaarheid, levensduur en vermindering van het gebruik van kritieke materialen³⁰. Brandstofceltechnologie vereist een hoge waterstofkwaliteit, een zuiverheid van 99,97%. In de AFIR³¹ wordt geëist dat de kwaliteit van de aan de mobiliteitssector geleverde waterstof toepasbaar is voor een PEM brandstofcel, waardoor deze hoge kwaliteit wordt afgedwongen.

Waterstofverbrandingsmotor

Waterstof kan op verschillende manier worden toegepast in verbrandingsmotoren. **Figuur 2.1** geeft een overzicht van concepten die in ontwikkeling zijn, gericht op zwaar transport. Grofweg zijn er twee typen motoren: motoren met vonkontsteking (SI) en motoren met zelfontsteking (CI).

Voor motoren met een vonkontsteking zijn er twee varianten:


- Port Fuel Injection (PFI): een verbrandingsmotor waarbij waterstof wordt geïnjecteerd in de inlaatpoort.
- Low Pressure Direct Injection (LP-DI): een verbrandingsmotor waarbij waterstof direct in de verbrandingskamer wordt geïnjecteerd tijdens de compressieslag onder lage druk.

Voor motoren met zelfontsteking zijn er ook twee varianten:

- High Pressure Direct Injection (HPDI) CI: een waterstofverbrandingsmotor waarbij waterstof onder hoge druk in de verbrandingskamer wordt geïnjecteerd. Voor de ontbranding is een zeer kleine hoeveelheid ontstekingsvloeistof nodig (ca. 2-3% op energiebasis), bijvoorbeeld diesel of HVO.
- Conventional Dual Fuel CI: een verbrandingsmotor waarbij diesel onder hoge druk wordt geïnjecteerd in de verbrandingskamer die is gevuld met een waterstof-lucht mengsel. Het aandeel waterstof is hierbij gemiddeld ruim lager dan 90% op energiebasis.

³⁰ Weng, F.-B., Dlamini, M. M., and Hwang, J.-J., "Evaluation of Flow Field Design Effects on Proton Exchange Membrane Fuel Cell Performance," *International Journal of Hydrogen Energy*, p. 14866-14884, 2023 & Kleen, G., Gibbons, W., and Fornaciari, J., "Heavy-Duty Fuel Cell System Cost - 2022," DOE, 2023

³¹ De Alternative Fuel Infrastructure Regulation verplicht de EU-lidstaten om beleid te maken voor het aanleggen van tank- en laadinfrastructuur voor een aantal nieuwe energiedragers waaronder elektriciteit en waterstof.

	PFI SI	LP-DI SI	HPDI CI	Conv. DF CI
	Fuel type	100% hydrogen		Hydrogen + ignition liquid (~97% H2 energy share)
Fuel injection type	Port Injection	Direct Injection, max. ~50 bar	Direct Injection, max. > 250 bar	Port Injection Hydrogen DI diesel
H2 ignition	Spark plug		Ignition liquid	Compression
Thermodynamic cycle	Otto Cycle	Otto Cycle	Diesel cycle	Diesel cycle

Figuur 2.1: Overzicht van waterstofverbrandingsconcepten.

Momenteel wordt vooral verwacht dat de LP-DI SI en de HPDI CI motoren de meeste potentie hebben voor toepassing in vrachtvoertuigen. Dit is met name gebaseerd op de maximale en dynamische vermogensprestaties van deze motoren. Conventionele Dual Fuel waterstofverbrandingsmotoren kunnen interessant zijn voor het retrofitten van bestaande dieselmotoren. Van al deze motoren zijn al voertuigdemo's gerealiseerd³².

Waterstofverbrandingsmotoren vereisen een lagere waterstofzuiverheid dan waterstofbrandstofcellen. Gegeven dat in de AFIR brandstofcelcompatibiliteit wordt geëist betekent dat ook toepassing in waterstofverbrandingsmotoren mogelijk is.

Europese CO₂-reductiedoelstelling.

De Europese Unie heeft een reductiedoelstelling vastgesteld voor gemiddelde CO₂-emissies van de verkoopmix van Europese vrachtwagenfabrikanten. Richting 2040 gaan steeds meer typen voertuigen deel uitmaken van deze normstelling.

De reductiedoelen betreffen een reductie van³³:

- 15% in 2025
- 43% in 2030
- 64% in 2035
- 90% in 2040.

De verwachting is dat richting 2040 zero-emissie voertuigen een steeds groter deel van de nieuwverkopen gaan uitmaken om aan van deze normstelling te kunnen voldoen.

Door toepassing van waterstof kunnen de vonkontstekingsmotoren (PFI, LP-DI) voldoen aan de zero-emissie definitie zoals vastgelegd in de herziening van de CO₂-emissionormen voor nieuwe vrachtwagens³⁴ (CO₂ < 3g/tkm). Hoewel de HPDI-CI-motor een koolwaterstofhoudend ontstekingsmiddel gebruikt, is het aandeel waterstof in het energiegebruik dermate hoog (ca 97-98%) dat deze voldoet aan de Europese definitie van een zero-emissievoertuig. Bij de conventionele Dual Fuel waterstofverbrandingsmotoren is het aandeel waterstof minder dan 90%. Dit maakt CO₂-reducties mogelijk van ca. 45-60% ten opzichte van dieselveertuigen. Daarmee kan dit concept wel bijdragen aan de

³² Seykens, X., Bekdemir, C. van Gompel, P., How can Hydrogen Combustion Engines Contribute to Realizing Climate Targets? VDI-Berichte Nr. 2417, 2023

³³ Annex 1, punt 4.3.1. van Verordening 2024/1610

³⁴ [Regulation - EU - 2024/1610 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

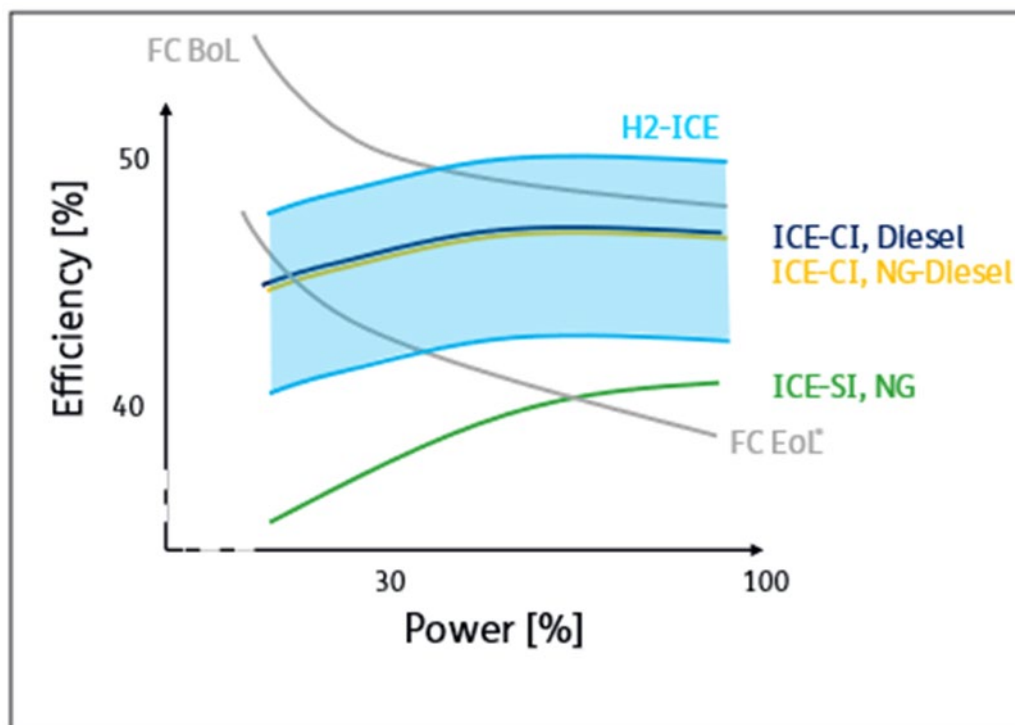
doelstellingen voor 2030 en 2035, maar kan deze technologie niet als zero-emissie worden geclassificeerd conform de definitie in de CO₂-richtlijn.

Vervuilende emissies (NO_x)

Alle waterstofverbrandingsmotorconcepten hebben de potentie om aan de Euro 7 emissiewetgeving³⁵ te voldoen. De SI-waterstofverbrandingsmotoren worden gekenmerkt door grote potentie voor extreem lage motor-uit NO_x-emissies. Eerste generatie SI-waterstofmotoren voor trucks zullen nog uitlaatgasnabehandeling hebben. Onderzoek richt zich op reductie/eliminatie van uitlaatgasnabehandeling, wat kosten bespaart. HPDI-waterstofmotoren hebben een motor-uit NO_x-emissie die gelijkaardig is met die van een conventionele dieselmotor. Voor Euro 7 toepassingen is daarom nabehandeling nodig, vergelijkbaar met wat op dieselmotoren wordt toegepast. Voor alle waterstofmotoren geldt dat voor een gelijke technologie-stand van uitlaatgasnabehandeling de NO_x-emissies aan de uitlaat lager kunnen zijn dan die van equivalente dieselmotoren. Dit komt doordat waterstof meer effectieve warm-up strategieën mogelijk maakt waardoor met name NO_x-emissies bij koude bedrijfscondities (lage last, opwarming) beter kunnen worden gereduceerd. Bijvoorbeeld bij toepassing in staddistributie.

Motorrendement

De rendementscurves van waterstofbrandstofcelmotoren (FC) en waterstofverbrandingsmotoren (H₂-ICE) kennen een tegengesteld verloop. Waar het rendement van een brandstofcel afneemt bij een toenemend vermogen geldt dit voor waterstofverbrandingsmotoren omgekeerd. Het rendement neemt toe bij een toenemend vermogen. Grofweg geldt dat het rendement van waterstofverbrandingsmotoren relatief gelijkaardig is aan dat van dieselmotoren³⁶, zie **Figuur 2.2**.



Figuur 2.2: Rendementscurve waterstofconcepten: BoL Begin of Life | EoL, End of Life

³⁵ <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1257/oj>

³⁶ TNO, 2024. Hydrogen Technologies for Heavy Duty Trucks

De afname van de efficiëntie van een brandstofcel wordt grotendeels veroorzaakt door een toename van energieverliezen in het hoog-temperatuur koelsysteem³⁷. Voor hogere vermogens worden voor de brandstofcel en waterstofverbrandingsmotor vergelijkbare rendementen behaald. Het rendement van de waterstofverbrandingsmotor is afhankelijk van het gebruikte concept. De HPDI H₂-ICE aandrijflijn heeft een rendement boven de 49% met een maximaal rendement van circa 52%. De SI H₂-ICE aandrijflijn heeft een rendement boven de 40%, met een maximaal rendement van circa 43-44%.

Ten slotte is het van belang op te merken dat het rendement van een PEM-brandstofcel afneemt gedurende de levensduur. In de bovenstaande figuur is daarom een rendementscurve geschetst voor 'Begin of Life' en 'End of Life'. Verbrandingsmotoren worden juist gekenmerkt door stabiele prestaties over de levensduur.

2.4 Ontwikkelingen in de markt

In het recente verleden zijn er relatief veel aankondigingen geweest met betrekking tot de productie van brandstofcelvoertuigen. Voornamelijk door kleinere en soms ook nieuwe partijen (bijv. Nikola). Tot op heden is het aantal geproduceerde voertuigen echter beperkt; Hyundai heeft 48 waterstofbrandstofcelvrachtwagens geproduceerd en geleverd in Zwitserland. Een aantal van de geplande pilots loopt niet volgens plan en heeft nog niet geleid tot voertuigen op de weg. Ook zijn initiatieven gestopt. Recent hebben Daimler en Volvo hun krachten gebundeld in Cellcentric met als doelstelling om richting het einde van het huidige decennium serieproductie van waterstofbrandstofcellen te starten³⁸.

Verschillende gevestigde Europese vrachtwagenfabrikanten hebben gemeld waterstofverbrandingsmotoren in ontwikkeling te hebben. In het recente verleden hebben MAN en DAF al een aantal demonstratietrucks ontwikkeld. Sinds 2021 zijn er jaarlijks enkele aankondigingen en pilots voor waterstofverbrandingsmotoren. Zo heeft MAN aangekondigd een serie van 200 vrachtwagens met een verbrandingsmotor (LP-DI SI) te leveren met een actieradius van circa 600 km³⁹. Volvo heeft een pilot aangekondigd voor 2026 en geeft aan te verwachten dat vrachtwagens met een waterstofverbrandingsmotor 'tegen het einde van dit decennium' commercieel beschikbaar zullen zijn⁴⁰. Hiermee lijkt het waterstofverbrandingsconcept relatief meer tractie te krijgen dan brandstofcelconcepten, tegelijkertijd is voor beide concepten serieproductie tegen het einde van het huidige decennium aangekondigd.

Zie onderstaande tabel voor een overzicht van pilots gericht op de inzet van waterstofbrandstofcellen en waterstofverbrandingsmotoren. Een aantal van deze pilots richt zich specifiek op wegtransport, andere op maritiem, non-road of een combinatie.

³⁷ Schweizer, F., Pflanz, T., Breuer, F., Frerichs, L., et al., Fuel Cell Electric Drive Concept for Heavy-Duty Commercial Vehicles, VDI-Berichte Nr. 2417, 2023

³⁸ [cellcentric startet Pilotfertigung von Brennstoffzellensystemen – cellcentric](#)

³⁹ [MAN breidt emissievrij aanbod uit met waterstoftruck | MAN Nederland \(man-nederland.nl\)](#)

⁴⁰ [Volvo komt met trucks met waterstofverbrandingsmotor \(volvotrucks.nl\)](#)

Tabel 2.1: Overzicht pilots gericht op inzet waterstofbrandstofcellen en waterstofverbrandingsmotoren

Waterstofbrandstofcel			Waterstofverbrandingsmotor		
Project	Regio	Startjaar	Project	Regio	Startjaar
DREAM2HAUL	NL	2021	H2-ICE Low Impact Engines	US	2022
HyLoad	NL	2020	HyMot	FR	2022
CH2aRT	NL/DE	2022	Allianz Wasserstoffmotor	DE	2021
Hyundai	CH/NL	2020	BeHydro	BE	-
Quantron	SA/AT	2020	IFuture Hydrogen	IT	2023
Daimler	DE	2023	HyCentA	AT	2005
Hyzon + Holthausen	NL	2020	Japan Industry consortium	JPN	2021
H2Accelerate	EU	2023	Doosan/Hyundai	KOR	2022
HyTrucks	NL/DE	2020	Green Transport Delta Hydrogen [GTD-H]	NL	2022
CellCentric	DE	2024	DAF Trucks	NL	2021
			Westport Fuel Systems	NL/EU	2022
			MAN Truck	DE	2021
			Volvo	EU	2024

Tabel 2.2: overzicht van pilots voor FC en H2-ICE concepten

In Nederland zijn per september 2024 ruim 54 waterstof aangedreven vrachtwagens in het wagenpark. Afgaande op de RDW data betreffen dit grotendeels dieseltrucks die zijn omgebouwd tot vrachtwagens met een waterstofbrandstofcelaandrijving. Met als uitzondering een aantal Hyzon trucks en één Hyundai Xcient die dedicated als fuel cell truck zijn ontwikkeld. Kanttekening daarbij is dat Hyzon zich sinds de zomer heeft teruggetrokken van de Europese markt, ten tijde van deze analyse was dit nog niet bekend.

2.5 Beleid gericht op waterstof in mobiliteit:

Er zijn verschillende (inter)nationale beleidsmaatregelen die de introductie en opschaling van duurzame energiedragers beogen te stimuleren. Deze zijn:

- CO₂-emissienormen voor zware wegvoertuigen in Europa
- Alternative Fuels Infrastructure Directive [AFIR]
- Renewable Energy Directive [REDIII]
- Aanschafsubsidie Zero Emissie Trucks [AanZET]
- Vrachtwagenheffing [VWH]
- Zero-Emissie zones
- Subsidieregeling Waterstof in Mobiliteit (SWiM)
- ETS2 (Europees CO₂-emissiehandelsstelsel voor (vooral) gebouwde omgeving en mobiliteit)

In de eerste zes gevallen is beleid gericht op zero-emissievoertuigen. De SWiM-regeling is specifiek gericht op waterstofvoertuigen.

De huidig geldende definitie van zero-emissie voertuigen is dat dit voertuigen betreft die geen uitlaatemissies hebben. Dit wijkt af van de recent aangepaste definitie in de Europese CO₂-wetgeving voor nieuwe HD-voertuigen. Volgens deze herziene definitie geldt een voertuig als zero-emissie als de uitlaat emissies gelijk aan dan wel lager zijn dan 3 gCO₂/tkm.

In deze Europese definitie gelden HD voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor wel als zero-emissie. De vorige regering heeft middels een algemene maatregel van bestuur aangekondigd de Europese definitie over te nemen in nationale wetgeving. Hierover moet nog door de Tweede-kamer worden gestemd. In het geval deze maatregel wordt aangenomen zullen ook H₂-ICE voertuigen voldoen aan de toegangseisen voor de zero-emissiezones²³.

2.5.1 CO₂-emissionormen voor zware voertuigen in Europa

In mei 2024 is de herziene CO₂-emissionorm gepubliceerd voor (zware) vrachtvoertuigen, bussen en aanhangers en opleggers. Veruit het grootste deel van de zware vrachtvoertuigen zal op termijn onder de nieuwe norm vallen. Voor vrachtwagens die eerder niet onder de standaard vielen gelden de normen pas vanaf 2030 of 2035, ook geldt voor deze groepen een ander basisjaar. De herziene standaarden betreffen een CO₂-emissiereductie van 43% in 2030, 64% in 2035 en 90% in 2040 ten opzichte van het basisjaar⁴². De verwachting is dat met name de verkoop van zero-emissievoertuigen zal bijdragen aan het halen van de normen. Het zuiniger maken van voertuigen met koolstof houdende brandstoffen zal slechts een beperkte bijdrage leveren. Voor een meer gedetailleerd overzicht zie de policy update van de ICCT⁴³.

Onderdeel van de herziene standaard is een nieuwe definitie van zero-emissievoertuigen. Voorheen gold dat een voertuig met een uitstoot van minder dan 1 gCO₂/kWh als een zero-emissievoertuig werd gezien. In de herziene standaard geldt een norm van 3 gCO₂/tkm voor vrachtvoertuigen. Hierdoor kunnen ook voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor als zero-emissievoertuig worden geclassificeerd en kan de productie van waterstofverbrandingsmotorvoertuigen bijdragen aan het halen van de CO₂-norm die is opgelegd aan voertuigfabrikanten. Uitzondering hierop is de conventionele dual fuel waterstofverbrandingsmotor waarbij de CO₂-emissies hoger zijn dan de nieuwe definitie.

2.5.2 Alternative Fuels and Infrastructure Regulation [AFIR]

De AFIR heeft als doel om binnen de Europese Unie een netwerk van laad- en tankstations voor voertuigen met een alternatieve aandrijftechnologie te realiseren. Het kip-ei-probleem wordt hiermee opgelost. De beoogde uitrol zorgt ervoor dat beschikbaarheid van

⁴¹ Deze aangekondigde beleidswijziging is bekend geworden na 1 mei waardoor deze geen onderdeel is van de KEV. Tegelijkertijd is deze gezien de mogelijke impact wel het benoemen waard.

⁴² [Regulation - EU - 2024/1610 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\) art.4.3.1](#)

⁴³ [ID-130---EU-CO2_policy_update_\(theicct.org\)](#)

tanklocaties de uitrol van waterstofvoertuigen niet hoeft te belemmeren. In de AFIR zijn twee eisen opgenomen met betrekking tot waterstoftanklocaties.

- Voor elke 200 kilometer van het TEN-T kernnetwerk (Trans-Europees vervoersnetwerk) moet per 31-12-2030 een waterstoftankstation zijn gerealiseerd met een afzetcapaciteit van 1000 kg/dag en minimaal een dispenser van 700 bar.
- Bij elk stedelijk knooppunt moet per 31-12-2030 een waterstoftankstation zijn gerealiseerd. Hiervoor geldt geen minimale capaciteit of druk⁴⁴.

Met de herziening van het TEN-T netwerk in 2024 zijn er een aantal wijzigingen doorgevoerd waardoor nu circa 1.400 kilometer⁴⁵ van het Nederlandse wegennet onder het kernnetwerk valt. Ook is het aantal stedelijke knooppunten met de herziening sterk uitgebreid. Het aantal stedelijke knooppunten in Nederland is toegenomen tot 26⁴⁶. Dit is gevisualiseerd in [Figuur 2.3](#).

Bij een enkele lengte van het TEN-T kernnetwerk van ca. 700 km en 26 stedelijke knooppunten zijn er circa 30 waterstoftankstations nodig. In theorie is het mogelijk dat ook met 26 stations aan de eisen kan worden voldaan.

- In de AFIR is opgenomen dat een waterstoftankstation maximaal tien kilometer van de dichtstbijzijnde afrit mag liggen om mee te tellen voor deze doelstelling. Doordat onderdelen van het TEN-T kernnetwerk relatief dicht bij elkaar liggen kan een waterstoftankstation zo geplaatst worden dat deze voor meerdere wegen geldt.
- In de AFIR is opgenomen dat een openbaar toegankelijk waterstof tankstation bij een stedelijk knooppunt mee telt voor de TEN-T doelstelling mits aan de capaciteitseis is voldaan.
- In de AFIR is opgenomen dat lidstaten moeten samenwerken om ervoor te zorgen dat de afstandseis ook wordt gehaald bij grensgebieden. Hierdoor zal Nederland op sommige in grensgebied gelegen wegen eventueel meer en bij andere juist minder waterstoftankstations hoeven te realiseren.

⁴⁴ [Regulation - 2023/1804 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

⁴⁵ Deze 1.400 kilometer betreft dubbele rijrichting. Enkele rijrichting is ca. 700 km.

⁴⁶ [Trans-European Transport Network \(TEN-T\) - European Commission \(europa.eu\)](#)



Figuur 2.3: TEN-T kern netwerk obv. 2024/1679 | [TENtec \(europa.eu\)](https://TENtec.europa.eu) | Dikgedrukte wegen zijn TEN-T kern netwerk. Stippen zijn stedelijke knooppunten

Een inventarisatie van waterstoftankstations door WaterstofNet⁴⁷ laat zien dat momenteel 21 waterstoftankstations operationeel zijn waar ook vrachtwagens kunnen tanken. Dit komt overeen met bevindingen van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)⁴⁸. Elf hiervan bevinden zich in een stedelijk knooppunt. Van deze elf waterstoftankstations voldoen vijf tankstations ook aan de locatie criteria om bij te kunnen dragen aan de TEN-T eis.

Van de overige tien waterstoftankstations voldoen er zeven aan het locatie criterium van de TEN-T eis. Samen geeft dit 12 tankstations die zodanig gesitueerd zijn dat deze mits ze voldoen aan de afzeteis van 1.000 kg per dag en minimaal over een 700 bar dispenser voor trucks beschikken kunnen bijdragen aan de TEN-T eis.

Momenteel wordt voor vrachtwagens veelal uitgegaan van 350 bar dispensers terwijl de AFIR een eis heeft voor een 700 bar dispenser. De verwachting is dat op termijn de meeste vrachtwagens ook met een 700 bar tank worden uitgerust. In de meeste gevallen kunnen de huidige bestaande stations ook 700 bar leveren. Het is echter niet duidelijk of deze ook voor vrachtwagens toegankelijk zijn, bijvoorbeeld in verband met fysieke ruimte en

⁴⁷ [WaterstofNet | Home](https://www.waterstofnet.nl/)

⁴⁸ [Waterstof steeds beter alternatief voor rijden op batterij \(rvo.nl\)](https://www.rvo.nl/)

doorrijhoogte. Ook is niet bekend wat de afzetcapaciteit van de stations is waardoor onduidelijk is of aan de capaciteitseis van 1.000 kg per dag kan worden voldaan. De verwachting is dat als de bestaande stations voldoen aan de AFIR eisen voor stations langs het TEN-T netwerk en als de vijftien nog benodigde stations op stedelijke knooppunten hier ook aan voldoen dat er voldoende stations zijn om te voldoen aan de AFIR eisen met betrekking tot waterstof.

2.5.3 Renewable Energy Directive [REDIII]

De herziene richtlijn hernieuwbare energie (RED-III; renewable energy directive) is in oktober 2023 gepubliceerd en inmiddels in werking getreden. Momenteel is Nederlands bezig met de voorbereidingen voor de implementatie van de vervoersartikelen in de REDIII.⁴⁹

Met de REDIII hebben landen de mogelijkheid om voor de transportsector te kiezen tussen het afspreken van een minimum aandeel hernieuwbare energie of een doel vast te stellen voor de reductie van broeikasgasemissie-intensiteit (namelijk 14,5% in 2030 vergeleken met een referentiescenario met fossiele brandstoffen). Hierbij moeten ook de bunkers voor lucht- en scheepvaart worden meegeteld. Nederland heeft inmiddels gekozen voor dat reductiedoel van 14,5%. De RED-III geeft lidstaten een aantal subdoelen en limieten mee. Naast geavanceerde biobrandstoffen (zogenoeten annex IXa-brandstoffen) worden ook hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (RFNBO's) in de implementatie gestimuleerd. RFNBO's betreffen waterstof en op waterstof gebaseerde (synthetische) brandstoffen, zoals e-methanol en andere e-fuels.

De RED-III verlangt van lidstaten dat in 2030 minstens 2,75% van het aandeel energie wordt gerealiseerd door geavanceerde (Annex IXa-lijst) brandstoffen, of hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong (RFNBO's). Daarvan moet minstens 0,5 procentpunt worden gerealiseerd uit RFNBO's. De Nederlandse implementatie van de REDIII zal per 1 januari 2026 in werking treden, in de vorm van het nieuwe systeem Energie Vervoer.

De RED-III staat toe dat het gebruik van hernieuwbare waterstof (RFNBO's) in raffinageprocessen om transportbrandstoffen te produceren meetelt bij het halen van de transportdoelen. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat wil begrensd ruimte bieden aan deze zogenaamde raffinageroute. Onder nog vast te stellen spelregels zal daarom in de raffinage gebruikte hernieuwbare waterstof meegeteld mogen worden bij het voldoen aan de subverplichtingen voor RFNBO's in de sectoren land, binnenvaart en luchtvaart. Dit betekent dat de directe inzet in mobiliteit van hernieuwbare waterstof en met waterstof gemaakte brandstoffen (E-fuels) zal gaan concurreren met inzet van waterstof in de raffinage. Naar verwachting is inzet van hernieuwbare waterstof via de raffinageroute eenvoudiger en tegen lagere kosten te realiseren. Het ministerie ziet bij voorkeur dat RFNBO's direct worden ingezet in de mobiliteit. Voor wegverkeer gaat het daarbij om 2PJ, bij voorkeur in de vorm van directe inzet van waterstof. In het geval dat deze hoeveelheid waterstof met name voor long haul trucks wordt ingezet, vergt dit – zeer indicatief – de inzet van zo'n 1700 trucks⁵⁰.

Om de directe inzet van waterstof te bevorderen zullen de certificaten die aangemaakt kunnen worden bij de raffinageroute, de zogenaamde raffinage-eenheden (RARE), een

⁴⁹ Kamerbrief over voortgang implementatie RED-III vervoer: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-a827f2d98f081c56c97f99b5a97217af26bae602/pdf>

⁵⁰ Uitgaande van een gemiddeld jaarkilometrage van 142.500 km en een waterstofverbruik van 8.2 MJ / km.

correctiefactor krijgen om te zorgen dat de directe inzet van waterstof en met waterstof gemaakte brandstoffen minstens zo attractief is voor de brandstofleveranciers om aan hun RFNBO-verplichting te voldoen. Op dit moment maakt TNO een vergelijking tussen de kosten voor inzet van groene waterstof in de raffinagesector ten opzichte van de kosten van verschillende opties van directe inzet van waterstof en op waterstof gebaseerde brandstoffen op land, binnen-, en luchtvaart. Hierbij wordt ook gekeken naar de afzetpotentie van waterstof of op waterstof gebaseerde brandstoffen in de verschillende modaliteiten.

2.5.4 Aanschafsubsidie Zero Emissie Trucks [AanZET]

In 2022 is de aanschafsubsidie voor ‘zero-emissie-trucks’ gestart. Met deze regeling beoogt het Rijk een deel van de aanschafprijs van zero-emissievoertuigen te subsidiëren om de introductie van deze technologie te stimuleren. De subsidiebedragen zijn gedifferentieerd naar voertuigklasse en bedrijfsgrootte, zie [Tabel 2.3](#). Zowel batterij-elektrische als waterstofbrandstofcelvoertuigen komen in aanmerking. Vrachtwagens aangedreven met een waterstofverbrandingsmotor kunnen geen gebruik maken van deze subsidie. Het is onduidelijk hoe dit verandert mocht de Nederlandse overheid de Europese definitie voor zero-emissie voertuigen overnemen. In het verleden is verreweg het grootste deel van de aanvragen, zo niet alle, voor batterij-elektrische voertuigen gedaan. Hierbij zal de zeer beperkte beschikbaarheid van brandstofcelvrachtwagens een belangrijke rol hebben gespeeld. Door de enorme interesse is de regeling zo aangepast dat bedrijven per dag maximaal 1 aanvraag voor 1 truck kunnen indienen waardoor de verwachting is dat ook kleine bedrijven een betere kans maken.

Tabel 2.3: Subsidiebedragen en percentages AanZET

Voertuigcategorie	Grote onderneming		Middelgrote onderneming		Kleine onderneming NGO	
	Max.% [%]	Max. € [k€]	Max.% [%]	Max. € [k€]	Max.% [%]	Max. € [k€]
N2 [GVW > 4,25 ton bakwagen]	6,1	7,5	12	14,7	14,8	18
N2 [GVW <= 18 ton bakwagen]	10,3	31,1	20	60,5	28,6	86,6
N3 [GVW > 18 ton bakwagen]	11,1	43,9	21	83,2	29	115,2
N3 [trekker]	11,1	43,9	21	83,2	29	115,2

De jaarlijkse budgetten voor de AanZET regeling zijn opgenomen in [Tabel 2.4](#). De budgetten vanaf 2026 en verder zijn nog niet definitief⁵¹.

Tabel 2.4: Jaarlijkse subsidiebudgetten AanZET

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Subsidiebudget AanZET [€ mln.]	25	57,4	57	68	25	70	130	175	175

⁵¹ In het ‘Hoofdlijnenakkoord’ is opgenomen dat subsidies op elektrische voertuigen per 2025 worden geschrapt. Op moment van schrijven is nog onduidelijk of dit ook betrekking heeft op bedrijfsvoertuigen. Bron: [Hoofdlijnenakkoord tussen de fracties van PVV, VVD, NSC en BBB | Publicatie | Kabinetsformatie](#)

2.5.5 Vrachtwagenheffing [VWH]

De Rijksoverheid heeft als doel om in 2026 een vrachtwagenheffing te introduceren. Hiermee beoogt het Rijk invulling te geven aan de verplichting in het kader van de Eurovignetrichtlijn⁵². Daarnaast wordt de tariefstelling conform de uitgangspunten benut om de introductie van zero-emissievoertuigen te stimuleren⁵³. Op basis van de conceptwetteksten beschikbaar ten tijde van schrijven wordt beoogd de Europese definitie voor zero-emissie over te nemen. De facto betekent dit dat ook verschillende waterstofverbrandingsconcepten als zero-emissie worden gezien. Gegeven het uitgangspunt om zero-emissie voertuigen de maximale korting te geven die volgens de concept tarieven⁵⁴ kan oplopen tot effectief 81% gaat hiervan ook een stimulans uit naar waterstofconcepten.

Het conventionele dual fuel waterstofverbrandingsconcept wordt niet als zero-emissie gezien maar zal naar verwachting wel in een hogere CO₂-klasse (zero-emissie is klasse 5) vallen dan een vrachtwagen met een conventionele dieselmotor en daardoor ook een korting krijgen in vergelijking met moderne conventionele voertuigen (Euro VI)⁵⁵. Tot slot is met de logistieke sector afgesproken dat de netto-opbrengsten van de heffing terugvloeien naar de logistieke sector om deze te verduurzamen en efficiënter te maken. Zo wordt onder meer een deel van de SWIM- en AanZET-regeling gefinancierd⁵⁶.

2.5.6 Zero-Emissiezones

Gemeenten kunnen per 1 januari 2025 een zero-emissiezone instellen binnen de gemeentegrenzen. Dat betekent dat nieuwe voertuigen vanaf dan alleen de zone in mogen als ze batterij-elektrisch of middels een waterstofbrandstofcel worden aangedreven. Voertuigen met een (waterstof)verbrandingsmotor zijn vooralsnog niet toegestaan⁵⁷. Als aangegeven in de tekstbox aan het begin van deze paragraaf zijn er voorstellen de huidige Nederlandse definitie te harmoniseren met de herziene Europese definitie. Waardoor ook H₂-ICE voertuigen voldoen aan de toegangseisen voor de zero-emissiezones⁵⁸. De verwachting is echter dat de typische inzet van H₂-ICE voertuigen bij zware omstandigheden en lange afstandstransport zal zijn en niet in stedelijke distributie. Onder meer doordat het motorrendement toeneemt bij zwaardere inzet, zie [Figuur 2.2](#).

Momenteel zijn er 29 gemeenten die besloten hebben een zero-emissiezone in te stellen, 18 daarvan gaan in per 2025. Voor de overige 11 gemeenten gaat deze later in dan 2025 doordat minimaal vier jaar voor invoering de omvang en ligging van de zone bekend moeten zijn. De rijksoverheid heeft kaders opgesteld voor de zero-emissiezone om te voorkomen dat er veel verschillende regels gaan gelden. In deze harmonisatie is een overgangsregeling vastgelegd voor bestelauto's, bakwagens en trekker-opleggers⁵⁹. Ook zijn hierin vrijstellingen

⁵² [Richtlijn - 2022/362 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

⁵³ [Veelgestelde vragen | Vrachtwagenheffing.nl](#)

⁵⁴ [Documenten bij Wijziging Wet vrachtwagenheffing i.v.m. implementatie van de herziene Europese tolheffingsregels | Overheid.nl | Wetgevingskalender](#)

⁵⁵ <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D32879>

⁵⁶ [Voorbereiding invoering vrachtwagenheffing | Goederenvervoer | Rijksoverheid.nl](#)

⁵⁷ [Staatsblad 2019, 398 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen \(officielebekendmakingen.nl\)](#)

⁵⁸ Deze aangekondigde beleidswijziging is bekend geworden na 1 mei waardoor deze geen onderdeel is van de KEV. Tegelijkertijd is deze gezien de mogelijke impact wel het benoemen waard.

⁵⁹ [Toegangsregels - Op weg naar ZES](#)

en ontheffingen geregeld⁶⁰. Zo kunnen er voor een voertuig dat geweerd wordt 12 dagontheffingen per gemeente per jaar aangevraagd worden⁶¹.

2.5.7 Subsidieregeling waterstof in Mobiliteit [SWiM]

Deze subsidieregeling beoogt het kip-en-ei probleem te doorbreken door een subsidie aan te bieden die realisatie van een waterstoftankstation combineert met de aanschaf van waterstof-aangedreven voertuigen. De beschrijving van deze beleidsmaatregel is gebaseerd op de documenten die publiek beschikbaar op 1 mei. Dit betroffen de documenten die gedeeld zijn ten behoeve van de internetconsultatie⁶².

De subsidie is opgebouwd uit een subsidie voor de investering in de aanleg dan wel aanpassing van een waterstoftankstation bestemd voor zwaar wegvervoer en een subsidie voor de meerkosten van nieuwe voertuigen of retrofitting van bestaande voertuigen. Voor wat betreft de investering in de aanleg dan wel vergroting van het waterstoftankstation wordt maximaal 40% van de in aanmerking komende kosten tot een maximaal bedrag van €2 mln. gesubsidieerd. Voor voertuigen wordt maximaal 80% van de in aanmerking komende kosten gesubsidieerd tot een maximum van €3 mln. Het totaal maximale bedrag per aanvraag komt daarmee op €5 mln. Op basis van een voorgenomen budgetreservering is voor de periode 2025-2028 totaal €292 mln. gereserveerd, zie Tabel 2.5. Gedurende de 5-jarige looptijd kunnen dan minimaal 58 aanvragen worden gegund.

Tabel 2.5: Voorgenomen subsidiebedragen SWiM

x mln. euro	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Totaal
Klimaatfonds		55	55	50	50			210
Klimaatakkoord	22							22
Terugsluis		10	10	20	20			60
Totaal	22	65	65	70	70	0	0	292

Op basis van de verdeling van €2 mln. subsidie voor het stations en €3 mln. voor voertuigen is ook een potentiële schatting gemaakt voor het aantal voertuigen dat hiermee gesubsidieerd kan worden. Voor deze berekening is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- Gegeven de algemeen geaccepteerde typische inzet van waterstof in energie intensieve en lange afstandstransport is uitgegaan van trekkers.

⁶⁰ [Vrijstellingen en ontheffingen - Op weg naar ZES](#)

⁶¹ In het 'Hoofdlijnenakkoord' van de aankomende regering is aangekondigd te onderzoeken hoe de invoering van de zero-emissiezones kan worden uitgesteld⁶¹. Tegelijk ligt het juridisch mandaat voor een zero-emissiezones op gemeentelijk niveau. Maar door bijvoorbeeld het aantal dagontheffingen te verhogen kan het Rijk de strengheid van de toelatingseisen van zero-emissiezones verminderen.

⁶² [Overheid.nl | Consultatie Subsidieregeling Waterstof in Mobiliteit \(internetconsultatie.nl\) Na afronding van de analyses is de definitieve regeling bekend geworden. Deze wijkt op een aantal punten af van de regeling zoals deze is gepresenteerd tbv. de internetconsultatie. Zo is de voertuigdefinitie voor M3 voertuigen aangepast, zijn een beperkt aantal subsidiebedragen aangepast en is de totale omvang van de subsidie aangepast naar maximaal €2 mln. subsidie voor het station en maximaal €4 mln. subsidie voor voertuigen. Eerder was dit respectievelijk €2 mln. en €3 mln. Doordat deze beleidswijziging na de deadline van de KEV is gepubliceerd is dit geen onderdeel van de KEV. Bron: \[Subsidieregeling Waterstof in mobiliteit \\(SWiM\\) \\(rvo.nl\\)\]\(#\)](#)

- Zoals genoemd in de documentatie van de internetconsultatie is uitgegaan van een gemaximeerd bedrag op basis van 80% van de meerkosten of een maximaal bedrag, zie [Tabel 2.6](#).
- Voertuigkosten ontwikkelingen zoals gevisualiseerd in [Figuur 2.4](#).

In de potentieschatting is uitgegaan van waterstofbrandstofcel voertuigen of alleen voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor. In het geval alleen voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor gebruik maken van de regeling kan tot bijna 6.800 voertuigen worden gesubsidieerd. In het geval dat alleen waterstofbrandstofcelvoertuigen een aanvraag doen daalt dit tot ruim 1.100. Dit verschil wordt met name veroorzaakt doordat de verwachte aanschafprijs van brandstofcelvoertuigen veel hoger is dan voor voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor en doordat het maximale subsidiebedrag voor een brandstofcelvoertuig 3 maal zo hoog is. De potentiële schatting geeft een bandbreedte aan van het aantal voertuigen dat gesubsidieerd kan worden, in het geval dit alleen trekkers betreffen. In de praktijk zal er hoogstwaarschijnlijk een mix aan voertuigen zijn en aandrijf technologieën zijn⁶³.

Tabel 2.6: Subsidiebedragen en percentages SWiM

Voertuigcategorie		Maximaal subsidiebedrag [k€]	Maximaal subsidiepercentage
N1 [bestelwagen]		50	80 % meerkosten
N2 [3.5 ton < GVW ⁶⁴ < 12 ton]	Fuel Cell	150	
	H ₂ -ICE	50	
N3 [GVW > 12 ton bakwagen]	Fuel Cell	180	
	H ₂ -ICE	60	
N3 [GVW > 12 ton trekker]	Fuel Cell	300	
	H ₂ -ICE	100	
M1 [auto/bus max. 8 zitplaatsen]		100	
M2 [GVW < 5 ton 8+ zitplaatsen]		150	
M3 [GVW > 5 ton 8+ zitplaatsen]	Fuel Cell	300	
	H ₂ -ICE	100	

2.5.8 ETS-2

In 2027 treedt ETS-2 in werking, het nieuwe Europese emissiehandelssysteem voor de gebouwde omgeving en transport ([ETS2: buildings, road transport and additional sectors - European Commission \(europa.eu\)](#)). Het ETS-2 geldt voor de CO₂-emissies van alle brandstoffen die geleverd worden aan de gebouwde omgeving, wegvervoer en overige sectoren.

De brandstofleveranciers zijn verantwoordelijk voor het monitoren van de emissies en het betalen van een CO₂-prijs. Vanaf 2027 moeten brandstofleveranciers dus CO₂-rechten kopen

⁶³ Ten tijde van schrijven was de definitieve vormgeving van de SWiM regeling nog niet bekend. Als gevolg daarvan kan de gegeven bandbreedte nu anders uitpakken.

⁶⁴ GVW; Gross Vehicle Weight [maximaal voertuiggewicht]

om daarmee te betalen voor de CO₂ die hun brandstoffen uitstoten. Deze kosten zullen de brandstofleveranciers doorberekenen aan hun afnemers. Hierdoor zullen de prijzen aan de pomp. Naar verwachting zal de dieselprijs hierdoor in de orde van 13 cent per liter duurder worden⁶⁵.

De prijzen van waterstof (en elektriciteit) worden niet (direct) worden beïnvloed door ETS-2, Door het ETS-2 systeem zal het gebruik van waterstof en elektriciteit in mobiliteit dus relatief aantrekkelijker worden.

2.6 Factoren die introductie en opschaling van waterstof aangedreven voertuigen kunnen belemmeren

In verschillende eerdere studies⁶⁶ zijn elementen genoemd die van belang zijn voor een verdere introductie en opschaling van voertuigen met een zero-emissie-aandrijflijn. In deze paragraaf wordt op de belangrijkste van deze elementen ingegaan, dit zijn:

- Beschikbaarheid van voertuigen;
- Beschikbaarheid van tankinfrastructuur;
- Betaalbaarheid van voertuigen;
- Waterstofkosten.

2.6.1 Beschikbaarheid van voertuigen

Gegeven de ontwikkelingen, zoals beschreven in paragraaf 3.3 over marktontwikkelingen, is de verwachting dat de opschaling van de productie van waterstofbrandstofcelvrachtwagens later in de tijd ligt in vergelijking met waterstofverbrandingsmotoren. Tegelijkertijd zijn er voor 2030 alleen aankondigingen gemaakt door Volvo en MAN met betrekking tot de grootschalige serieproductie van H₂-ICE-vrachtwagens. Deze aankondigingen zijn gedaan kort nadat de nieuwe CO₂-normen en Euronormen (Euro 7) daadwerkelijk zijn vastgelegd. Doordat H₂-ICE-voertuigen in de nieuwe CO₂-wetgeving worden gewaardeerd als zero-emissievoertuigen, kan de verkoop van dergelijke voertuigen bijdragen aan het halen van de normen. Dit leidt ertoe dat fabrikanten onderzoek en ontwikkeling ook zullen gaan richten op deze technologie met een mogelijke productie tot gevolg. Daarmee is de beschikbaarheid van voertuigen een beperkende factor tot zeker 2030.

2.6.2 Voertuigprijzen

In eerder onderzoek van TNO is een inschatting gemaakt voor de verkoopprijs exclusief belastingen⁶⁷ van vrachtwagens met verschillende aandrijflijnen. Ter illustratie is in [Figuur 2.4](#) de ontwikkeling van de voertuigprijs opgenomen voor een trekker-opleggercombinatie (VECTO group 5⁶⁸) in 2020, 2030 en 2040 op basis van een diesel-, waterstofverbranding- (H₂-ICE) en een brandstofcelconcept (FCEV). De diesel-, brandstofcel- en batterij-elektrische

⁶⁵ [Impactanalyse ETS-II opt-in \(wur.nl\)](#)

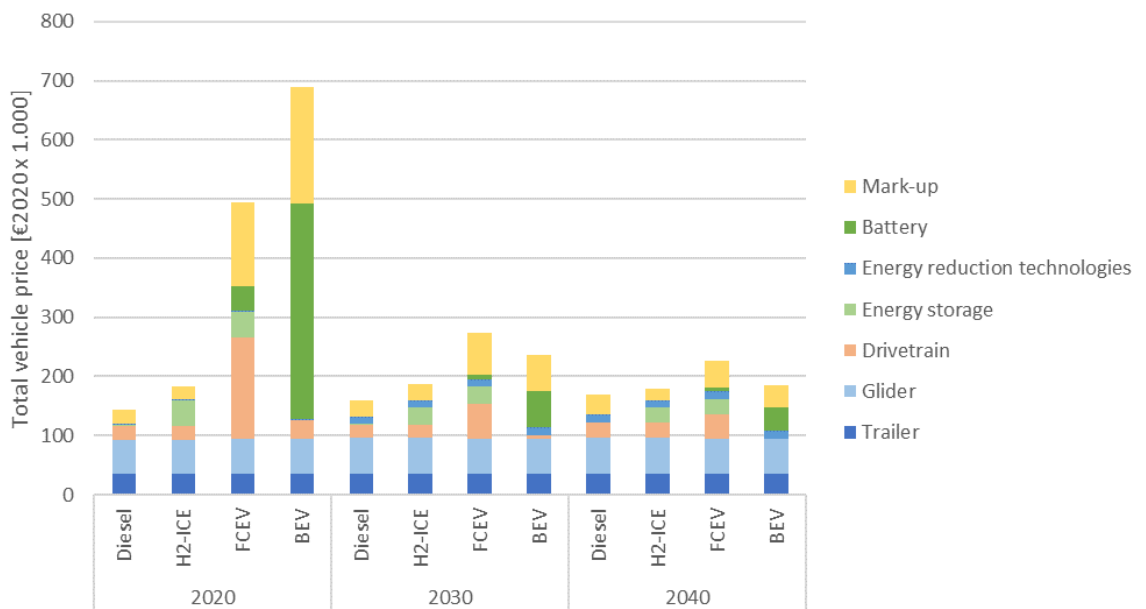
⁶⁶ tno.nl/publish/pages/3655/tno_2022_r11862 techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in europe.pdf

⁶⁷ De verkoopprijs is hier gedefinieerd als de productiekosten plus een 'mark-up factor' die bestaat uit assemblagekosten, R&D kosten, marketingkosten, distributiekosten en winst. In werkelijkheid is de voertuigprijs onderdeel van de strategie van de fabrikant en wordt de prijs bepaald op meer factoren dan enkel kosten. De werkelijke prijzen kunnen daarom afwijken van de prijs die op de manier wordt bepaald.

⁶⁸ [201811_overview_en.pdf \(europa.eu\)](#)

voertuigen zijn gebaseerd op de ‘articulated long haul truck’ uit eerder TNO onderzoek⁶⁹. In het betreffende onderzoek zijn ook de voertuigdefinities nader toegelicht. Wel is het goed te benoemen dat de batterij elektrische vrachtwagen zodanig is gedimensioneerd dat deze een range van ruim 800 kilometer heeft op een enkele lading.

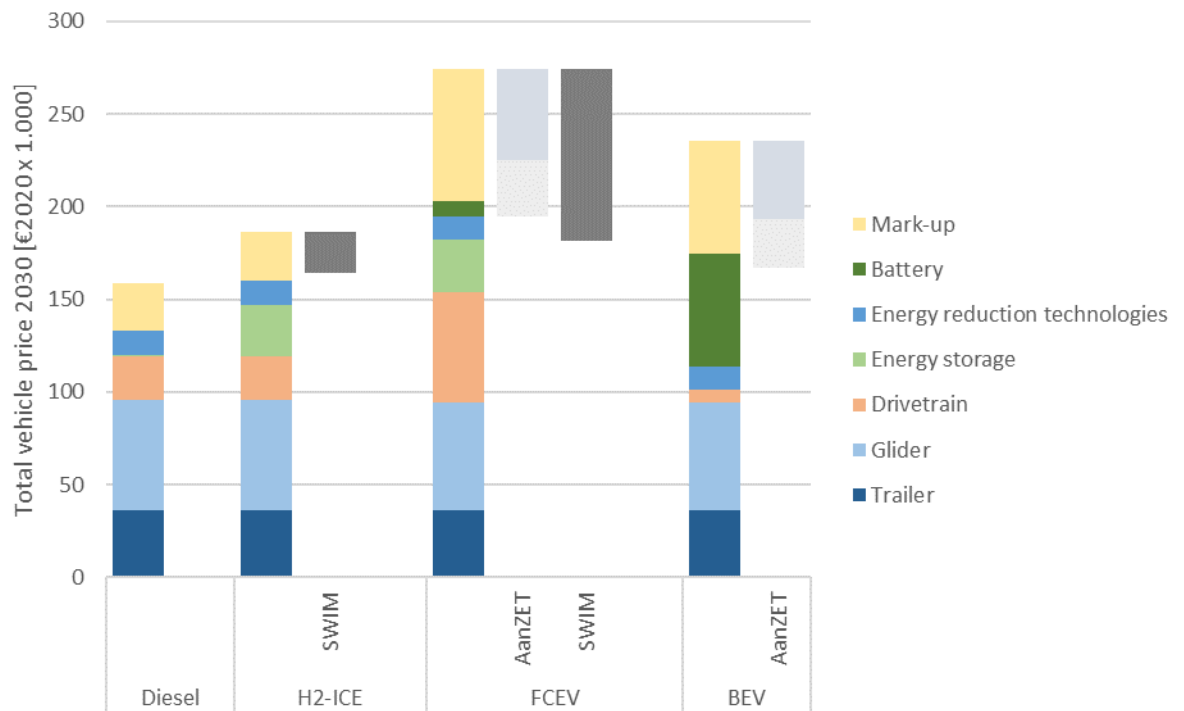
Voor het waterstofverbrandingsconcept is uitgegaan van eenzelfde voertuigdefinitie (vermogen, etc.) als voor diesel, voor de prijs is uitgegaan van een dieselveertuig met als aanpassing dat het voertuig in plaats van met een dieseltank met een waterstoftank uitgerust is. Dit is naar verwachting een optimistische aanname, zeker gezien op de korte termijn R&D-kosten en lage productievolumes tot hogere kosten zullen leiden. Deels is dit vertaald in de ‘mark-up’ factor. Te zien is dat in alle zichtjaren een conventionele dieselvrachtwagen naar verwachting een lagere aanschafprijs zal blijven hebben dan waterstofvrachtwagens.



Figuur 2.4: Verwachte voertuigproductiekosten van diesel-, H₂-ICE, FCEV en BEV voertuigen in 2020, 2030 en 2040 voor een VECTO-5 voertuig op basis van productiekosten + ‘mark-up’ factor. Voor BEV is uitgegaan van een range van 800 km.

De AanZET- en SWiM-regelingen zijn ingesteld om de meerkosten van zero-emissievrachtwagens (deels) te compenseren en zo de ingroei van deze voertuigen te stimuleren. Ter illustratie is voor 2030, het voorlopige eindjaar voor de SWiM- en AanZET-regeling de impact van deze subsidies ingetekend. Zie Figuur 2.5. Hier is te zien dat met behulp van deze subsidieregelingen de aanschafprijzen voor waterstofconcepten relatief vergelijkbaar kunnen zijn met zowel batterij elektrische als conventionele equivalenten in 2030. Belangrijk is wel te vermelden dat met name voor het brandstofcelconcept is uitgegaan van een toename van productieschaal. Bij het uitblijven daarvan tot 2030 zal de werkelijke prijs naar verwachting hoger liggen. Ook is maar beperkt budget beschikbaar wat betekent dat slechts een beperkt aantal voertuigen van deze regelingen gebruik kan maken.

⁶⁹ [tno_2022_r11862 techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in europe.pdf](https://www.tno.nl/2022/r11862 techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in europe.pdf)



Figuur 2.5: Voertuigprijs in 2030 voor trekker-oplegger (VECTO-5) op basis van productiekosten + ‘mark-up’ factor en subsidie uit de AanZET- resp. SWiM-regeling.

2.6.3 Beschikbaarheid waterstof op tankstations

De uitdaging is om de waterstoftankstations op termijn te bevoorraden tegen redelijke kosten. In eerder onderzoek is aangegeven dat de kosten voor bevoorrading van waterstoftankstations met tube-trailers hoog zijn⁷⁰. Tube-trailers kunnen helpen bij de initiële opschaling van infrastructuur, maar worden niet gezien als een eindoplossing. De efficiëntie kan significant toenemen als er pijpleidingen worden gebruikt voor de distributie van waterstof. Het nadeel van het gebruik van pijpleidingen is dat het gebruik van smeermiddelen in pompen leidt tot onzuiverheden in de waterstof. Een Europese norm voor waterstofkwaliteit zal waarschijnlijk pas over drie jaar beschikbaar zijn. Daarop vooruitlopend werkt een aantal gastransportbedrijven in Nederland, België en Duitsland, waaronder Gasunie, aan een gezamenlijke specificatie op basis van een zuiverheid van 99,5%⁷¹. Dit is lager dan de zuiverheid die in de AFIR wordt geëist, namelijk 99,97% zoals vastgelegd in EN 17124:2022⁷². Deze eis maakt dat er op locatie een zuivering van de waterstof moet plaatsvinden wat impact zal hebben op de kostprijs van de waterstof welke uiteindelijk gerechtvaardigd moet worden door een grotere vraag naar waterstof. Een derde mogelijkheid is om waterstof te produceren op kleine schaal bij het tankstation. Dit vereist hoogstwaarschijnlijk verzwaring van het elektriciteitsnet, en significante waterstofopslag op locatie. De netcongestieproblematiek zal naar verwachting ook hier een limiterende factor zijn. De waterstof kan worden geproduceerd op momenten dat er netcapaciteit beschikbaar is waardoor de impact op het elektriciteitsnet kleiner kan zijn dan bij (snel)laden. Aan de

⁷⁰ [Final STRIVE Report 2023 SmartPort TNO.pdf](#)

⁷¹ Indicative quality and temperature specification for Hydrogen Network Netherlands

⁷² Regulation (EU) 2023/1804 of the European parliament and of the council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU.

andere kant is rijden op waterstof minder energie-efficiënt waardoor er meer elektriciteit moet worden getransporteerd om een voertuig een kilometer te laten rijden dan bij directe inzet van elektriciteit in batterij-elektrische vrachtwagens. Naar verwachting zullen waterstoftrucks op 1 tankbeurt de dag door kunnen komen, ook voor het transport over lange afstanden. Nader onderzoek naar de distributiekosten van waterstof is gepland in het lopende project HyUse (onderdeel van Groeifondsproject ‘Groenvermogen’) rondom directe toepassingen van waterstof.

2.6.4 Ruimte

Behalve de kosten van realisatie en distributie van waterstof is ook ruimte een belangrijke factor bij de opschaling van waterstoftankinfrastructuur. Om de stations te realiseren is ruimte nodig. Dit zijn over het algemeen relatief lange bestuurlijke procedures die de opschaling kunnen vertragen⁷³.

2.6.5 Waterstofprijs

Gegeven de hogere voertuigkosten en de relatief gelijkaardige aandrijflijnefficiëntie ten opzichte van diesel is het noodzakelijk om een lage waterstofprijs te realiseren om uiteindelijk tot een positieve businesscase te komen voor waterstofvrachtwagens. Door de zeker op korte tot middellange termijn beperkte beschikbaarheid van waterstof zal dit vooral beschikbaar zijn voor de sector waar de hoogste prijs betaald wordt. Op lange termijn kunnen door bredere beschikbaarheid en toepassing juist ook schaalvoordelen ontstaan.

In eerdere TNO-onderzoeken is een destijds gebruikelijke waterstofprijs van €10/kg voor 2020 gehanteerd (grijze waterstof). Voor 2030 is gerekend met waterstofprijs van ca. €6,4-7/kg (groene waterstof) en een prijs van €5/kg in 2050⁷⁴(groene waterstof).

In 2022 is onderzoek door TNO gepubliceerd met een bandbreedte voor de productiekosten van groene waterstof⁷⁵ (Figuur 2.6). In deze studie geeft TNO een hogere bandbreedte dan andere studies van ca. €4,5-€6/kg voor 2030. Gegeven dat distributie van waterstof met tube-trailers, naar verwachting tot minstens 2030 gangbaar, circa €0,95/kg kost en tankinfrastructuur circa €0,67/kg⁷⁶ geeft dit een bandbreedte voor de prijs aan de pomp van ruim €6-7/kg in 2030. Meer recent is onderzoek door TNO gepubliceerd⁷⁷ waar een analyse is gemaakt van de kostenopbouw van groene waterstofprojectvoorstellen in Nederland. In deze analyse is een ‘levelized cost of hydrogen’ [LCOH₂] gevonden van gemiddeld ca 14€/kg wanneer nu zou worden gestart met ontwikkeling van een productiefaciliteit⁷⁸. Deze kosten zijn significant hoger dan de eerder gebruikte projecties uit 2022⁷⁵. De kosten voor de import van waterstof (via waterstofdragers) worden momenteel door TNO onderzocht.

Bij dergelijke prijzen is het de verwachting dat waterstof zonder subsidies of andere stimulering niet competitief zal zijn met diesel. Het punt waarbij waterstof competitief zal zijn hangt ook sterk af van toekomstige dieselprijzen die onzeker zijn. Gegeven de impact van de waterstofprijzen op de businesscase van waterstofvrachtwagens is meer onderzoek

⁷³ [TNO 2019 R11705 Rapport behoefte alternatieve energiedragers.docx](#)

⁷⁴ [tno_2022_r11862 techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in europe.pdf](#) & [Final STRIVE Report 2023 SmartPort_TNO.pdf](#)

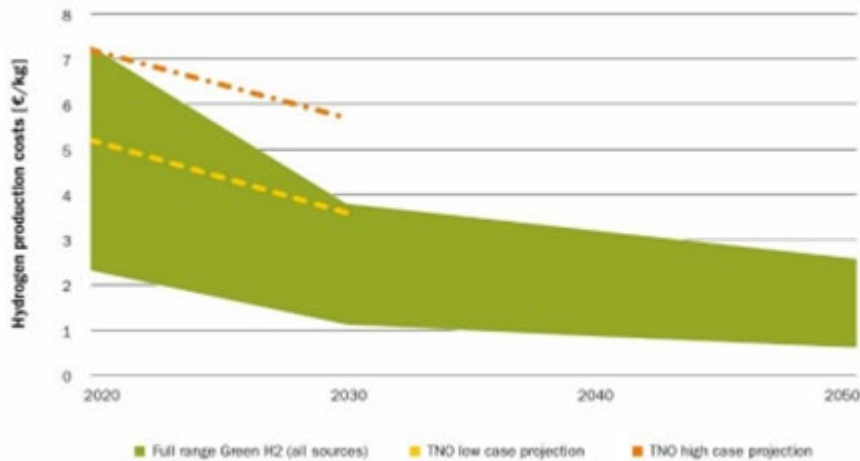
⁷⁵ [TNO-2022-P10332.pdf](#)

⁷⁶ [Final STRIVE Report 2023 SmartPort_TNO.pdf](#)

⁷⁷ [Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in The Netherlands: Renewable Hydrogen Cost Element Evaluation Tool \(RH₂CEET\) \(tno.nl\)](#)

⁷⁸ [Evaluation of the levelized cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands \(tno.nl\)](#)

nodig om robuuste uitspraken te kunnen doen over de ontwikkeling van waterstofprijzen en de impact daarvan op de ingroepotentie van voertuigen met waterstof als energiedrager.



Figuur 2.6: Vergelijking van productiekosten voor groene waterstof uit TNO-analyse met literatuur

2.7 Conclusies

Op basis van beschikbare onderzoeken is de verwachting dat waterstofvrachtwagens op kosten niet competitief zullen zijn met batterij-elektrische aandrijftechnologie. Dit wordt sterk bepaald door de hoge productie- en distributiekosten van waterstof en de lagere energie-efficiëntie van waterstofvoertuigen in vergelijking met batterij-elektrische voertuigen. Voor waterstofbrandstofcelvoertuigen geldt bovendien dat de productiekosten voor het voertuig in de komende decennia aanzienlijk hoger zullen liggen dan die van elektrische trucks of trucks met een (waterstof)verbrandingsmotor. Of en hoe waterstof tegen lagere kosten beschikbaar zou kunnen worden gemaakt wordt momenteel onderzocht en hier zou binnen enkele jaren meer zicht op moeten zijn.

In Nederland zijn momenteel al 21 locaties waar waterstof kan worden getankt⁷⁹, maar de dichtheid van het waterstoftankstationnetwerk is nog beperkt. Hier wordt in de periode tot 2030 verandering in verwacht door de SWiM-regeling en de AFIR. Voor de uitbreiding van dit netwerk dient rekening te worden gehouden met de manier waarop de waterstof naar het tankstation zal worden getransporteerd. Voor een station waarbij de waterstof lokaal wordt geproduceerd kan netcongestie een uitdaging vormen en toevoer via een pijpleiding vereist de nabijheid van een nog te realiseren grootschalig waterstofpijpleidingennetwerk ('waterstofbackbone').

Aankondingen van grootschalige serieproductie zijn op dit moment nog beperkt geweest. Nu duidelijk is dat de verkoop van waterstofverbrandingsmotorvrachtwagens kan bijdragen aan het halen van de Europese CO₂-normen, hebben enkele fabrikanten bekend gemaakt dat ze binnen enkele jaren vrachtwagens met een waterstofverbrandingsmotor zullen gaan produceren en dat ze 'tegen het eind van dit decennium' commercieel beschikbaar zullen zijn. De verwachting is dat de productie van brandstofcelvrachtwagens pas later op gang zal komen.

⁷⁹ [Overzicht Waterstoftankstations H2BeNeLux \(waterstofnet.eu\)](https://waterstofnet.eu)

Voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor voldoen vooralsnog niet aan de toelatingseisen van Nederlandse zero-emissiezones. Volgens de nieuwe Europese definitie kunnen dergelijke voertuigen wel tot deze categorie worden gerekend. Recent is bekend geworden dat de regering voornemens is de nationale definitie te harmoniseren met de Europese definitie waardoor op korte termijn voertuigen met een waterstofverbrandingsmotor ook inzetbaar zijn in zero-emissiezones. Echter is het wel zo dat de typische inzet van deze voertuigen naar verwachting met name in energie-intensieve en lange afstandstransport zal zijn en daardoor minder interessant zijn voor stedelijke distributie.

Als gevolg van de hoge kosten en de beperkte beschikbaarheid van waterstofvoertuigen en waterstoftankinfrastructuur is de verwachting dat het aandeel waterstofvrachtwagens in de vloot beperkt zal zijn tot 2030. Naar verwachting zullen er meer truckfabrikanten volgen met aankondigingen van start productie van met name trucks met een waterstofverbrandingsmotor in de tweede helft van dit decennium. Echter, het is vooralsnog onduidelijk om wat voor aantallen dit gaat.

Dit betekent niet dat er geen potentie is voor toepassing van waterstof in de mobiliteit. Zo zijn er voertuigen die zo worden ingezet dat batterij-elektrische aandrijvingen mogelijk niet toepasbaar zijn, bijvoorbeeld voor zeer energie-intensieve en lange afstandstoepassingen. Voor deze gevallen kan het gebruik van waterstof een oplossing bieden. Ook kunnen barrières voor de productie en het gebruik van batterij-elektrische vrachtwagens ertoe leiden dat er andere aandrijftechnologieën nodig zijn voor het halen van afgesproken doelen.

3 Non Road Mobile Machinery

Ingroei van schone en emissieloze bouwmachines

Auteurs: Pim van Mensch, Annette Rondaij

3.1 Samenvatting

PBL heeft TNO gevraagd om voor de KEV 2024 en de ERL 2025 een inschatting te geven van de ingroei van schone⁸⁰ en emissieloze mobiele werktuigen in de bouwsector ten gevolge van het beleid van het Programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). De Rijksoverheid heeft het programma SEB opgezet met als doel de stikstofemissies van bouwmachines te reduceren en tegelijkertijd via CO₂-reductie en PM-reductie ook bij te dragen aan de doelstellingen uit het Klimaatakkoord en Schone Lucht Akkoord.

De beleidsmaatregelen vanuit het programma SEB zoals die per 1 mei 2024 van kracht waren worden door PBL in de KEV 2024 en ERL 2025 tot vastgesteld beleid gerekend.

Concreet gaat het om:

- De SEB subsidieregelingen, bedoeld om een deel van de meerkosten van emissieloze bouwmachines te dekken (Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwen (SSEB), Specifieke uitkering Schoon en Emissieloos Bouwen medeoverheden (SPUK SEB), SEB-middelen voor aanbestedende Rijksdiensten);
- De Routekaart SEB en het Convenant SEB. De Routekaart geeft een meerjaren-stappenplan voor vermindering van emissies in de bouwsector. In het Convenant maken overheden, marktpartijen en brancheorganisaties afspraken over het uitvoeren van de Routekaart SEB.

Met de subsidieregelingen en de Routekaart werkt het programma SEB aan:

- Het stimuleren van de ingroei van emissieloos materieel;
- Het stimuleren van de ingroei van schoon materieel.

Het effect van het vastgestelde beleid op de ingroei van emissieloos materieel en van schoon materieel zijn in dit hoofdstuk apart van elkaar berekend. Voor de ingroei van schoon materieel wordt specifiek gekeken naar de ingroei van Stage V-materieel⁸¹. Dit gaat om zowel af fabriek Stage V-materieel (en Stage IV-materieel met een roetfilter) als om retrofit Stage V-materieel.

⁸⁰ In de Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB) gaat de ingroei van schone mobiele werktuigen voor lichte mobiele werktuigen (< 56 kW) om het uitfasen van ouder materieel (ouder dan Stage IIIa), voordat er eisen voor emissieloos materieel gaan gelden. Voor zwaarder materieel (56-560 kW) gaat het daarnaast om het vergroten van de aantallen van Stage IV met roetfilter en Stage V. Voor specialistisch en zeer zwaar (>560 kW) materieel wordt ingezet op de toepassing van roetfilters en katalysatoren.

⁸¹ Bouwmachines vallen onder de categorie Non-Road Mobile Machinery (NRMM) in de Europese emissiewetgeving. De emissieclassen van NRMM worden aangeduid in Stage-classes. Stage-classes geven aan hoeveel emissies de motor van nieuwe machines maximaal mogen uitstoten. Stage V is de meest recente en meest strenge emissienorm.

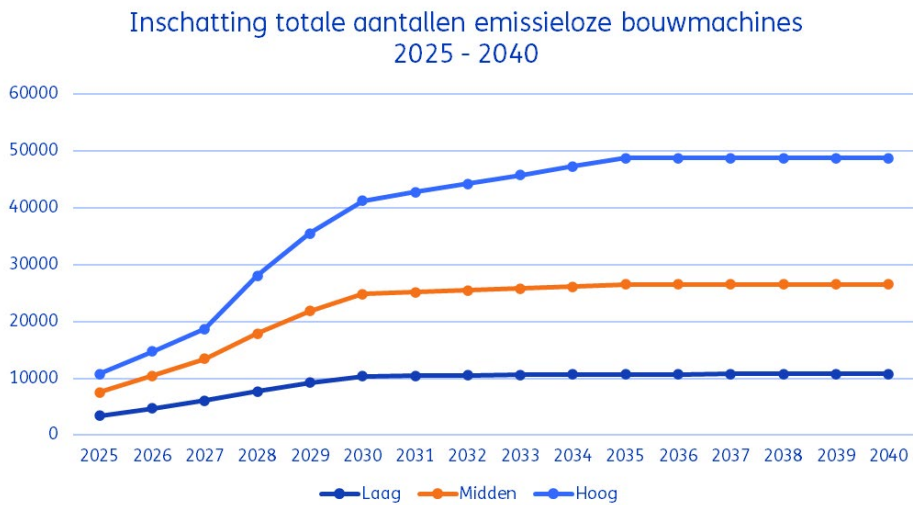
Figuur 3.1 geeft de inschatting van de additionele aantallen emissieloze bouwmachines in de periode 2025 – 2040, als gevolg van de hierboven genoemde vastgestelde beleidsmaatregelen (de SEB subsidieregelingen en de Routekaart). In 2030 wordt het aantal emissieloze bouwmachines geschat op 10.000 – 41.000. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de aantallen emissieloze bouwmachines ten gevolge van de vastgestelde beleidsmaatregelen gelijk zijn aan het totaal aantal emissieloze bouwmachines in de vloot. De toename van emissieloos materieel wordt dus uitsluitend gedreven door het vastgestelde SEB-beleid. Na 2030 vlakt de ingroei van emissieloze bouwmachines af, er is namelijk aangenomen dat de subsidieregelingen voor emissieloze bouwmachines na 2030 stoppen. Wel wordt aangenomen dat de Routekaart SEB na 2030 van kracht blijft. Dit zorgt voor een lichte toename van zero emissie bouwmachines ná 2030.

Figuur 3.2 geeft een inschatting van de extra ingroei van Stage V-materieel⁸². In 2025 komen er volgens de middenraming ca. 7.300 Stage V-machines bij ten gevolge van de Routekaart, dat is ca. 15% van het totaal aantal Stage V machines. Bij latere periodes neemt de extra ingroei ten gevolge van het beleid af, dit komt doordat de vloot (ook) vanwege de autonome verjonging langzaam maar zeker nieuwer en schoner wordt.

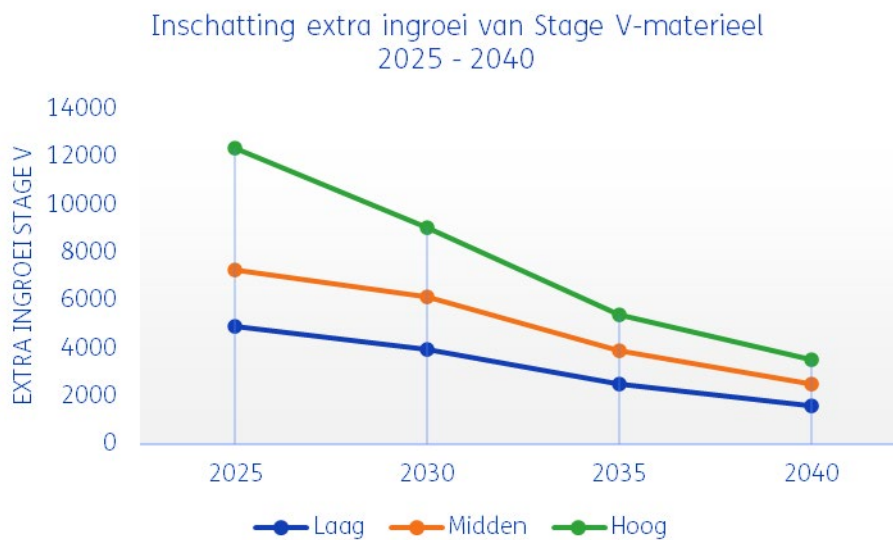
Beide figuren geven grote bandbreedtes aan, omdat er nog grote onzekerheid bestaat over de opvolging van de maatregelen uit de Routekaart SEB, met name vanwege de volgende twee redenen:

- Het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) beschrijft een emissiereductieplicht voor bouw- en sloopwerken, waarbij ‘adequate maatregelen’ dienen te worden genomen. De Routekaart SEB, die drie ambitieniveaus kent, schrijft in het minimumniveau van de Routekaart de uitvoering van de reductieplicht zoals beschreven in het Bbl voor. Het is vanuit de wettekst echter onduidelijk wat er met adequate maatregelen wordt bedoeld en daarmee ook in welke mate het minimumniveau gebruikt gaat worden als invulling van de emissiereductieplicht.
- Er bestaat nog grote onzekerheid over de mate van toezicht en handhaving op de maatregelen uit de Routekaart SEB, omdat het in dit stadium nog onduidelijk is hoe toezicht en handhaving gaat plaatsvinden.

⁸² De emissieclassen van NRMM worden aangeduid in Stage-classes. Stage-classes geven aan hoeveel emissies de motor van nieuwe machines maximaal mogen uitstoten. Stage V is de meest recente en meest strenge emissienorm.



Figuur 3.1: Inschatting van de totale aantallen emissieloze bouwmachines als gevolg van de beleidsontwikkelingen vanuit het programma SEB in de periode 2025 – 2040.



Figuur 3.2: Inschatting van de extra ingroei van Stage V-materieel als gevolg van vaststaand beleid voor drie scenario's.

3.2 Inleiding

Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een zeer breed spectrum aan machines, die niet behoren tot de categorieën wegvoertuigen, zeeschepen of vliegtuigen⁸³, zoals bouwmachines, spoorwerktuigen, landbouwtrekkers en aggregaten. De gebruikte term “mobiele werktuigen” beslaat in deze rapportage slechts een deel van het NRMM-park, namelijk de meest voorkomende NRMM-machines die worden toegepast op het land in de bouwsector. Bijvoorbeeld binnenvaartschepen en diesel-aangedreven treinen zijn hierin niet

⁸³ Deze groep omvat ook dieseltreinen, binnenvaartschepen, aggregaten en bouwmachines. In EU (2016) wordt NRMM beschreven als alle verbrandingsmotoren die niet onder andere wetgeving vallen. Daaronder vallen ook motoren die extra op voertuigen zijn gemonteerd.

meegenomen.⁸⁴ Mobiele werktuigen zijn een relevante bron van zowel CO₂ als luchtverontreinigende stoffen. Het doel van dit hoofdstuk is om de belangrijkste inzichten en beleidseffecten in de categorie mobiele werktuigen in de bouwsector en de invloed hiervan op de ingroei van schoon en emissieloos materieel te duiden. De scope van dit hoofdstuk is echter specifiek dan de algemene definitie van mobiele werktuigen en richt zich uitsluitend op de emissies van mobiele werktuigen in de bouw (bouwmachines). Voor mobiele werktuigen in de bouw zijn er belangrijke beleidsontwikkelingen die worden gedreven door het programma Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). Het doel van het programma SEB is om de stikstofuitstoot van bouwmachines en breder de inzet van bouw materieel te reduceren en tegelijkertijd ook bij te dragen aan de doelstellingen uit het Klimaatakkoord en het Schone Lucht Akkoord.

In het programma SEB is door de Rijksoverheid in een samenwerking van overheden, bedrijven en kennisinstellingen, vastgelegd hoe de transitie naar schoon en emissieloos bouwen t/m 2030 vorm krijgt. Concreet is er een Routekaart⁸⁵ en een Convenant⁸⁶ opgesteld om het traject naar een schone en emissieloze bouwsector in 2030 vorm te geven. Omdat de overgang naar schoon en emissieloos bouw materieel extra kosten met zich meebrengt, is sinds mei 2022 de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouw materieel (SSEB)⁸⁷ een onderdeel van SEB. SSEB is bedoeld om de aanschaf van en ombouw naar emissieloos⁸⁸ en emissiearm⁸⁹ bouw materieel (bouw werktuigen, hulpfuncties en bouwvoertuigen) te stimuleren. Ook bevat de regeling een innovatieonderdeel. Om een deel van de meerkosten van (deels) emissieloze bouwprojecten te dekken is er sinds 2024 bovendien de “Specifieke uitkering Schoon Emissieloos Bouwen medeoverheden” (SPUK SEB)⁹⁰ en de “SEB-middelen Aanbestedende rijksdiensten”⁹¹.

PBL heeft TNO gevraagd om voor de KEV 2024 en de ERL 2025 een inschatting te maken van de (versnelde) ingroei van Stage V-bouwmachines en emissieloze bouwmachines ten gevolge van het beleid in het SEB-programma, namelijk:

- De Routekaart en het Convenant Schoon en Emissieloos Bouwen
- De subsidieregelingen
- Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouw materieel (SSEB)
- Specifieke uitkering Schoon Emissieloos Bouwen medeoverheden (SPUK SEB)
- SEB-middelen aanbestedende rijksdiensten.

Al deze beleidsmaatregelen worden in de KEV 2024 en de ERL 2025 tot het vastgestelde beleid gerekend, conform de uitwerking per 1 mei 2024 (zie ook PBL & TNO, 2024⁹²). Deze notitie geeft de onderbouwing, resultaten en duiding van de effectberekeningen van het vastgestelde beleid. De periode voor de effectberekeningen is 2025 tot en met 2040.

⁸⁴ S.N.C. Dellaert, P. van Mensch, A. Bhoraskar, P. van der Mark. (2021). Eindrapport data onderzoek mobiele machines in Nederland.

⁸⁵ <https://cdn.opwegnaarseb.nl/media/Routekaart%20SEB%20-%20definitief.pdf>

⁸⁶ <https://www.opwegnaarseb.nl/convenant>

⁸⁷ <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sseb>

⁸⁸ Een emissieloze of uitstootvrije machine stoot geen stikstofoxiden, roetdeeltjes en broeikasgassen uit. Dit staat vrij van de techniek en kan bijvoorbeeld gaan om batterij-elektrisch materieel, maar ook om materieel op waterstof.

⁸⁹ In de regeling gaat het om de installatie van een SCR-systeem (een nabehandelingssysteem voor selectieve katalytische reductie) op een motor van een bouw werktuig dat de emissies van NO_x reduceert. Na installatie moeten de uitlaatemissies van het werktuig voldoen aan de emissielimieten die in de regeling staan omschreven, zie: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0046464/2024-01-10#Bijlage3>

⁹⁰ <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/spuk-seb>

⁹¹ <https://www.opwegnaarseb.nl/instrumenten>

⁹² PBL & TNO (2024), Beleidsoverzicht en factsheets beleidsinstrumenten. Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Dit hoofdstuk draagt bij aan de onderbouwing van de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV 2024) en de emissieramingen voor luchtverontreinigende stoffen 2025 (ERL 2025).

Toegepaste modellen

Om de effecten van de subsidieregelingen en de Routekaart te berekenen is onder andere gebruik gemaakt van het Emissiemodel mobiele machines (EMMA-model⁹³) en het prognosemodel MEPHISTO (Dellaert, 2023, Hulskotte, 2016) gebruikt. Het EMMA-model wordt gebruikt voor de modellering van de landelijke emissiecijfers voor mobiele werktuigen⁹⁴. MEPHISTO⁹⁵ raamt toekomstige emissies en sluit naadloos aan op EMMA. PBL gebruikt dit model ook voor de emissieramingen voor mobiele werktuigen.

Leeswijzer

Paragrafen 3.2.2 en 3.2.3 lichten de hiervoor genoemde beleidsmaatregelen uit het SEB-programma verder toe en geven een schatting van het effect van de maatregelen op de ingroei van emissieloos (ZE) materieel. Allereerst worden de SEB subsidieregelingen besproken, gevolgd door de Routekaart SEB (en het Convenant als onderdeel daarvan). De effectschattingen starten bij de subsidieregelingen, vanwege het uitgangspunt dat de subsidies ondersteunend zijn aan de Routekaart SEB. Vervolgens wordt gekeken in hoeverre de Routekaart SEB additioneel nog effect heeft op de ingroei van emissieloos materieel. Tot slot beschrijft paragraaf 3.2.4 de totale geschatte ingroei van emissieloos materieel.

3.3 Effectschatting van de SEB subsidieregelingen

Het doel van deze paragraaf is om de SEB subsidieregelingen toe te lichten en om uit te leggen hoe de effectschatting van de subsidieregelingen op de ingroei van emissieloos materieel is bepaald.

Zoals eerder genoemd, kent het programma SEB drie subsidieregelingen:

- Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB)
- Specifieke uitkering Schoon Emissieloos Bouwen medeoverheden (SPUK SEB)
- SEB-middelen aanbestedende rijksdiensten.

De SSEB is bedoeld om de aanschaf van en ombouw naar emissieloos en emissiearm bouwmaterieel te stimuleren. De regeling richt zich op bouwbedrijven in Nederland en bedrijven die bouwmaterieel verhuren. SSEB bestaat uit drie sporen van instroom van schone bouwmachines: SSEB Aanschaf, SSEB Retrofit en SSEB Innovatie. SSEB Aanschaf is bedoeld voor de aanschaf van nieuwe emissieloze bouwmachines. Bedrijven kunnen in aanmerking komen voor SSEB Retrofit indien zij bouwwerktuigen of bouwvaartuigen, die al in gebruik zijn, laten ombouwen naar emissiearm of emissieloos. Dit kan door de aanschaf en installatie van respectievelijk een SCR-katalysator⁹⁶ of een emissieloze aandrijflijn. De Innovatieregeling is een kennisprogramma voor haalbaarheidsstudies en experimentele

⁹³ Het EMMA model bevat een inschatting over de aantallen machines, machinetypen, eigenschappen (motortypen, vermogen, bouwjaar/emissienorm), de inzet (draaiuren, brandstofgebruik, motorbelasting etc.) en emissiefactoren (Hulskotte & Verbeek, 2009). Het energiegebruik en bijbehorende emissies van o.a. CO₂ en NO_x worden berekend aan de hand van de verwachte draaiuren en de emissiefactoren van de machines zoals volgen uit de normen en uitgevoerde metingen.

⁹⁴ <https://www.emissieregistratie.nl/>

⁹⁵ Dellaert et al. (2023). EMMA – MEPHISTO model Calculating emissions for Dutch NRRM fleet

⁹⁶ Een SCR (Selective Catalytic Reduction) katalysator verlaagt de uitstoot van stikstofoxiden.

projecten op het gebied van praktijkervaring of technische ontwikkelingen van emissieloze bouwmachines en de benodigde infrastructuur. SSEB Innovatie ondersteunt daarmee indirect SSEB Aanschaf en SSEB Retrofit, omdat het aanbod van machines en de toepasbaarheid daarvan (bijvoorbeeld door verbeterde infrastructuur) potentieel verbeterd wordt. SSEB Innovatie wordt daarom in de effectschattingen voor SSEB Aanschaf en Retrofit als voorwaarde-scheppend beschouwd en wordt impliciet meegenomen. De Aanschaf- en Retrofitregelingen zijn beide expliciet meegenomen in de effectberekeningen.

De “Specifieke uitkering Schoon Emissieloos Bouwen medeoverheden” en de “SEB-middelen aanbestedende rijksdiensten” zijn regelingen die zijn bedoeld voor opdrachtgevende overheden. Projecten worden naar verwachting duurder vanwege de inzet van emissieloos materieel. Deze regelingen zijn voor opdrachtgevende overheden beschikbaar gesteld om die meerkosten (deels) te kunnen dekken. De SSEB daarentegen is beschikbaar gesteld voor bedrijven om tegemoet te komen in de aanschaf van emissieloos materieel en de ombouw naar emissieloos of emissiearm materieel.

De drie hiervoor beschreven subsidieregelingen zijn naar verwachting beschikbaar tot en met 2030.

Budgetten

Voor de effectschatting wordt ingeschat hoeveel emissieloze materieelstukken potentieel worden aangeschaft vanuit de subsidieregelingen. Om deze schatting te kunnen maken is allereerst informatie benodigd over de beschikbare subsidiebudgetten. [Tabel 3.1](#) geeft een overzicht van de budgetten voor de drie subsidieregelingen waarmee is gerekend in de KEV 2024. De verdeling en omvang van de budgetten kunnen in de komende jaren nog veranderen, omdat deze mede afhankelijk zijn van het succes van andere onderdelen van de subsidieregelingen. Als er bijvoorbeeld meer subsidies worden aangevraagd voor SCR-retrofit-installaties op bouwwerktuigen of retrofit van zeegaande bouwvaartuigen, kan worden besloten het totale budget anders over de onderdelen te alloceren. Bovendien was ten tijde van de berekening nog niet voor alle subsidieregelingen bekend hoe deze over de jaren worden verdeeld. In deze gevallen zijn daar aannames over gemaakt (zie ook PBL & TNO, 2024).

Tabel 3.1: Aangehouden SSEB-budgetten van 2024 t/m 2030 voor bouwwerktuigen en hulpfuncties op basis van Factsheet Stikstofmonitor Maatregelen Bouw⁹⁷ (reeds verdeeld budget en concept verdeling aanvullende middelen)

Subsidiebudget [mln €]	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
SSEB	30	30	30	30	20	20	10
SSEB - aanvullend	13	13	13	13	13	13	13
SPUK SEB	18	23	33	27	27	27	27
SEB Aanbestedende Rijksdiensten	30	30	25	20	10	10	10
SEB Aanbestedende Rijksdiensten – aanvullend	14	14	14	14	14	14	14

3.3.1 Uitgangspunten voor berekeningen van de subsidieregelingen

Met de budgetten uit **Tabel 3.1** en onderstaande uitgangspunten is vervolgens een inschatting gemaakt van de aantallen emissieloos materieel die vanuit de subsidieregelingen worden aangeschaft.

Aanvragen voorgaande jaren en extrapolatie naar 2030

De SSEB-realisatie voor 2023⁹⁸ en 2024 en het bijbehorende budget zijn gebruikt om de aangevraagde aantallen vanuit SSEB te extrapoleren tot 2030. Op basis van informatie over de allocatie van de SSEB-budgetten in 2023 en de aantallen machines is een gemiddeld subsidiebedrag per machine berekend. Daarbij is onderscheid gemaakt naar de benodigde subsidiebedragen voor retrofit-materieel en nieuw aangekocht emissieloos materieel. In de uiteindelijke emissieberekeningen wordt de totale toename van emissieloos materieel meegenomen, ongeacht of dit via retrofit of nieuwverkoop gebeurt.

Een deel van de SSEB-budgetten kan ook worden ingezet voor de aanschaf van emissieloze bouwvoertuigen of de aanschaf van emissieloze hulpfuncties op bouwvoertuigen. Bovendien geldt de SSEB-regeling ook voor spoorwerktuigen en waterbouwwerktuigen. Deze materieelstukken vallen echter buiten de scope van de bouwmachines die in dit hoofdstuk worden behandeld, omdat deze onder de definitie van de Emissieregistratie niet onder de categorie Mobile Werktuigen vallen, maar onder respectievelijk Railverkeer en Binnen- en Zeescheepvaart. Wel wordt voor de SSEB-budgetten in de toekomstige jaren aangenomen dat een deel daarvan niet wordt besteed aan bouwmachines, maar aan de genoemde overige categorieën. Er is aangenomen dat de verhouding van de budgetallocatie in 2023 tussen bouwmachines en de overige categorieën voer- en werktuigen over toekomstige jaren hetzelfde blijft.

Afname van meerkosten met 6%

De SSEB vergoedt een deel van de meerkosten van emissieloze machines. De verwachting is dat die meerkosten in de loop der jaren afnemen, waardoor het subsidiebedrag per machine afneemt en met hetzelfde subsidiebudget meer machines gesubsidieerd kunnen worden. In de beginjaren is de meerprijs van elektrisch materieel hoog vanwege relatief kleine oplages en de relatief hoge kosten van het accupakket. Ervanuit gaande dat de meerprijs van elektrisch materieel in 2030 alleen bestaat uit de accukosten, wordt ingeschat dat de

⁹⁷ Consortium PBL-RIVM-WUR. 2024. Beleidsoverzicht en factsheets beleidsinstrumenten. Achtergronddocumenten bij de Monitoring en Evaluatie van het programma Stikstofreductie en Natuurverbetering (MESN). Verkregen via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-06/pbl-2024-beleidsoverzicht-en-factsheets-beleidsinstrumenten-MESN-5255.pdf>

⁹⁸ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-04/Realisatiegegevens%20SSEB%20regeling%202023.pdf>

aanschafkosten van elektrisch materieel met ca. 6% per jaar daalt t/m 2030. Hierbij is uitgegaan van een raming over de kostenontwikkeling van accupakketten voor bestel- en vrachtauto's, waarbij wordt geraamd dat de prijs van accupakketten kan dalen van 160 dollar per kWh in 2022 naar 83 dollar per kWh in 2030. Dit is gebaseerd op de uitkomsten van de studie van Bloomberg New Energy Finance 2022 (BNEF 2022). Voor retrofit is geen kostendaling meegenomen. Dit vanwege de kleine oplages en veel benodigd handwerk voor ombouw.

Maximale subsidiepercentages

Sinds SSEB 2024 zijn de maximale subsidiepercentages (de hoogte van de subsidie is een maximaal percentage van de meerkosten en maximaal €300.000,- per machine) aangepast ten opzichte van voorgaande jaren. Er is aangenomen dat het subsidiebedrag per machine gemiddeld met 30% afneemt en daarna niet meer wijzigt t/m 2030.

Benutten van de beschikbare budgetten

Het is niet zeker dat bij een subsidieregeling het beschikbare budget volledig benut wordt. Omdat in 2022 het SSEB budget op de dag van openstelling al overtekend was ⁹⁹, en het in 2023 ook volledig is besteed, is de aannahme gedaan dat het SSEB budget ook in de komende jaren volledig benut wordt. Hier is geen bandbreedte voor opgenomen. Een extra onderbouwing voor deze aannahme is dat de druk op de bouwsector om te verduurzamen hoog is. Dit heeft onder meer te maken met de stikstofproblematiek in Nederland, waardoor voor alle bouwprojecten moet worden getoetst welke gevolgen zij hebben voor de stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden. Bouwactiviteiten die geen extra stikstofdepositie veroorzaken volgens de voortoets met de AERIUS Calculator ¹⁰⁰ mogen doorgaan. In alle andere gevallen dient een natuurvergunning te worden aangevraagd. Er is echter terughoudendheid bij sommige provincies wat betreft het verlenen van natuurvergunningen. In dat geval blijft het verminderen van emissies van bouw materieel de enige optie om bouwactiviteiten te kunnen starten of voortzetten. Daarnaast verplicht Artikel 7.19a uit het Besluit bouwwerken en leefomgeving (Bbl), die sinds 1 januari 2024 in werking is getreden met het ingaan van de Omgevingswet, initiatiefnemers om bij het verrichten van bouw- en sloopwerkzaamheden 'adequate maatregelen' te nemen om stikstofemissies te beperken. Dit geldt voor bouw- en sloopactiviteiten die vergunning- of meldingsplichtig zijn. De initiatiefnemer dient het bevoegd gezag (bijvoorbeeld een gemeente) te informeren over de genomen maatregelen tegelijk met de aanvraag voor een vergunning of bij een melding. ¹⁰¹ Ten slotte is er nog het Convenant SEB. Partijen die het convenant ondertekenen verbinden zich aan de reductiemaatregelen uit de Routekaart SEB (de Routekaart SEB geeft een meerjaren-stappenplan voor vermindering van emissies in de bouwsector).

Interactie tussen regelingen

Voor het additionele effect van de subsidiebudgetten voor de Aanbestedende diensten en de SPUK-regeling op de ingroei van emissieloze werktuigen wordt een bandbreedte aangehouden. Voor het minimum wordt ervanuit gegaan dat deze twee regelingen louter faciliterend zijn aan SSEB en daarom niet bijdragen aan de aanschaf van extra emissieloze werktuigen. Daarom worden in het minimumscenario alleen de aantallen emissieloze machines vanuit SSEB aangehouden. In het maximumscenario worden de aantallen uit de SSEB verdubbeld vanuit de budgetten voor Aanbestedende diensten en SPUK (terwijl de

⁹⁹ <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D00713>

¹⁰⁰ Een rekeninstrument dat de toestemmingsverlening onder de Omgevingswet ondersteunt, zie www.aeriusproducten.nl

¹⁰¹ Bron: <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/emissiereductieplicht-bouwen-slopen/emissiereductieplicht/>

budgetten meer dan verdubbelen; hier wordt nog steeds aangenomen dat de budgetten voor Aanbestedende diensten en SPUK deels ondersteunend zijn aan SSEB).

Verdeling over vermogenscategorieën

Het type materieel, en de daarbij behorende motorvermogens en accucapaciteiten, heeft een sterke invloed op de aanschafprijs en daarmee ook op het aantal machines dat binnen het beschikbare subsidiebudget kan worden gesubsidieerd. De verdeling over de vermogenscategorieën, zoals die in 2023 was, is als referentie gebruikt. De aangevraagde subsidies in dat jaar waren redelijk gelijkmatig verspreid over de verschillende vermogenscategorieën. Meer dan 60% van de aanvragen betrof machines onder de 56 kW (dat is ook de categorie met het grootste vlootaandeel in aantallen). Daarnaast werd een aanzienlijk deel van de subsidies aangevraagd voor machines met een vermogen tussen de 56 en 300 kW.

Indien de verhoudingen qua vermogenscategorieën in de komende jaren afwijken kan dit ook leiden tot een andere impact op emissies, met name van de luchtverontreinigende stoffen. De emissielimieten verschillen per vermogensklasse. Zo zijn bijvoorbeeld de NOx-emissielimieten voor de meest moderne dieselmachines (Stage V¹⁰²) minder streng voor machines met een motorvermogen onder de 56 kW ten opzichte van machines met een motorvermogen boven de 56 kW. Aan de andere kant hebben de zwaardere machines in het algemeen een hoger brandstofverbruik, en daarmee hogere CO₂-emissies per machine. Deze onzekerheid is niet verwerkt in een bandbreedte.

Ingroei ZE na 2030

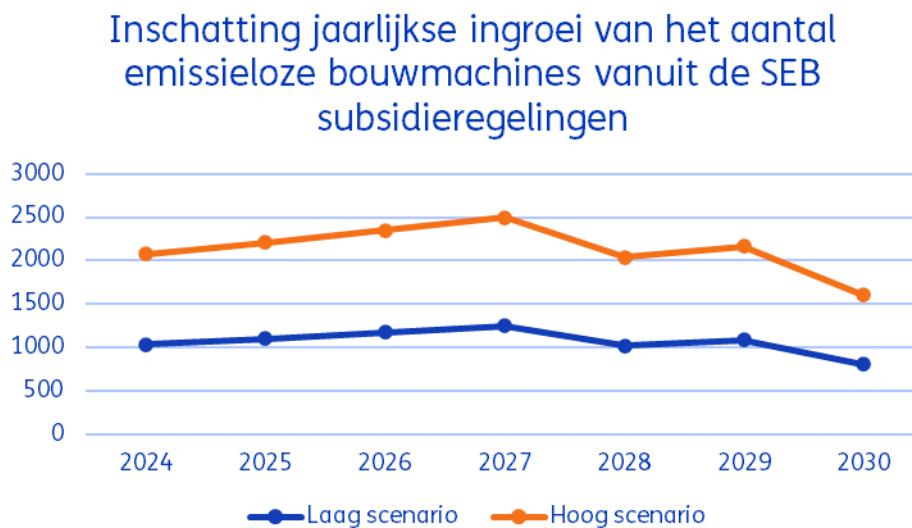
Het subsidiebudget voor de verschillende regelingen was per 1 mei 2024 vastgelegd voor de periode t/m 2030. Er zijn nog geen concrete plannen voor de periode daarna. Er is medio 2024 geen goed beeld van wat er in de markt gebeurt als er na 2030 geen aanschafondersteuning meer zou zijn voor emissieloos materieel. De markt is daarvoor medio 2024 nog te pril. Vaak wordt de eerste marktintroductie van schone technologie gesubsidieerd en worden uiteindelijk wettelijke normen ingevoerd, die op termijn de inzet van schone technologie (deels) verplicht stellen of afdwingen (zoals bij elektrische personenauto's het geval is), waarna subsidies na verloop van tijd worden afgebouwd. Voor zover bij TNO bekend, zijn er medio 2024 in de EU of in Nederland geen plannen in voorbereiding voor dergelijke wettelijk vastgestelde normering. Dit maakt dan ook geen onderdeel uit van het vastgestelde en voorgenomen beleid in de KEV 2024. Daarnaast lopen bijvoorbeeld de afspraken in het SEB Convenant tot en met 2030. Daarom is het volgende uitgangspunt gehanteerd om binnen het MEPHISTO prognosemodel tot een inschatting te komen voor de instroom van emissieloze werktuigen na 2030:

- De ingroei van emissieloos materieel is dan al negen jaar op gang gekomen en daarmee is ervaring opgedaan met dit materieel.
- Infrastructurele uitdagingen zijn bekend en mogelijk grotendeels opgelost, bijvoorbeeld met behulp van tijdelijke krachtstroomvoorzieningen;
- Het aandeel emissieloos in de vloot is toegenomen.
- De Routekaart SEB is daarnaast naar verwachting nog steeds aanwezig. Hierdoor is aangenomen dat het in 2030 bereikte marktaandeel door de SEB-subsidieregelingen in de verkopen constant blijft in de jaren daarna.

¹⁰² [Verordening \(EU\) 2016/1628](#)

3.3.2 Ingroei aantal emissieloze bouwmachines

In Figuur 3.3 staat de inschatting van de jaarlijkse ingroei van het aantal emissieloze machines dat vanuit de subsidieregelingen wordt aangeschaft. Dit is gebaseerd op de subsidiebudgetten in Tabel 3.1 en de hierboven omschreven uitgangspunten. De vloot groeit hierdoor met ca. 7.500 – 15.000 emissieloze werktuigen t/m eind 2030.



Figuur 3.3 Extrapolatie van het aantal emissieloze bouwmachines vanuit de SEB subsidieregelingen (2024 – 2030).

Het jaar 2023, dat als ijkpunt is gebruikt voor de inschatting van het type machines dat wordt gesubsidieerd, is een momentopname en het is niet vanzelfsprekend dat de machinetyperen en motorvermogens in volgende jaren hetzelfde zijn.

3.4 Effectschatting van de Routekaart SEB

In deze paragraaf wordt allereerst de Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen toegelicht. Daarbij wordt ingegaan op de emissie-eisen voor materieel zoals beschreven in de Routekaart SEB en wordt het juridisch kader rondom de eisen uitgelegd. Ten slotte volgt een omschrijving van de uitgangspunten die zijn aangehouden bij de effectschatting van de Routekaart SEB op de ingroei van schoon en emissieloos materieel.

Routekaart SEB: drie niveaus van eisen

In de Routekaart SEB is door de Rijksoverheid in een samenwerking van overheden, bedrijven en kennisinstellingen, vastgelegd hoe de transitie naar schoon en emissieloos bouwen t/m 2030 vorm krijgt. Voor het reduceren van emissies is een tijdspad opgesteld inclusief maatregelen en acties om deze reductie te realiseren. Hieraan zijn doelstellingen op het gebied van het terugdringen van de uitstoot van CO₂ en luchtverontreinigende stoffen (stikstof en fijnstof) gekoppeld. De Routekaart is opgesteld voor diverse emissiebronnen in de bouwuitvoeringsfase, namelijk bouwmachines, specialistisch spoorbouwmaterieel, wegvoertuigen voor bouwtransport en schepen in de waterbouw. Voor de inschatting van de beleidseffecten is, zoals genoemd in paragraaf 3.2.1 en 3.2.2.1, alleen het gedeelte van de Routekaart SEB meegenomen dat specifiek betrekking heeft op bouwmachines.

Voor bouwmachines bestaan er in de Routekaart SEB drie niveaus: het minimumniveau, het basisniveau en het ambitieuze niveau. Voor elk van de niveaus zijn eisen opgesteld gericht op het verschonen van mobiele werktuigen. Het gaat om de uitfasering van ouder materieel, het bevorderen van gebruik van emissiereductiesystemen, zoals roetfilters en SCR-katalysatoren (katalysator voor NO_x-reductie), en het bevorderen van de inzet van elektrisch materieel. Het tijdspad van de transitie naar schoon en emissieloos bouwen is verdeeld in vier periodes: 2023-2024, 2025-2027, 2028-2029 en 2030 en verder.

Het minimumniveau, weergegeven in **Tabel 3.2**, moet gaan gelden voor mobiele werktuigen die gebruikt worden bij bouw- en sloopactiviteiten die vergunningplichtig of meldingsplichtig zijn. De uitvoering van het minimumniveau is gekoppeld aan de Omgevingswet. Dit wordt in paragraaf 3.2.3.1 verder toegelicht.

Tabel 3.2 Routekaart SEB - Minimumniveau voor mobiele werktuigen. Bron: Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen

	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)	Gelijk aan eisen niet-stationair	Gelijk aan eisen niet-stationair	<560 kW: 100% ZE** >560 kW: gelijk aan eisen niet-stationair	<560 kW: 100% ZE** >560 kW: gelijk aan eisen niet-stationair

* Met 'katalysator' wordt een effectieve SCR-katalysator bedoeld. Met 'roetfilter' wordt een werkend, gesloten roetfilter bedoeld.

** Voor Stage V-materieel is een overgangsregeling van kracht. Stage V-materieel van voor 1 januari 2028 is nog tot 1 januari 2033 toegestaan.

Het basisniveau stelt hogere eisen dan het minimumniveau en geldt voor bouw-, sloop- en onderhoudsprojecten met een publieke opdrachtgever (zie Tabel 3.3). De eisen worden opgenomen in aanbestedingen en contracten van de opdrachtgevers.

Tabel 3.3 Routekaart SEB - Basisniveau voor mobiele werktuigen. Bron: Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen

	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)	Gelijk aan eisen niet-stationair	Gelijk aan eisen niet-stationair	<560 kW: 100% ZE** >560 kW: gelijk aan eisen niet-stationair	<560 kW: 100% ZE** >560 kW: gelijk aan eisen niet-stationair

* Met 'katalysator' wordt een effectieve SCR-katalysator bedoeld. Met 'roetfilter' wordt een werkend, gesloten roetfilter bedoeld.

** Voor Stage V-materieel is een overgangsregeling van kracht. Stage V-materieel van voor 1 januari 2028 is nog tot 1 januari 2033 toegestaan.

Het ambitieuze niveau, weergegeven in [Tabel 3.4](#), is bedoeld voor partijen – zogenoemde 'koplopers' – die een hoger ambitieniveau betreffende de inzet van emissieloos materieel nastreven. De eisen in het ambitieuze niveau zijn gekoppeld aan een vastgesteld percentage koploperprojecten, aangegeven in een bandbreedte. Voor koploperprojecten dient een percentage van het werk met emissieloos materieel te worden uitgevoerd. Voor het overige materieel dat wordt ingezet, gelden minimaal de eisen van het basisniveau.

Afspraken over de uitvoering van het basisniveau en het ambitieuze niveau zijn vastgelegd in het Convenant Schoon en Emissieloos Bouwen (het Convenant wordt in paragraaf 3.2.3.1 verder toegelicht). In het Convenant spreekt een partij af of zij zich bindt aan alleen het basisniveau of ook het ambitieuze niveau. Voor het ambitieuze niveau geldt een inspanningsverplichting.

Tabel 3.4 Routekaart SEB Ambitieuze niveau voor mobiele werktuigen. Bron: Routekaart Schoon en Emissieloos Bouwen

	Periode 1 1 jan. 2023	Periode 2 1 jan. 2025	Periode 3 1 jan. 2028	Periode 4 1 jan. 2030
Aandeel koploperprojecten*	5 – 25%	25 – 50%	50 – 80%	75 – 95%

	Periode 1 1 jan. 2023	Periode 2 1 jan. 2025	Periode 3 1 jan. 2028	Periode 4 1 jan. 2030
Percentage ZE verricht arbeid in een project, draaiuren x vermogen	10 – 30%	30 – 70%	70 – 90%	90 – 100%

* Percentage van het projectportfolio van een opdrachtgever

3.4.1 Juridisch kader

De uitvoering van het minimumniveau is met de inwerkingtreding van de Omgevingswet, die op 1 januari 2024 is ingegaan, gekoppeld aan het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) waarin een overkoepelende zogenoemde “emissiereductieplicht” voor de algehele bouwactiviteiten is opgenomen “met als doel om het aandeel van de bouw in de gehele stikstofuitstoot te reduceren”. 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”. Het gaat hierbij om de uitstoot van materieel op de bouwplaats bij de bouw of sloop van een bouwwerk (gebouwen of ‘kunstwerken’, zoals bruggen en tunnels). De Bbl is van toepassing op vergunningplichtige en meldingsplichtige bouwwerken. Een concrete (gekwantificeerde) emissiereductieplicht en referentiewaarde was medio 2024 niet gespecificeerd in de wettekst. Ook was het beoordelingskader niet opgenomen in de wettekst en worden er geen specifieke ‘adequate maatregelen’ meegegeven in artikel 7.19a van de Bbl. De stikstofreductieplicht is daarmee open van karakter. In de Routekaart staat genoemd dat het minimumniveau voor mobiele werktuigen kan worden gebruikt “als deel van de invulling van het begrip “adequate maatregelen” als bedoeld in artikel 7.19a Bbl en kan door het bevoegd gezag gebruikt worden bij de beoordeling daarvan. Andere mogelijke maatregelen zijn bijvoorbeeld het beperken van bewegingen van voertuigen op de bouwplaats of prefabricage om de bouwtijd te beperken.” Volgens Vastgoed Advocaten “zal de handhaving van artikel 7.19a van het Bbl, uit oogpunt van rechtszekerheid, niet makkelijk zijn.” Wel noemt Vastgoed Advocaten dat de wetgever overweegt dat een maatregel pas adequaat is, als er op dat punt ook resultaat wordt bereikt. In praktijk zal de stikstofreductieplicht daarom niet zo vrijblijvend werken. Mogelijk wordt dit door bevoegd gezag vooral via de informatieplicht over de stikstofbeperkende maatregelen getoetst. Echter, zoals Vastgoed Advocaten schrijft, “dat er aan de informatieplicht uit artikel 7.5c wordt voldaan, betekent niet automatisch dat er ook aan de stikstofreductieplicht uit artikel 7.19a uit de Bbl is voldaan”.¹⁰³

In het 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. Doordat de naleving van het Convenant niet in rechte kan worden afgedwongen en belangen van niet-deelnemende partijen niet worden behartigd, is de effectiviteit van het Convenant onzeker. Het juridisch kader lijkt daarom beperkt tot vergunningplichtige activiteiten en eisen in nieuwe openbare aanbestedingen.

Voor een deel van de bouwsector worden de eisen mogelijk pas later van kracht. Er wordt namelijk beoogd dat de Routekaart SEB alleen geldt voor nieuwe aanbestedingen en vergunningseisen en niet voor contracten, opdrachten en projecten die ten tijde van de

¹⁰³ <https://vastgoed-advocaten.nl/2023/11/een-nieuwe-stikstofreductieplicht-voor-projectontwikkelaars-onder-de-omgevingswet-2/>

inwerkingtreding van de Routekaart al lopend of reeds vergund waren. Hoe groot dit aandeel medio 2024 is, is niet bekend.

3.4.2 Uitgangspunten voor de berekeningen van de Routekaart

Voor het inschatten van het effect van de Routekaart is eerst een inschatting gemaakt van het aantal benodigde schone en emissieloze machines om aan de maatregelen uit de Routekaart te voldoen. Vervolgens is geschat wat de mate van opvolging is van de maatregelen uit de Routekaart. Deze paragraaf beschrijft enkele belangrijke uitgangspunten die zijn meegenomen in de inschatting van het effect van de Routekaart SEB op de ingroei van schoon en emissieloos materieel.

- Het basisniveau is, zoals in paragraaf 3.2.3 toegelicht, alleen relevant voor bouwwerken met een publieke opdrachtgever. Er wordt door TNO geschat dat 50% van alle bouwwerken in Nederland een publieke opdrachtgever heeft en dat 50% van het bouwmachinepark op projecten met een publieke opdrachtgever wordt ingezet.
- Het huidige Convenant is geldig tot 31 december 2030. TNO neemt voor deze inschatting aan dat daarna alleen nog wordt uitgegaan van het minimumniveau (dat dan voor de hele bouwsector geldt).
- Het minimumniveau is gekoppeld aan de Omgevingswet, Bbl, art. 7.19a. Hierin staat de volgende tekst opgenomen: "Bij het verrichten van bouw- en sloopwerkzaamheden worden adequate maatregelen getroffen om de emissie van stikstofverbindingen naar de lucht te beperken." 'Adequate maatregelen' is niet concreet gedefinieerd. De Routekaart is een mogelijke invulling, maar is niet verplicht. Als gevolg van onduidelijkheid over de wettekst is er onzekerheid over de mate van opvolging van de eisen uit de Routekaart. Deze onzekerheid wordt meegenomen in een bandbreedte die het geschatte effect van de Routekaart aangeeft (zowel voor emissieloos- als schoon dieselmaterieel).
- De mate van toezicht en handhaving op de eisen van de routekaart (en de werking van emissiecontrolesystemen) is in dit stadium nog zeer onduidelijk en draagt daardoor eveneens bij aan onzekerheid over de opvolging van de eisen. Deze onzekerheid is ook meegenomen in de bandbreedte van het geschatte effect van de Routekaart (zowel voor emissieloos- als schoon dieselmaterieel).
- Voor zowel emissieloos materieel als schoon diesel-aangedreven materieel is vanwege bovengenoemde onzekerheden een bandbreedte aangenomen over het additionele effect van de Routekaart (ten opzichte van de subsidieregelingen voor emissieloos materieel en ten opzichte van ingroei van Stage-V voor diesel-aangedreven materieel).
- Op basis van expert judgement is eerst geschat hoe de 50% van de machinevloot (waarvan is aangenomen dat die worden ingezet voor publieke werken, zoals eerder genoemd) zich verdeelt over gemeenten, waterschappen, provincies en rijksdiensten. Vervolgens is gekeken naar welke partijen het Convenant hebben ondertekend om te schatten hoe groot de groep is die zich committeert aan ten minste het basisniveau van de Routekaart. Binnen de groep gemeenten is dat aandeel berekend op basis van de inwoneraantallen van de gemeenten die het Convenant hebben ondertekend, in verhouding tot het totaal aantal inwoners in Nederland. Dit leidt tot een schatting dat de helft tot driekwart van de publieke opdrachtgevers het basisniveau volgt.
- Het aandeel publieke opdrachtgevers dat zich committeert aan het basisniveau is meegenomen in de bandbreedte. Daarnaast is er een geschat additioneel effect als gevolg van het minimumniveau van de Routekaart, dat de resterende groep (de overige publieke opdrachtgevers en alle private opdrachtgevers) zou moeten volgen.
- Over de mate van naleving van de eisen van zowel het minimum- als het basisniveau bestaat onzekerheid, zoals eerder is toegelicht. Hoeveel impact dit zal hebben op de

effectiviteit van het beleid is echter moeilijk te voorspellen. Om deze reden heeft TNO een ruime bandbreedte gehanteerd op het aantal emissieloze en Stage V bouwmachines dat nodig is om aan de Routekaart te voldoen die is gebaseerd op expert judgement.

Uitgangspunten specifiek voor emissieloos materieel

- De subsidieregelingen SEB zijn volledig ondersteunend aan de Routekaart SEB en helpen bij het realiseren van een gedeelte van de benodigde aantallen emissieloze bouwmachines.
- Er wordt voor het ambitieuze niveau geen extra ingroei van emissieloos materieel berekend, omdat wordt aangenomen dat de subsidieregelingen voor de Aanbestedende diensten en SPUK worden gebruikt voor de aanschaf van machines ter invulling van de maatregelen uit het ambitieuze niveau. In deze bandbreedte die is aangenomen over het additionele effect van de Routekaart ten opzichte van de subsidieregelingen, zoals hierboven toegelicht, draagt de Routekaart SEB, boven op de subsidieregelingen vanaf 2024, circa 20% tot circa 60% bij aan de totale aantallen emissieloze machines in de machinevloot in 2030. In 2025 ligt deze bandbreedte tussen circa 10% en 40% van de totale aantallen emissieloze bouwmachines en in 2035 tussen circa 25% en 70%.

Uitgangspunten specifiek voor schoon diesel-aangedreven materieel

- Voor de ingroei van schoon diesel-aangedreven materieel wordt specifiek gekeken naar de ingroei van Stage V-materieel¹⁰⁴. Dit gaat om zowel fabriek-af Stage V-materieel (en Stage IV-materieel met een roetfilter) als om retrofit Stage V-materieel.
- Per vermogenscategorie is met behulp van MEPHISTO de autonome verjonging (en daarmee de ingroei van Stage V) per zichtjaar bepaald.
- Op basis van de Routekaart SEB (de eisen voor dieselmaterieel zijn voor het minimum- en basisniveau gelijk aan elkaar voor de perioden 2025 en 2030 en verder) is per vermogenscategorie in kaart gebracht welke Stage-klassen niet meer zijn toegestaan.
- Wanneer een dieselmachine van een bepaalde emissieklasse bij ingang van een nieuwe periode wordt geweerd, wordt deze in de berekening vervangen door een vergelijkbare toegestane machine (dit vindt plaats na verschuivingen in het park door ingroei emissieloos materieel).
- Er wordt aangenomen dat er slechts beperkt ruimte is voor verschuiving van machines aangezien de eisen voor de hele bouwsector gelden. Dit houdt in dat er slechts beperkt verschuiving naar Stage IIIA en IIIB plaatsvindt in het geval dat Stage IIIA/B als eis geldt. Daarmee is het grootste deel van de vervanging een Stage V-machine.
- Als uitgangspunt in de berekeningen is aangehouden dat 25-50% van de Stage IV machines (56 – 560 kW) over een gesloten roetfilter beschikt. Dit betekent dat het resterende gedeelte geweerd wordt bij de eis “*Stage IV met roetfilter*”. Het exacte aandeel roetfilters in de praktijk bij Stage IV-machines is niet bekend.
- Het wordt aangenomen dat bij vervanging het totale aantal draaiuren constant blijft.
- Gedragsmaatregelen, 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.

¹⁰⁴ Bouwmachines vallen onder de categorie Non-Road Mobile Machinery (NRMM) in de Europese emissiewetgeving. De emissieklassen van NRMM worden aangeduid in Stage-klassen. Stage-klassen geven aan hoeveel emissies de motor van nieuwe machines maximaal mogen uitstoten. Stage V is de meest recente en meest strenge emissienorm.

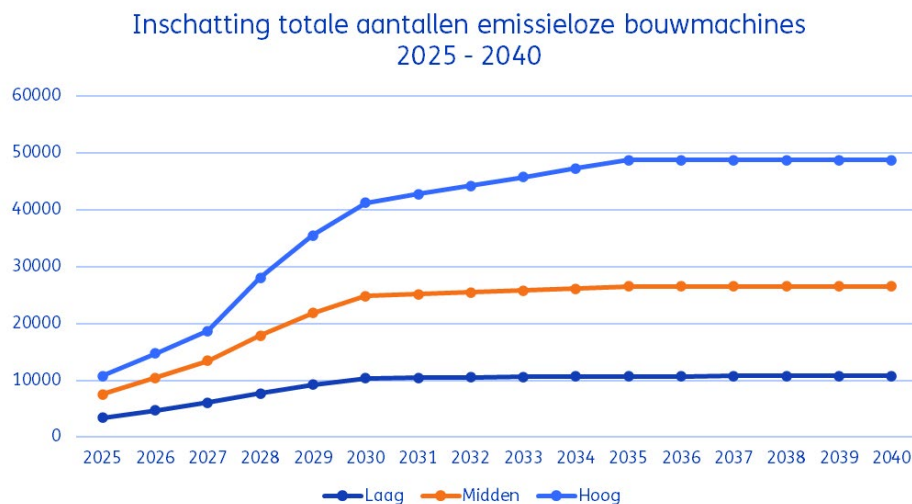
3.5 Uitkomsten

3.5.1 Aantal emissieloze bouwmachines

Figuur 3.5 laat voor drie scenario's de inschatting zien van het additioneel aantal emissieloze bouwmachines in de periode 2025 – 2040 als gevolg van het vastgestelde beleid (de SEB subsidieregelingen en de Routekaart SEB). In 2030 wordt het aantal additioneel emissieloze bouwmachines geschat op 10.000 – 41.000. Dit is 7.500 – 15.000 ten gevolge van de SEB subsidieregelingen (zie paragraaf 3.2.2.2) en 2.000 – 25.000 ten gevolge van de Routekaart. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de additionele aantallen gelijk zijn aan het totaal aantal emissieloze bouwmachines in de vloot, en daarmee dat de toename van emissieloos materieel uitsluitend wordt gedreven door het vastgestelde SEB-beleid.

Figuur 3.4 laat zien dat de groei van het aantal emissieloze bouwmachines in de vloot na 2030 afneemt. Dit is voornamelijk vanwege de aanname dat de subsidieregelingen t/m 2030 beschikbaar zijn en daarna niet worden doorgezet. Het Convenant SEB is geldig t/m 2030. Er zijn in de Routekaart SEB wel eisen opgenomen voor de jaren na 2030. Er is verondersteld dat de Routekaart SEB dan nog steeds aanwezig is, waardoor er ook na 2030 nog een groeiend effect zichtbaar is. In paragraaf 3.2.2.1 is meer toelichting opgenomen over de effecten na 2030. Het middenscenario ligt niet precies tussen hoog en laag in, omdat er voor het effect van de Routekaart (en de eerder beschreven onzekerheden over de emissiereductieplicht in de Bbl en toezicht en handhaving op de naleving van de eisen in de Routekaart) voor elk van de scenario's een afzonderlijke schatting is gemaakt. Daarnaast is verondersteld dat het effect van de subsidieregelingen in het midden- en hoog-scenario gelijk aan elkaar zijn.

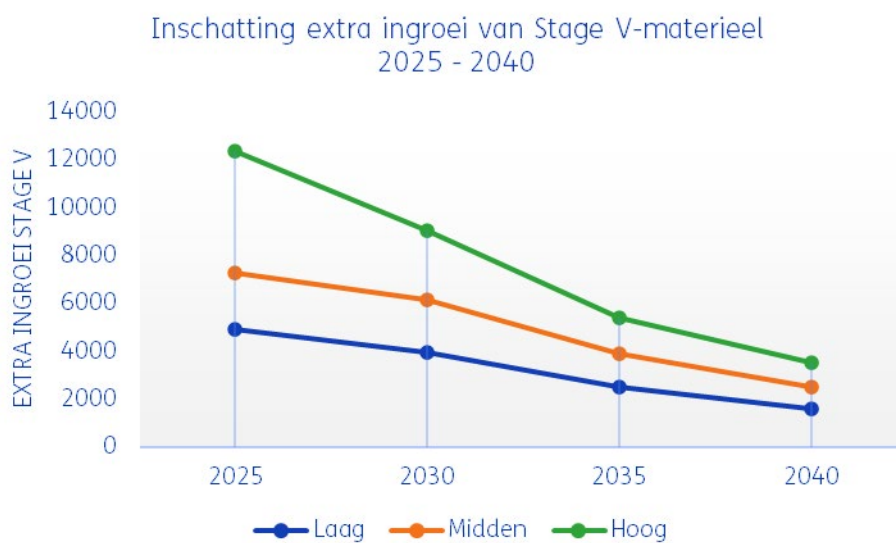
De finale ramingen van het effect van de beleidsontwikkelingen op emissies worden door PBL uitgevoerd.



Figuur 3.5 Inschatting van de totale aantallen emissieloze bouwmachines als gevolg van de beleidsontwikkelingen vanuit het programma SEB in de periode 2025 – 2040.

3.5.2 Ingroei aantal Stage V-bouwmachines

Figuur 3.6 geeft voor elk van de drie scenario's de inschatting weer van de extra ingroei van Stage V- materieel als gevolg van het weren van machines met lagere Stage-klassen. Het scenario - verdeeld naar laag, midden, hoog - duidt aan wat de mate is waarin het beleid wordt gevolgd en er aan de maatregelen wordt voldaan. In 2025 komen er volgens de middenraming ca. 7.300 Stage V-machines bij ten gevolge van de Routekaart, dat is ca. 15% van het totaal aantal Stage V machines. Bij latere periodes neemt dit effect af, vanwege de autonome verjonging. In 2030 komen er volgens de middenraming bijvoorbeeld ca. 6200 Stage V machines bij ten gevolge van de Routekaart, dat is ca. 8% van het totaal aantal Stage V machines. De ramingen van het effect van de ingroei van schoon materieel op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen worden door het PBL uitgevoerd.



Figuur 3.6 Inschatting van de extra ingroei van Stage V-materieel als gevolg van vaststaand beleid voor drie scenario's.

3.5.3 Belangrijke aandachtspunten voor de effectiviteit van het beleid

Naast (juridische) kaders om de beoogde emissiereductie te borgen zijn er een aantal andere belangrijke aandachtspunten, die samenhangen met de mate waarin de transitie naar schoon en emissieloos kan plaatsvinden. Over de gehele periode van de routekaart geldt (zowel voor minimum- als basisniveau), dat het totaal aantal geweerde machines (omdat ze niet aan de eisen voldoen) uit de bestaande vloot hoog is (en daarmee een hoge benodigde ingroei van schonere machines). Doordat de eisen - in het geval van het minimumniveau - beoogd zijn voor de hele Nederlandse bouwsector, zal het in veel gevallen nauwelijks mogelijk zijn om de te weren bouwmachines voor andere doeleinden in te zetten. Daardoor zullen nog goedwerkende machines eerder vervangen moeten worden, mogelijk op grote schaal. Mede hierdoor is de verwachting dat bij de huidige juridische kaders, die nog ruimte laten voor interpretatie over wat adequate maatregelen zijn, de in het minimumniveau geambieerde instroom van schonere en emissieloze werktuigen zeer ambitieus is¹⁰⁵.

¹⁰⁵ Bron: TNO. (2023) Transitiepaden Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). TNO 2023 R11035.

De ingangsdatum van de eerste periode van de Routekaart SEB was 2023. Partijen krijgen implementatietijd om de eisen uit de Routekaart toe te passen. Er is niet bekend hoeveel tijd hiervoor nodig is. Wel zal op relatief korte termijn een hoog aandeel van de huidige machines geweerd moeten worden volgens de routekaart (zowel voor minimum- als basisniveau). Voor de meeste categorieën zijn de geweerde aantallen hoger dan het aantal wat er jaarlijks (autonoom) nieuw ingroeit. Voldoende voorbereidingstijd is van belang voor machine-eigenaren.

In sommige gevallen moesten geweerde machines al in 2023 vervangen worden door nieuwere dieselmachines volgens de eisen van de Routekaart. Deze nieuwere machines kunnen vervolgens slechts een beperkt aantal jaren worden ingezet. Dit treedt op indien de strengere eis die opvolgend in werking treedt een ZE-eis is, terwijl er nog niet voldoende emissieloze machines beschikbaar zijn om daar in een eerder stadium al op te anticiperen. Ook in de latere perioden zorgen de strenger wordende eisen voor zeer hoge weringspercentages. Met name de eisen rondom ingroei emissieloos materieel zijn zeer ambitieus. De benodigde ingroei ligt op een hoger niveau (factoren hoger) dan de aantallen die met de huidige middelen uit de Subsidieregeling SEB (SSEB) kunnen worden gesubsidieerd. Daarnaast zorgt de benodigde snelheid van de ingroei van emissieloze machines voor versnelde afschrijving van nog goedwerkend bouw materieel.

Een van de aandachtspunten voor het mogelijk maken van de beoogde instroom van emissieloos bouw materieel is dat er voldoende beschikbaarheid vanuit de markt moet zijn van emissieloos materieel en/of ombouwcapaciteit. Het is nog onduidelijk of het aanbod van emissieloos materieel toereikend gaat zijn om te voldoen aan de benodigde instroom volgens de eisen van de Routekaart. Daarnaast is het van belang dat er voldoende tank- en laadinfrastructuur beschikbaar is (op uiteenlopende bouwplaatsen en bouwlocaties) en dat het Nederlandse stroomnet is berekend op de energie- en vermogensvraag. Gezien de knelpunten die medio 2024 al optreden in het elektriciteitsnet op verschillende plekken in Nederland is dat niet vanzelfsprekend, zie ook het hoofdstuk 'Ingroei e-trucks in relatie tot netcongestie'. Andere relevante aspecten waaraan ook aandacht wordt besteed in het programma SEB en de Nationale Agenda Laadinfrastructuur, zijn wet- en regelgeving voor energie op de bouwplaats (bijvoorbeeld rondom veiligheid en standaardisatie). Een ander belangrijk aandachtspunt is bijvoorbeeld ook de afname van meerkosten voor een betere TCO en een verhoogde investeringsbereidheid. Als de meerkosten sneller afnemen, kunnen bedrijven sneller financieel rendabel investeren in emissieloze oplossingen en zullen emissieloze bouwplaatsen sneller kunnen concurreren met conventionele bouwplaatsen. Dat zal de haalbaarheid van de doelen van de Routekaart SEB vergroten. Als daarentegen de afname van de meerkosten tegenvalt, zullen bedrijven mogelijk aarzelen om te investeren in emissieloos materieel en opdrachtgevers terughoudend zijn in emissieloos aanbesteden, wat in dat geval kan leiden tot vertraging in het halen van de gestelde doelen.

Tot slot, strenge eisen vragen om een goede handhaving en daarmee een goede registratie (wat er medio 2024 nog niet is). Bij het maken van de prognoses was niet bekend hoe en door wie dat wordt opgepakt. Omdat in het programma SEB hier nog geen duidelijkheid over wordt gegeven, is er door deze vrijblijvendheid een onzekerheid over de haalbaarheid van de emissiereductiedoelen. In TNO & PBL (2025)¹⁰⁶ worden de emissietrend voor bouw materieel, zoals die volgen uit de KEV 2024 en ERL 2025, beschreven in relatie tot de in de SEB opgenomen emissiedoelen.

¹⁰⁶ TNO & PBL (2025), Schoon en Emissieloos Bouwen. Emissies in de bouw 2010-2035. Den Haag: TNO.

Bovengenoemde aandachtspunten en onzekerheden maken deel uit van de bredere context van de haalbaarheid en de effectiviteit van het beleid, maar zijn niet afzonderlijk expliciet opgenomen in de bandbreedtes, tenzij anders vermeld in paragraaf 3.2.3.2.

4 Binnenvaart

Auteur: Jessica M. de Ruiter, Ruud Verbeek, Gerben Geilenkirchen (PBL)

4.1 Samenvatting

Binnenvaart is een relevante emissiebron van luchtverontreinigende stoffen, in het bijzonder voor stikstofoxiden en fijnstof. TNO heeft voor de ERL 2025 de emissieramingen gemaakt voor de binnenvaart in Nederland, mede gebaseerd op uitgangspunten die door PBL zijn bepaald omtrent de groei van de vervoersvolumes in de binnenvaart en de instroom van nulemissietechnologie in de vloot. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste trends in de professionele binnenvaart,¹⁰⁷ en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen, beschreven.

Een belangrijke verandering in de binnenvaartramingen voor de ERL 2025 is de overgang op een nieuw emissieprognosemodel voor de binnenvaart (POTAMIS+) dat veranderingen modelleert per schip en per jaar.

De emissies zijn geraamd voor de zichtjaren 2025, 2030 en 2035. Daarnaast wordt een kwalitatieve doorkijk gegeven richting 2040. Merk op dat de in de ERL 2025 geprognosticeerde emissie lager zijn dan de in de ERL 2023 geprognosticeerde emissies vanwege:

- een verandering van methodiek binnen de Emissieregistratie¹⁰⁸ voor het vaststellen van binnenvaartemissies. Namelijk, tussen de ER 2023 (gebruikt als input voor ERL 2025) en de ER 2021 (gebruikt als input voor ERL 2023) is een methodische overstap gemaakt. Specifiek gaat het bij de nieuwe methodiek om het vaststellen van de verkeersprestaties van de binnenvaart op basis van AIS¹⁰⁹-gebaseerde data (in plaats van op basis van analyses van historische data).
- nieuw beleid (met betrekking tot hernieuwbare brandstoffen en de intensivering van de subsidieregeling verduurzaming binnenvaart);
- en lagere verwachte vraagontwikkeling/verkeersvolumes.

De onderstaande tabel geeft de geraamde verkeersvolumes, het verwachte aandeel van de relatief schone Stage-V motoren, en de hiermee samenhangende jaarlijkse emissies bij vastgesteld en voorgenomen beleid.

Tabel 4.1: Geraamde verkeersvolume (uit Tabel 4.3), aandeel Stage-V (uit Tabel 4.4) en jaarlijkse emissies (uit Tabel 4.5) binnenvaart bij vastgesteld en voorgenomen beleid

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
Verkeersvolume [km x 10 ⁶]	63,50	60,83	61,69	62,53	63,82	65,12
Aandeel verkeersvolume Stage-V [%]	1,0	5,0	11,4	25,8	40,5	55,8

¹⁰⁷ Zoals gedefinieerd in (Geilenkirchen *et al.*, 2024) is dit exclusief de pleziervaart, maar bevat wel ca. 8000 schepen die actief zijn op Nederlandse wateren waarvan wordt verwacht dat ze in professionele context gebruikt worden.

¹⁰⁸ [Alle emissiegegevens op één plek | Emissieregistratie](#)

¹⁰⁹ AIS = Automatic Identification System. Hiermee kunnen schepen geïdentificeerd en gevolgd worden.

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
Stikstofoxiden (NO _x) [kton]	16,75	15,89	15,32	13,81	12,56	11,28
Fijnstof (PM10 ¹¹⁰) [kton]	0,58	0,54	0,51	0,43	0,36	0,28
Fijnstof (PM2.5 ¹¹¹) [kton]	0,55	0,51	0,48	0,40	0,33	0,25
Elementair Koolstof ¹¹² [kton]	0,31	0,29	0,28	0,23	0,19	0,15

Voor vastgesteld en voorgenomen beleid wordt tussen 2022 en 2030 een daling in NO_x-emissie verwacht van 2,9 kton (ca. 18%), en tussen 2022 en 2035 een daling van ca. 4,2 kton (ca. 25%). Voor PM2.5 is betreft dit een daling van ca. 0,15 kton (ca. 26%) en ca. 0,22 kton (ca. 38%). De nieuwe ramingen voor ERL-25 wat betreft het aandeel Stage-V in het verkeersvolume van de binnenvaart zijn in lijn met de huidige leveringsaantallen van Stage-V motoren en verwachtingen met betrekking tot instroom: in 2030 is dit 25.8 % en in 2040 is dit 55.8%.

4.2 Inleiding

Binnenvaart is een relevante emissiebron van luchtverontreinigende stoffen, in het bijzonder voor stikstofoxiden en fijnstof. TNO heeft voor de ERL 2025 de emissieramingen gemaakt voor de binnenvaart in Nederland, mede gebaseerd op uitgangspunten die door PBL zijn bepaald omtrent de groei van de vervoersvolumes in de binnenvaart en de instroom van nul emissie technologie in de vloot. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste trends in de professionele binnenvaart,¹¹³ en de invloed hiervan op de emissies van luchtverontreinigende stoffen, beschreven.

Een belangrijke verandering in de binnenvaartramingen voor de ERL 2025 is de overgang naar een nieuw emissieprognosemodel voor de binnenvaart POTAMIS+. Met dit model worden veranderingen per jaar en op scheepsniveau gemodelleerd.

Met behulp van het nieuwe model zijn voor de zichtjaren 2025, 2030 en 2035 emissieramingen gemaakt en is een kwalitatieve doorkijk gegeven richting 2040 (Tabel 4.1). Merk op dat de in de ERL 2025 geprognosticeerde emissie lager zijn dan de in de ERL 2023 geprognosticeerde emissies vanwege:

- een verandering van methodiek binnen de Emissieregistratie voor het vaststellen van binnenvaartemissies. Namelijk, tussen de ER 2023 (gebruikt als input voor ERL 2025) en de ER 2021 (gebruikt als input voor ERL 2023) is een methodische overstap gemaakt. Specifiek gaat het bij de nieuwe methodiek om het vaststellen van de verkeersprestaties van de binnenvaart op basis van AIS¹¹⁴-gebaseerde data (in plaats van op basis van analyses van historische data).
- nieuw beleid (met betrekking tot hernieuwbare brandstoffen en de intensivering van de subsidieregeling verduurzaming binnenvaart); en lagere verwachte vraagontwikkeling/verkeersvolumes.

¹¹⁰ PM10 = fijnstofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer.

¹¹¹ PM2,5 = fijnstofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 micrometer.

¹¹² Elementair koolstof is een indicator voor het aandeel "roet" in fijn stof.

¹¹³ Zoals gedefinieerd in (Geilenkirchen et al., 2024) is dit exclusief de pleziervaart, maar bevat wel ca. 8000 schepen die actief zijn op Nederlandse wateren waarvan wordt verwacht dat ze in professionele context gebruikt worden

¹¹⁴ AIS = Automatic Identification System. Hiermee kunnen schepen geïdentificeerd en gevolgd worden.

4.2.1 Leeswijzer

De snelheid van emissiereductie in de binnenvaart wordt sterk bepaald door de snelheid van introductie van moderne, relatief schone Stage-V-motoren.

- Paragraaf 4.2 bespreekt verschillende relevante beleidsmaatregelen die van invloed zijn op de verduurzaming van de binnenvaart, inclusief de huidige inzichten over de introductie van Stage-V-motoren (Paragraaf 4.3.1).
- De kenmerken van het nieuwe emissieprognose model worden op hoofdlijnen beschreven in paragraaf 4.4.3.
- In paragraaf 4.54 worden de ramingen gepresenteerd inclusief vraagontwikkeling, ingroei Stage-V en de emissieprognoses van de binnenvaart uit de ERL 2025.
- Paragraaf 4.65 sluit dit hoofdstuk af met conclusies over de belangrijkste onzekerheden in deze emissieprognoses.

4.3 Beleidsmaatregelen binnenvaart

Naast de Europese Stage-V-emissiewetgeving is er ook (deels voorgenomen) nationaal beleid dat van invloed is op de emissie van luchtverontreinigende stoffen door de binnenvaart. De belangrijkste maatregelen worden in deze paragraaf samengevat. Dit betreft de (voorgenomen) implementatie van de nieuwe Europese richtlijn voor hernieuwbare energie (de REDIII) in de Nederlandse regelgeving voor gebruik van hernieuwbare energie in vervoer, de (voorgenomen) subsidieregeling voor waterstofscheppen, de stimulering van batterij-elektrische schepen en de subsidieregeling voor retrofit en motorvervanging. Voor een compleet overzicht van de vastgestelde, voorgenomen en geagendeerde beleidsmaatregelen die in de KEV 2024 en ERL 2025 zijn verwerkt wordt verwezen naar (PBL, TNO en RVO, 2024).

4.3.1 Europese wetgeving voor introductie Stage-V-motoren

De Europese Stage-V wetgeving voor (onder andere) binnenvaartmotoren stelt relatief strenge eisen aan de uitstoot van NO_x en PM.

Onder de Stage-V-wetgeving, worden drie typen motoren geleverd:

- Stage-V IWP en IWA, respectievelijk Inland Waterway Propulsion en Inland Waterway Auxilliary motoren, speciaal ontwikkeld voor de binnenvaart. Deze hebben een NO_x emissielimiet van 2,1 g/kWh (130-300 kW) en 1,8 g/kWh (>300 kW).
- Stage-V NRE: dit zijn Stage-V motoren die voldoen aan de eisen van mobiele machines (Non Road Equipment).
- Euro-VI motoren ontwikkeld voor vrachtwagens en bussen.

De Stage-V NRE en Euro-VI motoren worden gemodificeerd, zodat ze ook voor binnenvaart gebruikt mogen worden. Deze motoren voldoen aan veel strengere NO_x emissie-eisen dan de Stage-V scheepsmotoren, namelijk < 0,4 g/kWh. Op basis van huidige inzichten is te verwachten dat Euro VI technologie weinig ingezet zal worden in de binnenvaart.

Ten opzichte van eerdere emissieramingen, zijn er voor Stage-V-motoren geen nieuwe inzichten voor wat betreft emissies van luchtverontreinigend stoffen in de praktijk (vergeleken met emissies gemeten in een test omgeving). Voor Stage-V NRE en Euro VI motoren is er een significant verschil in emissies gemeten afhankelijk van het inzetprofiel van de motor in de praktijk (Ligterink, 2021; van Mensch, 2024; Vermeulen et al., 2024). Het

wordt aanbevolen om soortgelijke onderzoeken in de toekomst uit te voeren voor Stage-V IWP en IWA motoren.

De aannames en inzichten wat betreft tampering/defecten zoals die in de ERL 2023 zijn gedaan en zoals die ook in de ER worden toegepast, blijven in de ERL 2025 gehandhaafd. Er is geen goed beeld van de hoeveelheid defecten en/of tampering (oftewel niet-werkende uitlaatgasbehandelingssystemen) voorkomen. Onderstaande indicaties van aandelen niet-werkende deelsystemen zijn daarom aannames. De verschillen tussen niet-werkend en goed functionerend zijn gebaseerd op het verschil in emissies met CCR2 zonder SCR of DPF:

- Voor SCR (NOx): 5% niet-werkend in 2025, oplopend naar 10% in 2030 en 2035. Dit hangt samen met de verwachting dat schippers die net een Stage-V motor of SCR-katalysator hebben aangeschaft, de SCR in het begin beter zullen gebruiken dan later, omdat er voor het gebruik van SCR operationele kosten zijn, zoals voor AdBlue. Een motor met niet-werkend SCR-systeem stoot - in de binnenvaart - 2,5 keer zo veel NOx als een motor met goedwerkend SCR-systeem.
- Voor DPF (fijnstof): 5% niet-werkend in 2025, 2030 en 2035. Voor roetfilterverwijdering nemen we aan dat dit een kleiner probleem is dan niet-werkende SCR-systemen, omdat er minder operationele kosten zijn, waardoor correcte werking van het roetfilter aannemelijker is. Een motor met niet-werkend DPF stoot 10 keer zo veel fijnstof uit als een motor met een goed functionerend DPF-systeem.

4.3.2 Hernieuwbare brandstoffen (incl. batterij-elektrisch en H₂)

Het kabinet is voornemens om de binnenvaart onder te brengen in de nationale verplichting voor gebruik van hernieuwbare energie in vervoer, die voortvloeit uit de Europese Renewable Energy Directive, REDIII. Dat betekent dat brandstofleveranciers voor de binnenvaart vanaf 2026 moeten voldoen aan CO₂ reductie-eisen voor de geleverde brandstof. Deze eis zal langzaam toenemen van 4% CO₂-reductie in 2026 (te behalen over de hele brandstofketen, inclusief winning en productie) tot 14,5% reductie in 2030. In 2030 moet minimaal 11,6% reductie via de brandstof van de binnenvaart zelf gerealiseerd worden. Het overige deel (tot 14,5%), de zogeheten vrije ruimte, mag ook ingekocht worden via een andere modaliteiten, zoals bij wegtransport. Deze CO₂-reductie eisen kunnen gerealiseerd worden met de volgende maatregelen:

- Levering van biodiesel zoals FAME en HVO, via bijvoorbeeld blends met diesel of als pure brandstof.
- Het gebruik van duurzame H₂ in de productie van (fossiele) brandstof.
- Elektrisch varen, met gebruik van duurzame elektriciteit voor het laden van accu's.
- Varen op duurzame H₂.

De overheid heeft als doelstelling geformuleerd, om in 2030 150 zero-emissie schepen in de vaart te hebben. Hierbij wordt gestreefd naar ca 100 batterij-elektrische schepen en ca 50 schepen op waterstof (PBL, TNO en RVO, 2024). De markt ontwikkelt zich echter langzaam. Medio 2024 was één schip in de vaart dat volledig elektrisch op accu-containers kan varen. De doelstelling van het bedrijf ZES, Zero Emission Services, is om in 2026 30 batterij-elektrische schepen in de vaart te hebben. Het is echter onzeker of dit gehaald wordt, mede omdat de belangstelling van scheepseigenaren nog niet groot is, onder meer door hoge ombouw- en operationele kosten. Om de groei van het aantal elektrische schepen te stimuleren, is er budget toegekend vanuit het Groeifonds voor een subsidieregeling voor de (om)bouw van batterij-elektrische schepen, de aanleg van laadinfrastructuur en de aanschaf van energiecontainers.

In het Meerjarenprogramma Klimaatfonds 2025 (MJP25) is, onder voorwaarden, budget toegekend voor een project dat erop is gericht om 18 binnenvaartschepen om te bouwen zodat ze op waterstof kunnen varen. Van de totale budgetclaim van 75 miljoen euro is 30,5 miljoen onder voorwaarden toegekend. Voorwaarden voor de toekenning zijn dat de REDIII nationaal wordt ingevoerd en de opt-in van de binnenvaart aan ETS2 wordt goedgekeurd door de Europese Commissie. Medio 2024 zijn er al enkele schepen in de vaart, die varen op waterstof. Met name FPS (Future Proof Shipping) en de HTS Group spannen zich in om H2 schepen in de vaart te brengen. Bottleneck zijn hoge investeringskosten en hoge kosten en moeilijke verkrijgbaarheid van groene waterstof. Geconcludeerd kan worden dat het behoorlijk onzeker is of 150 zero-emissie schepen in 2030 gerealiseerd kunnen worden.

De implementatie van de REDIII in de Nederlandse regelgeving voor hernieuwbare energie in vervoer is in de KEV 2024 en ERL 2025 meegenomen als voorgenomen beleid. Het Groeifondsvoorstel voor batterij-elektrisch varen is gehonoreerd en is daarom meegenomen als vastgesteld beleid. De groeiverwachtingen voor het aantal schepen dat batterij-elektrisch wordt aangedreven of op waterstof kan varen zijn door PBL opgesteld. De ontwikkeling van het aantal batterij elektrische schepen is overgenomen uit de KEV 2022. Daarin zijn de eerste 45 batterij-elektrische schepen meegenomen die via het Groeifonds worden gesubsidieerd. Na 2026 is er een bescheiden extra groei verondersteld van het aantal schepen van 5 per jaar.

In de KEV 2024 wordt in de beleidsvariant met vastgesteld en voorgenomen beleid (VV) ervan uitgegaan dat aan de voorwaarden van het Meerjarenprogramma Klimaatfonds 2025 voldaan wordt: zowel de implementatie van de REDIII als de opt-in van de binnenvaart in ETS2 zijn meegenomen als voorgenomen beleid. Het budget van 30,5 miljoen euro voor varen op waterstof is daarom ook als voorgenomen beleid meegenomen in de KEV 2024. Aangenomen is dat hiermee 7 schepen kunnen worden omgebouwd.

Er wordt voor zowel accu-elektrische als H₂ motoren nog wel van uitgegaan dat deze gebruik zullen maken van o.a. diesel back-up generators, waardoor zij strikt gesproken niet helemaal 'zero-emissie' zijn, maar 10% van de jaarlijkse energiebehoefte vanuit diesel zullen halen.

De resterende inzet van hernieuwbare energie die bij voorgenomen beleid (VV) nodig is om aan de nieuwe jaarverplichting voor de binnenvaart te voldoen, wordt verondersteld uit biobrandstoffen te bestaan. Aangenomen is dat de bijmenging van beperkte aandelen biobrandstof niet tot significante effecten leidt op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen.

4.3.3 Subsidierегeling voor motorvervanging en SCR nabehandeling

Om de verduurzaming van de binnenvaartvloot te stimuleren heeft het vorige kabinet de Subsidierегeling Verduurzaming Binnenvaart (SRVB) geïntroduceerd. De beschikbare budgetten zijn getoond in [Tabel 4.2](#). De huidige regeling loopt tot en met 2025 en is in de KEV 2024 en ERL 2025 meegenomen als vastgesteld beleid. Beoogd wordt de regeling te verlengen tot en met 2029. Hiervoor is budget gereserveerd. Verlenging van de SRVB tot en met 2029 is als voorgenomen beleid meegenomen.

Tabel 4.2: Beschikbaar budget voor de subsidieregeling voor motorvervangings en SCR nabehandeling. N.B in 2023 waren dit nog twee aparte budgetten.¹¹⁵

Budget totaal mln EUR	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Vastgesteld	21,5	24	19				
Voorgenomen				13,675	14,927	9	1.033

De beschikbare budgetten zijn naar aantal schepen vertaald door het beschikbaar budget te delen door de verwachte kosten per schip: op basis van huidige inzichten is een retrofit geschat op 100 k€ en een motorvervangings 200 k€, en is naar aanleiding van (Stroeken et al., 2024) 90% van de gecombineerde budgetten (2024 – 2029) toegeedeeld aan motorvervangings. De interesse voor deze regeling is op dit moment erg hoog, in 2024 is er veel meer subsidie aangevraagd dan er budget was voor de regeling (RVO, 2024). We gaan er mede daarom vanuit dat het beschikbare budget voor de regeling ook in de komende jaren volledig wordt benut. Hierdoor zullen in totaal naar schatting ca. 370 schepen hiervan gebruik kunnen maken (2023 – 2025), met een verdere uitbreiding van ca. 210 voor de jaren 2026 – 2029. In verband met de huidige levertijden wordt ervan uitgegaan dat de motoren pas in het jaar volgend op de subsidieverstrekking in gebruik genomen worden.

4.4 Nieuwe rekenmethode POTAMIS+

De Emissieregistratie (ER) maakt voor de berekening van de historische emissies van de binnenvaart in Nederland sinds 2023 gebruik van transponderdata (Automatic Identification System, AIS)¹¹⁶. Hiermee kan per schip de jaarlijkse activiteit in beeld worden gebracht en op basis daarvan de bijbehorende emissie worden bepaald. Deze data is ook gebruikt om voor de ERL 2025 een nieuw bottom-up prognosemodel voor binnenvaartemissies te ontwikkelen: POTAMIS+ (gebaseerd op o.a. (Mulder, 2024)) dat verder toegelicht wordt in (de Ruiter et al., 2025).

Uitgangspunt in POTAMIS+ is niet de vervoersprestatie van de binnenvaart uitgedrukt in tonkilometers, maar het verkeersvolume uitgedrukt in vaartuigkilometers. Hierdoor zijn twee verbeterpunten gerealiseerd: de emissieprognoses sluiten direct aan bij de daadwerkelijke vaarprestatie van een schip (snelheden en kilometers binnen Nederland) en bij de leeftijd van het desbetreffende schip. POTAMIS+ gebruikt de jaarlijkse vaarprestaties (in vaarkilometers) en emissies per schip zoals bepaald in de ER voor het laatst bekende historische jaar en raamt dan naar de toekomst per jaar de verandering in de binnenvaartvloot die in Nederland vaart. Naar aanleiding van historische inzichten vanuit de ER met betrekking tot de relatie tussen tonkilometers en vaartuigkilometers wordt verwacht dat in de toekomst er ongeveer een lineaire verband is tussen de twee. Oftewel een 2% daling in tonkilometer (bv. per scheepstype) gaat ongeveer gepaard met een 2% daling in vaartuigkilometers, waarbij die percentuele daling in vaartuigkilometers dan toegepast wordt per individuele schip (van die scheepstype). Ingroei van nieuwe technologie wordt gemodelleerd door de motoren in een deel van de vloot ‘te vervangen’ door een ‘nieuwe motor’ waarbij de jaarlijkse emissies ook geschaald worden naar aanleiding van de verwachte impact van de verandering in technologie. Bijvoorbeeld, voor een gemodelleerde ‘nieuwe motor’ met technologie die naar verwachting 40% van de NOx uitstoot van de oude

¹¹⁵ Voor details van de regeling: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-36600-XII-2.html>

¹¹⁶ www.rijkswaterstaat.nl/water/scheepvaart/scheepvaartverkeersbegeleiding/river-information-services/automatic-identification-system

technologie (bv. van CCR1 naar de schoner Stage-V) wordt de jaarlijkse NOx uitstoot van het desbetreffende schip dan 40% van wat het was in het laatste jaar met oude motor.

Vanwege de methode verandering in de ER 2023 ten opzichte van de ER 2021 is er een daling voor de basisjaar 2022 van ca. 5 kton NOx (Geilenkirchen et al., 2024) afhankelijk van een vaarsnelheid die lager is gebleken aan de hand van AIS dan eerst werd aangenomen. Vanwege de veranderende samenstelling in de vloot is het onzeker hoe deze daling doorwerkt naar de toekomst: diezelfde lage snelheden zullen een lagere impact hebben voor een schone Stage-V motor dan voor CCR1 motor.

Een belangrijke onzekerheid in zowel de ER als in de emissieramingen voor de ERL 2025 blijft het soort motor waarmee elk schip is uitgerust en het tempo waarmee deze vervangen worden. Vanuit de AIS data is hier geen nieuwe informatie over beschikbaar. In Potamis versie (1.4) die in de ERL 2023 is gebruikt wordt uitgegaan van een bepaalde leeftijdsdistributie, maar om de gemodelleerde vloot hier elk jaar aan te laten voldoen zouden er tot 367 schepen per jaar moeten worden uitgerust met nieuwe motoren (inclusief nieuwe schepen). Dit is een onrealistisch getal gezien de huidige en verwachte levertijden (op basis van gesprekken binnen de branche); de kans dat een bepaalde schip een motorvervanging krijgt is daarom verminderd zodat dat er maximaal 200 schepen per jaar zijn (de Ruiters et al., 2025) met een nieuwe motor. Dit komt beter overeen met expert inschattingen. De onzekerheid in zowel het type motor per schip als vervangingstempo blijft een belangrijk aandachtspunt voor toekomstige verbeteringen van de model input.

4.5 Ramingen

De geraamde factoren worden hieronder toegelicht, inclusief de daling in het geraamde verkeersvolume (paragraaf [4.5.1]) en de ingroei van nieuwe Stage-V motoren (paragraaf [4.5.2]) en de resulterende emissieramingen (paragraaf [4.5.3]).

4.5.1 Vraagontwikkeling binnenvaart

De groeiprognozes voor het goederenvervoer in de ERL 2025 zijn overgenomen uit de KEV 2024 en gebaseerd op middellange termijn prognoses die eerder zijn opgesteld door Rijkswaterstaat met het model Basgoed¹¹⁷ (RWS, 2023). Daarnaast heeft Rijkswaterstaat in de Referentieprognoses Goederenvervoer 2021 scenario's laten uitwerken voor de ontwikkeling van het goederenvervoer op de lange termijn (RWS, 2020). Hierin worden prognoses gepresenteerd voor de WLO-scenario's Hoog en Laag in de periode 2030-2050. PBL heeft twee bewerkingen gedaan op deze studies: het pad tot 2030 uit de middellange termijn prognoses is aangepast om rekening te houden met de afwijkende ontwikkeling in het jaar 2023 en de groei tussen 2030 en 2040 is berekend als gemiddelde van de WLO-scenario's Hoog en Laag.

In 2023 had het goederenvervoer in Nederland te maken met een teruglopende vervoersvraag (KiM, 2024). Het goederenvervoer op Nederlands grondgebied nam dat jaar met 6,2% af ten opzichte van 2022. Deze afwijkende ontwikkeling was nog niet voorzien in de middellange termijn prognose van RWS (RWS, 2023). Vanwege dit afwijkende beeld heeft PBL in lijn met de aanpak van het KiM de ontwikkeling in het jaar 2023 afgeleid van andere bronnen. Voor de binnenvaart is dat de groeiverwachting uit KiM (KiM, 2023) voor de

¹¹⁷ Basgoed is een strategisch goederenvervoermodel waarmee prognoses kunnen worden gemaakt voor het goederenvervoer in en door Nederland. Zie ook: BasGoed - Basismodel Goederenvervoer

zeevaart zijn dat de op- en overslagcijfers voor de Nederlandse zeehavens van CBS. De jaarlijkse groei tussen 2024 en 2030 is overgenomen uit de middellange termijn prognoses van RWS (RWS, 2020).

Voor de lange termijn (2030-2050) zijn door RWS alleen hoog/laag scenario's geschetst (RWS, 2020). De KEV 2024 werkt echter met een middenpad. Om tot een middenpad te komen is de gemiddelde groeifactor gebruikt uit de WLO-scenario's Hoog en Laag. Hoewel voor lange termijn ramingen het gebruik van scenario's te prefereren valt, wordt deze aanpak in de KEV 2024 verdedigbaar geacht, omdat de KEV 2024 enkel een middenraming presenteert voor het jaar 2035. Daarnaast wordt een kwalitatieve doorkijk gegeven richting 2040. De onzekerheid over de ontwikkeling van de verkeersvolumes tot 2035 is verwerkt in de bandbreedtes die in de KEV 2024 en ERL 2025 zijn gepresenteerd.

De groeiverwachting van het vervoersvolume in de binnenvaart is opgenomen in Tabel 4.5. In de beleidsvariant met alleen het vastgestelde beleid (V) ligt het vervoersvolume in de binnenvaart iets hoger, omdat bij voorgenomen beleid de binnenvaart wordt toegevoegd aan het nieuwe emissiehandelssysteem ETS2. Bovendien krijgt de binnenvaart te maken met een oplopende verplichting voor gebruik van hernieuwbare energie die voortvloeit uit de Nederlandse implementatie van de REDIII. Dit is toegelicht in paragraaf 4.3.1. Beide beleidsvoornemens resulteren in een prijsverhoging in de binnenvaart. Dit zal naar verwachting resulteren in een bescheiden afname van het vervoersvolume die is geraamd op 2,4% in 2030 en 2035.

Tabel 4.3: Geraamde verkeersvolume bij vastgesteld (V) en vastgesteld en voorgenomen (VV) beleid

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
Verkeersvolume V [km x 106]	63,50	60,83	61,69	64,02	65,34	66,67
Verkeersvolume VV [km x 106]	63,50	60,83	61,69	62,53	63,82	65,12

4.5.2 Ingroei Stage-V motoren

Voor het betrouwbaar inschatten van effecten van beleid is het relevant om inzicht in de uitgangssituatie (zonder beleidsmaatregel) te hebben. Voor de inschatting van beleid op de ingroei van schonere motoren in de binnenvaart geldt dit uiteraard ook. Helaas is over de motorisering van schepen (o.a. motortechnologie, leeftijd, stageklasse, nabehandeling etc) en de inzet van de motoren (draaiuren) slechts gebrekkige data voorhanden. Daarmee is er geen goed beeld van de autonome vervanging van scheepsmotoren in de vloot. En dit maakt het ook lastig om te kwantificeren hoeveel eerder scheepsmotoren vervangen worden onder invloed van de subsidieregelingen (zie paragraaf 4.3.3).

In POTAMIS+ wordt elk gemodelleerd jaar een set schepen aangewezen die aanpassingen aan hun motor doen: revisie, retrofit, of motorvervangning voor een Stage-V motor. De kans dat een schip aan deze set toegewezen wordt is afhankelijk van motorleeftijd en geschatte kilometrage (hoe ouder de motor of hoger de kilometrage, hoe meer waarschijnlijk het is dat de motor vervangen/gereviseerd wordt). Een bepaald schip wordt aan de subsets revisie of motorvervangning toegedeeld aan de hand van een bepaalde kansverdeling. Deze kansverdeling is gebaseerd op TNO expert judgement.

De Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaart (SRVB) dekt een deel van de hoge meerkosten van Stage-V, waardoor motorvervangning weer aantrekkelijker wordt en een groter deel van de scheepseigenaren kiest voor vervanging in plaats van revisie dan

autonoom verwacht zou zijn. Om het effect van de SRVB in POTAMIS+ te berekenen wordt uit de set schepen, die een motoraanpassing of vervanging ondergaan, een aantal schepen geselecteerd die meedoen aan de SRVB via retrofit of motorvervanging. De geselecteerde aantallen zijn jaarafhankelijk, zoals beredeneerd in 4.3.3. In deze analyse is geen rekening gehouden met de vlag waaronder een schip vaart: internationale schepen kunnen voornamelijk in Nederland varen terwijl andere Nederlandse schepen veel meer internationaal varen. Dit zal wel invloed hebben op de effectiviteit van de maatregel en is daardoor een ontwikkelpunt voor POTAMIS+.

Tabel 4.4: Aandeel van de jaarlijkse Nederlandse kilometers naar emissieklasse bij vastgesteld en voorgenomen beleid

Normstelling	2022	2023	2025	2030	2035	2040
pre-CCR1	48.1%	45.9%	42.8%	36.4%	30.6%	23.4%
CCR1	19.9%	19.0%	17.7%	13.3%	9.9%	7.1%
CCR2	31.0%	30.1%	28.1%	24.5%	19.0%	13.6%
Stage-V en alternatieve brandstoffen	1.0%	5.0%	11.4%	25.8%	40.5%	55.8%

In (Stroeken et al., 2024) wordt een analyse uitgevoerd van de SRVB-aanvragen uit het verleden: 77% van de aanvragen waren voor het vervangen van motoren van schepen waarvan op basis van leeftijd verwacht zou kunnen worden dat deze motoren al vervangen zouden zijn. Dit benadrukt nogmaals de onzekerheid in motorvervangingsleeftijden. In de huidige POTAMIS+ berekening is dit percentage rond de 65% geschat,¹¹⁸ maar vanwege ontbrekende data over de jaarlijkse kilometers van de schepen die tot die 77% behoren is het niet mogelijk om een uitspraak te doen of dit tot significante verschillen in jaarlijkse Stage-V kilometers zou leiden. Het huidige gemodelleerde aandeel van de Stage-V kilometers in de verkeersprestaties ligt in lijn met de TNO expert judgement.

4.5.3 Emissieramingen

De ERL 2025 emissieramingen, zoals berekend met de nieuwe POTAMIS+ methodiek vanuit de bovengenoemde vraagontwikkeling binnenvaart en ingroei Stage-V motoren, worden in Tabel 4.5 weergegeven. Voor vastgesteld en voorgenomen beleid wordt tussen 2022 en 2030 een daling in NO_x-emissie verwacht van 2,9 kton (ca. 18%), en tussen 2022 en 2035 een daling van ca. 4,2 kton (ca. 25%). Voor PM2.5 betreft dit een daling van ca. 0,15 kton (ca. 26%) en ca. 0,22 kton (ca. 38%). De zichtjaren 2025, 2030 en 2035 zijn geraamd en een kwalitatieve doorkijk wordt gegeven richting 2040. De onzekerheid over de ontwikkeling van de emissies tot 2035 is verwerkt in de bandbreedtes die in de ERL 2025 zijn gepresenteerd, en worden in paragraaf 4.6 toegelicht.

Tabel 4.5: Geraamde verkeersvolume (uit Tabel 4.3) en jaarlijkse emissies binnenvaart bij vastgesteld en voorgenomen beleid

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
Verkeersvolume [km x 106]	63,50	60,83	61,69	62,53	63,82	65,12
NO _x [kton]	16,75	15,89	15,32	13,81	12,56	11,28

¹¹⁸ Na toepassing van de raming inclusief SRVB wordt het gemodelleerde aantal schepen uitgerust met Stage-V-motoren vergeleken met de verwachte autonome aandeel Stage-V-motoren per jaar. Het verschil geeft per jaar aan hoeveel meer schepen uitgerust zijn met Stage-V motoren dan verwacht zou worden op basis van de autonome trend, en daardoor hoeveel schepen vervroegd motorvervanging (in plaats van bv. reviseren) hebben

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
PM10 [kton]	0,58	0,54	0,51	0,43	0,36	0,28
PM2.5 [kton]	0,55	0,51	0,48	0,40	0,33	0,25
EC [kton]	0,31	0,29	0,28	0,23	0,19	0,15

4.6 Onzekerheden

De emissieramingen voor de binnenvaart zijn inherent onzeker. Deze onzekerheid is deels het gevolg van onzekerheden in omgevingsvariabelen zoals de economische groei en de ontwikkeling van de energieprijzen, en deels van factoren die sec in de binnenvaart spelen. De invloed van de eerste categorie onzekerheden op de emissieramingen voor mobiliteit als geheel, waaronder de binnenvaart, zijn door PBL in kaart gebracht en worden hier niet toegelicht. De invloed van de tweede categorie is door TNO bepaald. Het effect van de vijf meest relevante onzekerheden is geschat voor de uitstoot van stikstofoxides en fijnstof. Tot deze vijf onzekerheden behoren:

- het tempo van vlootverjonging;
- de effectiviteit van Stage-V in de praktijk;
- de mate van roetfilterverwijdering en manipulatie van SCR-katalysatoren;
- de effectiviteit van de Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaart (SRVB);
- en de invloed van het nieuwe POTAMIS+ model.

De invloed van de onzekerheden op de emissies zijn als volgt bepaald:

Tempo van vlootverjonging

Zoals eerder benoemd in de ERL2023 zijn “de leeftijd en emissieklasse van de motoren per scheepstype en grootteklasse (...) niet goed bekend. Ook zijn er onzekerheden over de verhouding tussen motorrevisie en installatie van een geheel nieuwe Stage-V motor in de toekomst”. De kans op motorvervanging per schip, zoals bepaald door de Weibull-functies gedefinieerd in POTAMIS+, is ten behoeve van de onzekerheidsanalyse gevarieerd in het model; het totale aantal schepen met nieuwe motor(en) per jaar (dus nieuwe schepen en vervangingsmotoren) varieert daardoor tussen de 200 (naar verwachting ondergrens leveren en installeerbaar aantal Stage-V motoren) en 367 (aantal schepen met nieuwe motor om te voldoen aan leeftijdsdistributie in POTAMIS versie (1.4)). Verder is in het model gevarieerd hoe sterk de cumulatief verwachte jaarlijkse kilometers (als een proxy voor draaiuren) per schip bijdragen aan de kans dat de motor(en) vervangen of gereviseerd worden. Dit bepaalt aan welke schepen nieuwe motoren toegedeeld worden en daarmee de jaarlijkse kilometrages die toegedeeld worden aan Stage-V. Vlootverjonging (en de daaraan gerelateerde ‘schonere’ jaarlijkse kilometers) blijft de grootste onzekerheid en vraagt vervolgonderzoek. De bandbreedte is ca. ± 1,2 kton in 2030, vrijwel gelijk verdeeld naar hogere en lagere emissies (zie [Tabel 4.6](#)).

Tabel 4.6: Invloed op emissies binnenvaart ten gevolge van onzekerheden over vlootverjonging voor 2030. Zowel de marges naar hogere als naar lagere emissies zijn weergegeven.

2030	+ kton NOx	- kton NOx	+ kton PM10	- kton PM10	+ kton PM2.5	- kton PM2.5
Vastgesteld	1,245	1,220	0,072	0,060	0,068	0,056
Vastgesteld+voorgenomen	1,167	1,245	0,069	0,060	0,066	0,056

- Effectiviteit van Stage-V, roetfilterverwijdering en manipulatie van SCR-katalysatoren**
 Zoals eerder genoemd in de samenvatting en de inleiding zijn er geen nieuwe inzichten wat betreft deze factoren. De bandbreedte van de onzekerheden is daarom overgenomen vanuit de ERL 2023: in 2030 levert een verschil in effectiviteit van Stage-V motoren een marge van $\pm 0,4$ kton NO_x, en verwijdering/manipulatie een marge van $\pm 0,2$ kton NO_x en $\pm 0,007$ kton voor PM₁₀ en PM_{2.5}.
- Effectiviteit subsidieregelingen (SRVB)**
 De onzekerheid vanwege de effectiviteit van de SRVB regeling is berekend door te variëren met verschillende uptake percentages (bv. 75% implementatie i.p.v. 100%) en welke schepen ge-retrofit worden (bv. 30% vs 55% CCR1).

Tabel 4.7: Invloed op emissies binnenvaart ten gevolge van onzekerheden over effectiviteit SRVB voor 2030. Zowel de marges naar hogere als naar lagere emissies zijn weergegeven.

2030	+ kton NO _x	- kton NO _x	+ kton PM ₁₀	- kton PM ₁₀	+ kton PM _{2.5}	- kton PM _{2.5}
Vastgesteld	0,497	0,040	0,019	0,001	0,018	0,001
Vastgesteld+voorgenomen	0,587	0,121	0,021	0,004	0,020	0,004

- Invloed motorenleeftijd**
 Een grote onzekere factor in de modellering is de wijze waarop de motoren toegewezen worden aan de huidige vloot. Deze onzekerheid is berekend door te variëren met de motorenleeftijd van de initiële vloot. Het leidt tot onzekerheden $\pm 0,3$ kton voor NO_x, en $\pm 0,008$ kton voor PM₁₀ en PM_{2.5} in 2030. Verbeteringspunten die opgenomen worden in het verder ontwikkeltraject van POTAMIS+ worden behandeld in (de Ruiter et al., 2025).

Deze bandbreedtes per onzekere factor zijn door PBL in de ERL 2025 verwerkt in een Monte Carlo analyse om de bandbreedtes te bepalen voor de totale uitstoot van mobiliteit als geheel. Er zijn in de ERL geen bandbreedtes bepaald voor individuele vervoerswijzen zoals de binnenvaart. We kunnen daarom geen overall bandbreedte presenteren voor de binnenvaart.

4.7 Referenties

Geilenkirchen, G. et al. (2024). *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands* - DOI: 10.21945/RIVM-2024-0023.

KiM (2023). *Mobiliteitsbeeld 2023* (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)).

KiM (2024). *Kerncijfers Mobiliteit 2024* (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)).

Ligterink, N. E. (2021). *High NO_x emissions of heavy-duty vehicles driving in urban areas and directions for a real driving emissions test* - 2021-STL-MEM-100342761.

van Mensch, P. (2024). *Opties voor monitoring van de NO_x-emissies van mobiele werktuigen* - TNO 2024 R11077.

Mulder, J. (2024). *Voorstudie wagenparkmodel bestel- en vrachtoertuigen* - TNO 2024 R10846.

PBL, TNO en RVO. (2024). *Beleidsoverzicht en Factsheets Beleidsinstrumenten. Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

de Ruiter, J. M. *et al.* (2025). *POTAMIS+: A bottom-up Prognosis Of Transport Air emissions Model for Inland Shipping* - tbc.

RVO (2024). Webpagina Subsidieregeling Verduurzaming Binnenvaartschepen.

RWS (2020). DP08 – Referentieprognoses Goederenvervoer 2021 (Rijkswaterstaat).

RWS (2023). Middellange termijn prognoses voor het goederenvervoer, opgesteld in 2023 (Rijkswaterstaat).

Stroeken, D. P. *et al.* (2024). *Beleidsverzicht en factsheets beleidsinstrumenten. Achtergronddocument bij de Monitoring en Evaluatie van het programma Stikstofreductie en Natuurverbetering (MESN)* - PBL-publicatienummer 5255.

Vermeulen, R. J. *et al.* (2024). *Real sailing NOx emissions of sea-going ships with Tier III certified engines* - TNO 2023 R12279.

5 Zeescheepvaart

Auteurs: Jorrit Harmsen, Pierre Paschinger

5.1 Samenvatting

Bij de emissies van de zeescheepvaart spelen verschillende ontwikkelingen die voortkomen vanuit beleid van de IMO (International Maritime Organisation, een organisatie van de Verenigde Naties) en de Europese Commissie. Door dit beleid wordt verwacht dat de emissies van de zeevaart, met name stikstofoxiden (NO_x), zullen afnemen in de komende jaren.

Op het gebied van stikstofemissies is de recente implementatie van de zogenaamde “Nitrogen Oxide Emission Control Area” (NECA) op de Noordzee en de Oostzee belangrijk. Schepen met een kiellegging vanaf 1 januari 2021 moeten in dit gebied voldoen aan de zogenaamde Tier III norm. Deze is voor NO_x ruim 70% strenger dan de (hiervoor geldende) Tier II norm. Door geleidelijke ingroei van Tier III schepen nemen de NO_x-emissies in de basisraming af met 33% tussen 2022 en 2035, van 103,6 kton in 2022 naar 69,3 kton in 2035.

Er zijn echter een aantal onzekerheden die mogelijk leiden tot een minder grote reductie:

- Eerste emissiemetingen laten zien dat Tier III schepen in de praktijk hogere NO_x-emissies hebben dan de limietwaarden. Er is echter nog onzekerheid over de mate waarin de emissies nu worden onderschat, en wat de precieze oorzaak is van de hogere praktijkemissies. De impact van hogere praktijkemissies is aanzienlijk (10 kton hogere NO_x-emissie in 2035). Gezien deze onzekerheid wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de oorzaak en frequentie van hoger dan verwachte NO_x-emissies van schepen met Tier III-gecertificeerde motoren.
- Een tweede onzekerheid is de snelheid waarmee Tier III schepen in de vloot zullen ingroeien. In de basisraming wordt hiervoor uitgegaan van de gemiddelde in- en uitstroom van schepen in de afgelopen 20 jaar. Recente ontwikkeling laat echter een mogelijke vertraging zien, door gebrek aan scheepsbouwcapaciteit. Wanneer de uitfasering van Tier I en Tier II schepen minder snel verlopen dan verwacht, dan kan dit leiden tot een minder snelle reductie van emissies van de zeescheepvaart.

Andere belangrijke regelgeving betreft regelgeving voor het verminderen van broeikasgassen. De IMO heeft zichzelf ten doel gesteld om rond 2050 de netto-broeikasgasuitstoot van de zeescheepvaart tot nul te reduceren. Eerste maatregelen om dit doel te bereiken zijn vooral gericht op de energie-efficiënte van schepen. In 2025 wordt een pakket aan maatregelen verwacht dat nog niet in de ramingen is meegenomen. De Europese Commissie heeft in 2023 verschillende maatregelen aangenomen om de zeescheepvaart te verduurzamen, als onderdeel van het Fit-for-55 pakket. Dit leidt onder meer tot een geleidelijke afname van de broeikasgasintensiteit op vaarten van en naar Europese havens en het opnemen van zeevaart in EU-ETS¹¹⁹.

¹¹⁹ Sinds januari 2024 is het EU ETS uitgebreid naar de CO₂-uitstoot van alle grote schepen (> 5000 brutoton) die EU-havens binnenvaren, ongeacht de vlag waaronder ze varen ([Reducing emissions from the shipping sector - European Commission](#))

Deze maatregelen leiden tot een afname van de uitstoot van zowel broeikasgassen als van luchtverontreinigende emissies:

- Toename van het gebruik van energie-efficiëntie maatregelen. Op de korte termijn (tot ca. 2030) kan dit rond de 10% energiebesparing opleveren.
- Gebruik van walstroom door (onder meer) container- en passagiersschepen. Met name in de havengebieden kan dit een grote impact hebben op luchtverontreinigende emissies. Wel is er onzekerheid of er in 2030 voldoende walstroomcapaciteit aanwezig is om aan de vraag te voldoen.
- Ingroei van alternatieve brandstoffen. Momenteel zijn er verschillende opties voor alternatieve brandstoffen in ontwikkeling, zoals toepassing van LNG, methanol en waterstof. Op de korte termijn lijkt met name de ingroei van LNG door te zetten (mede door gebruik van LNG als motorbrandstof door tankers die LNG vervoeren). De ingroei op lange termijn is nog onzeker.

5.2 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste trends in emissies van de zeevaart toegelicht, inclusief de factoren die hierop van invloed zijn. Dit betreft de ontwikkeling van de vervoersvolumes en (inter)nationaal beleid voor verduurzaming van de vloot en de brandstoffen. Op basis hiervan worden de toekomstige emissies van luchtverontreinigende stoffen geraamd van de zeevaart in en rond Nederland, als input voor de Emissieramingen Luchtverontreinigende Stoffen 2025 (ERL 2025). Daarnaast zijn in de KEV 2024 ramingen gepresenteerd voor de toekomstige afzet van bunkerbrandstoffen aan de zeevaart in Nederland en de daaruit resulterende uitstoot van broeikasgassen.

Leeswijzer

Allereerst wordt in paragraaf 5.3 de methode voor de emissieberekeningen beschreven. Paragraaf 5.4 geeft vervolgens een beschrijving van autonome vraagontwikkelingen in de zeevaart. Paragraaf 5.5 beschrijft de energie efficiency- en emissierichtlijnen voor zeeschepen van de Internationale Maritieme Organisatie (IMO) en nieuwe Europese richtlijnen die zijn voorgesteld door de Europese Commissie voor verduurzaming van de maritieme sector. Paragraaf 5.6 gaat over de monitoring en handhaving van Tier III emissie-eisen aan zeeschepen. Paragraaf 5.7 geeft inzicht in de ingroei van nieuwe schepen. Paragraaf 5.8 beschrijft de samenstelling en emissies van de zoute waterbouwwloot. Paragrafen 05.9, 5.10 en 5.110 zoomen specifiek in op respectievelijk efficiency maatregelen, de alternatieve energiedragers methanol en LNG, en walstroom. Paragraaf 5.12 geeft een samenvatting van het totaalbeeld van de verschillende ontwikkelingen op de zeescheepvaartemissies.

5.3 Methode berekening emissies zeescheepvaart

De berekening van de ontwikkeling van de zeescheepvaartemissies zijn uitgevoerd met het prognosemodel Poseidon. Deze berekening bouwt voort op de modellering van de historische zeescheepvaartemissies uit de Emissieregistratie.

Voor het berekenen van de historische emissies wordt informatie van reizen van zeeschepen op het Nederlands Continentaal Plat en in de havens uit AIS gecombineerd met data over technische karakteristieken van deze schepen (type en omvang schip, bouwjaar, type motor, etc.). Op basis van de gecombineerde informatie wordt een berekening gemaakt van de

inzet van verschillende motoren tezamen met het brandstofverbruik dat hierbij hoort. Hiervoor worden aannames gemaakt over de inzet van de verschillende motoren per onderdeel van de reis (bijvoorbeeld varen op zee of stilliggen in de haven) en de fractie van het motorvermogen dat wordt ingezet. Op basis van emissiefactoren wordt aan de hand van de motorinzet, het toerental, de duur van de inzet en de leeftijd van de motor verschillende emissies berekend.

Om te komen tot een prognose van de toekomstige emissies wordt in het Poseidon model berekend wat de invloed is van verschillende factoren en ontwikkelingen op het energieverbruik en emissies. Hierbij worden verschillende aspecten meegenomen:

- Veranderingen in de intensiteit van het scheepvaartverkeer (vraagontwikkeling van verschillende segmenten);
- Verandering in het gemiddelde energieverbruik van de schepen (schaalvergroting, invloed van efficiëntiemaatregelen, operationele wijzigingen, gebruik van walstroom); en
- Verandering in de emissies van de schepen (impact van nabehandeling onder de Tier III wetgeving, snelheid van de vernieuwing van de vloot, ontwikkeling van het gebruik van alternatieve brandstoffen).

Om te komen tot een prognose moet voor elk van deze parameters inschattingen worden gemaakt over de mogelijke ontwikkeling. Onderbouwing van deze keuzes voor deze parameters staan beschreven in de volgende paragrafen. Het Poseidon-model combineert de parameters en komt tot één berekening van de ontwikkeling van de emissies tot en met 2035. Om de impact van individuele keuzes in te schatten zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

5.4 Vraagontwikkeling zeescheepvaart

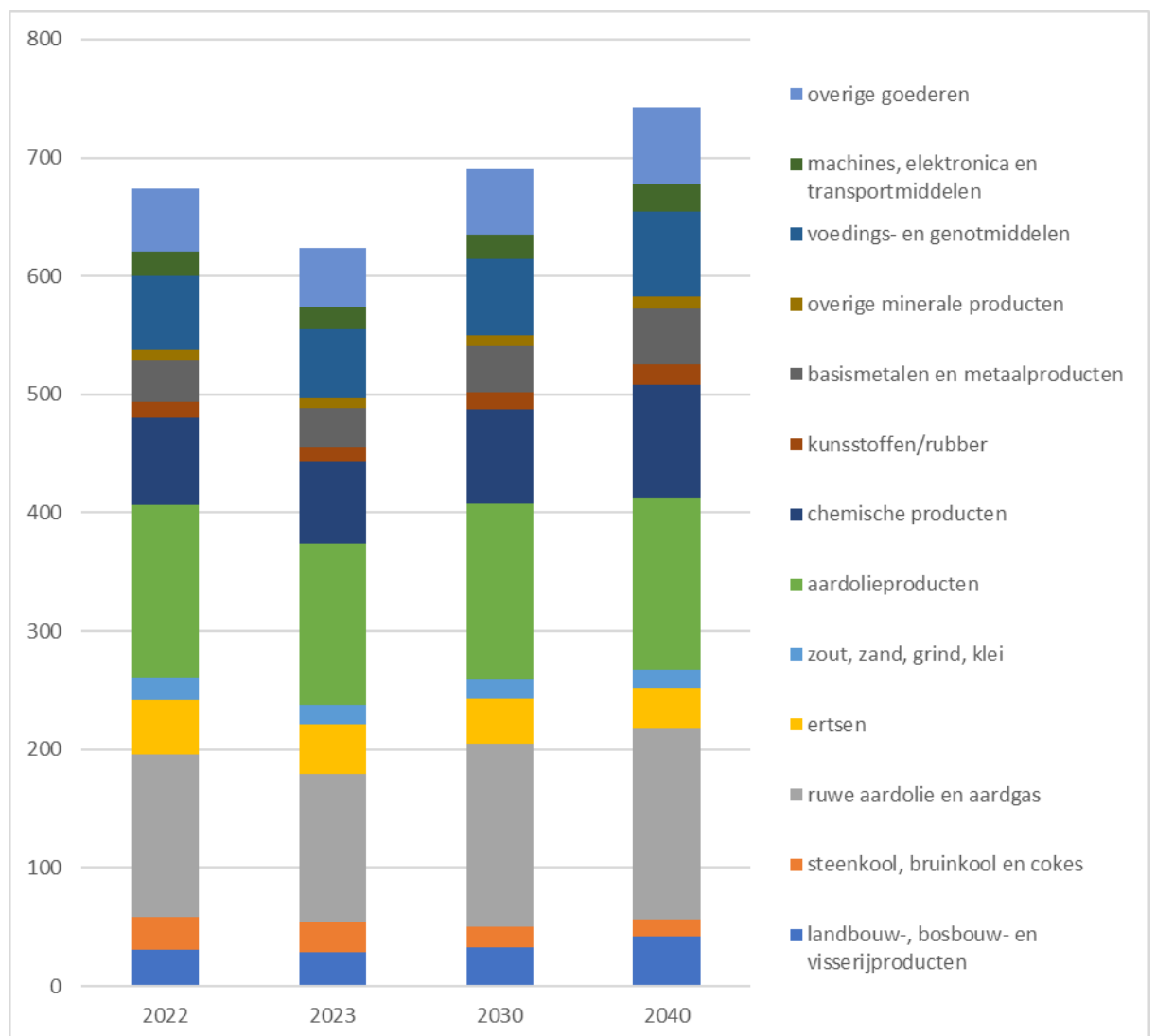
Groei goederenoverslag

De prognoses voor het goederenvervoer in de KEV 2024 (en bijbehorende ERL 2025) zijn door PBL afgeleid van prognoses die in opdracht van Rijkswaterstaat zijn opgesteld. Rijkswaterstaat heeft met het model Basgoed¹²⁰ middellange termijn prognoses laten opstellen voor het goederenvervoer in Nederland (RWS, 2023). Hierin is een middenpad uitgewerkt voor de ontwikkeling in de periode 2022 tot 2030. Daarnaast heeft Rijkswaterstaat in de Referentieprognoses Goederenvervoer 2021 scenario's laten uitwerken voor de ontwikkeling van het goederenvervoer op de lange termijn (RWS, 2020). Hierin worden prognoses gepresenteerd voor de WLO-scenario's Hoog en Laag in de periode 2030-2050. PBL heeft twee bewerkingen gedaan op deze studies: het pad tot 2030 uit de middellange termijn prognoses is aangepast om rekening te houden met de afwijkende ontwikkeling in het jaar 2023 en de groei tussen 2030 en 2040 is berekend als gemiddelde van de scenario's Hoog en Laag uit RWS (2020).

In 2023 had het goederenvervoer in Nederland te maken met een teruglopende vervoersvraag (KiM, 2024). Het goederenvervoer op Nederlands grondgebied nam dat jaar met 6,2% af ten opzichte van 2022. Deze afwijkende ontwikkeling was niet voorzien in de middellange termijn prognose uit RWS (2023). Vanwege dit afwijkende beeld heeft PBL in lijn met de aanpak van het KiM (2023) de ontwikkeling in het jaar 2023 afgeleid van andere bronnen. Voor de zeevaart zijn dat de op- en overslagcijfers voor de Nederlandse zeehavens van CBS. De jaarlijkse groei tussen 2024 en 2030 is overgenomen uit de middellange termijn prognoses van RWS (2023).

¹²⁰ Basgoed is een strategisch goederenvervoermodel waarmee prognoses kunnen worden gemaakt voor het goederenvervoer in en door Nederland. Zie ook: [BasGoed - Basismodel Goederenvervoer](#)

Voor de lange termijn (2030-2050) zijn in RWS (2020) alleen scenario's geschetst. De KEV werkt echter met een middenpad. Om tot een middenpad te komen is voor de KEV 2024 de gemiddelde groeifactor gebruikt uit de WLO-scenario's Hoog en Laag uit RWS (2020). Hoewel voor de lange termijn het gebruik van scenario's te prefereren valt boven een middenpad, wordt deze aanpak in de KEV 2024 verdedigbaar geacht omdat de KEV 2024 voor de periode na 2030 enkel nog een middenraming presenteert voor het jaar 2035. Daarnaast wordt een kwalitatieve doorkijk gegeven richting 2040. De onzekerheid over de ontwikkeling van de vervoersvolumes tot 2035 is verwerkt in de bandbreedtes die in de KEV 2024 en ERL 2025 zijn gepresenteerd.



Figuur 5.1: Prognoses voor de op- en overslag van goederen in de Nederlandse zeehavens uit de ERL 2025 (in miljoen ton).¹²¹

¹²¹ De figuur presenteert voor de zeescheepvaart de modelresultaten voor de betreffende jaren. Deze wijken voor 2022 en 2023 iets af van de werkelijke op- en overslagcijfers in de historische jaren. Het emissiemodel voor de zeevaart gebruikt echter alleen de relatieve verandering van de volumes, daarom is het niet noodzakelijk dat die exact overeenkomen met de werkelijke volumes.

Toedeling naar scheepstype

Het emissieprognosemodel POSEIDON dat wordt gebruikt voor de emissieramingen voor de zeevaart maakt onderscheid naar 12 scheepstypen en niet naar goederensoorten. De verwachte ontwikkeling in de goederenoverslag (Figuur 5.1) is daarom vertaald naar de groei van het scheepsverkeer per scheepstype. Net als bij de vorige edities van de KEV is daarbij de aanname dat:

- Er geen grote verandering wordt verwacht in de beladingsgraad van de schepen. Een verandering van het volume van het goederenvervoer leidt tot eenzelfde verandering in de scheepscapaciteit
- De verandering in scheepscapaciteit kan komen door inzet van meer (of minder) schepen en door schaalvergroting.

Omdat niet alle goederensoorten eenzelfde verwachte volumeverandering hebben zullen ook niet alle typen schepen dezelfde groei hebben. In voorgaande edities is deze vertaalslag gemaakt met behulp van een schatting van de verdeling per goederensoort naar scheepstype. Voor de KEV 2024 is hiervoor gebruik gemaakt van gedetailleerde statistieken die door CBS worden verzameld over het volume per goederensoort dat per scheepstype wordt vervoerd van en naar de Nederlandse havens. Omdat de gebruikte goederenverdeling in de zeescheepvaartstatistieken van CBS afwijkt van de NSTR-verdeling die wordt gebruikt in de KEV is een vertaalslag gemaakt tussen de verschillende goederensoorten. Daarnaast is aangenomen dat deze verdeling naar de toekomst toe constant blijft.

Onderstaande tabel geeft de jaarlijkse verandering van scheepsvolume weer per scheepstype zoals die resulteert uit de hiervoor beschreven stappen. De tabel weerspiegelt de daling in het volume in 2023, en het geleidelijke herstel richting 2030. Verschillen tussen scheepstypes zijn beperkt. Wat opvalt:

- De groei van natte bulk overslag (door olie-, gas- en chemicaliëntankers) is tot en met 2030 groter dan de overige overslag. Tussen 2030 en 2040 is de groei van de overslag door olietankers juist weer beperkt.
- Droge bulk laat een daling van het volume zien, met name door het wegvallen van kolen en erts.

Tabel 5.1: Jaarlijkse groei goederenvervoer per scheepstype in de prognoses voor de ERL 2025

	2022-2023	2023 - 2030	2030 - 2040
Olietankers	-7,7%	2,1%	0,1%
Gas en chemicaliëntankers	-7,0%	2,3%	1,6%
Droge Bulkschepen	-8,0%	-0,6%	0,3%
Containerschepen	-6,9%	1,6%	1,4%
General Cargo	-7,3%	1,5%	1,5%
RoRo/ vehicle carriers	-6,9%	1,5%	1,3%
Reefer	-6,7%	1,5%	1,1%
Overige	-7,5%	1,5%	0,7%

5.5 Beleidsmaatregelen

De ontwikkeling van emissies in de zeevaart wordt voor een groot gedeelte bepaald door de ontwikkeling van internationaal beleid. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de belangrijkste beleidsmaatregelen vanuit de VN (IMO), de Europese Unie en Nederland. Een uitgebreidere bespiegeling van de beleidsontwikkelingen is te vinden in Geilenkirchen e.a. 2024.

5.5.1 *Mondiaal beleid vanuit de IMO*

Wereldwijd faciliteert de Internationale Maritieme Organisatie (IMO) van de VN het reguleren van de zeescheepvaart. Dit gebeurt in de vorm van verdragen. De IMO heeft zichzelf in haar klimaatstrategie van 2023 ten doel gesteld om rond 2050 (“*by and around, i.e. close to 2050*”) de netto-broeikasgasuitstoot van de zeescheepvaart tot nul te reduceren. Onderweg daarnaartoe zijn er indicatieve *checkpoints* om in 2030 de broeikasgasemissies met ten minste 20% te hebben verminderd (met een streven naar 30%) ten opzichte van het niveau in 2008¹²², en in 2040 met ten minste 70% (streefwaarde 80%). Ook heeft de IMO het doel om in 2030 ten minste 5% (streefwaarde 10%) van de energiebehoefte van de zeevaart te vervullen door brandstoffen of technologieën die geen broeikasgassen uitstoten (IMO, 2023).

De IMO heeft de afgelopen jaren verschillende bindende instrumenten geïntroduceerd om de CO₂-uitstoot van de zeescheepvaart terug te brengen. De focus lag daarbij tot nu toe sterk op het verbeteren van de energie-efficiëntie van schepen. Het gaat daarbij onder andere om:

- De *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) reguleert de technische energie-efficiëntie van nieuwe schepen. Doel is om het gebruik van efficiënte aandrijflijnen en scheepsontwerpen te stimuleren. Schepen moeten aan een minimale standaard voldoen voor energie-efficiëntie die periodiek wordt aangescherpt. Momenteel geldt fase 2 van de EEDI waarin nieuwe schepen worden verplicht om bouwtechnisch ten minste 20% efficiënter te zijn ten opzichte van schepen uit de periode 2000-2010. Fase 3 wordt in 2025 van kracht en vereist een reductie van 30%.
- De *Energy Efficiency Existing Ship Index* (EEXI) reguleert de technische energie-efficiëntie van bestaande schepen. Dit instrument is in 2023 in werking getreden. De EEXI wordt op een soortgelijke manier berekend als de EEDI, met als voornaamste verschil dat de EEDI in een proef op zee wordt geverifieerd en de EEXI niet. Bij de eerste periodieke survey na 1 januari 2023 moet de EEXI van bestaande schepen minstens even goed zijn als de limiet van fase 2 van de EEDI van nieuwe schepen. Schepen kunnen dit bereiken door technische verbeteringen of door hun motorvermogen te beperken. Ongeveer twee derde van de mondiale vloot van tankers en bulk carriers voldoet al aan de nieuwe regelgeving. Het resterende deel zal maatregelen moeten nemen om aan de norm te voldoen (UNCTAD, 2022).
- Het *Ship Energy Efficiency Management Plan* (SEEMP) reguleert de energie-efficiëntie van de inzet van de schepen, waaronder vaarsnelheden en logistieke maatregelen. Dit instrument is tegelijk met de EEDI geïntroduceerd. Alle schepen groter dan 400 GT moeten een plan aan boord hebben.

¹²² De uitstoot van broeikasgassen van de mondiale zeescheepvaart is tussen 1990 en 2008 grofweg verdubbeld (IMO, 2020). De klimaatdoelen, die de VN, de EU en Nederland zichzelf stellen, gebruiken 1990 als basisjaar. Zo wil Nederland de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met ten minste 55% reduceren ten opzichte van 1990.

- De *Carbon Intensity Indicator* (CII) scoort zeeschepen op hun energie-efficiëntie in de vorm van een energielabel (A t/m E). Dit label wordt bepaald door de jaarlijkse CO₂-uitstoot, afgezet tegen de capaciteit en afgelegde afstand, te vergelijken met die van een referentieschip. Presteert een schip drie jaar op rij lager dan klasse D, of één jaar in klasse E, dan moet de reder een plan maken om efficiënter te gaan opereren. Dat kan bijvoorbeeld door technische maatregelen te nemen zoals een geoptimaliseerde schroef of een betere stroomlijn, maar ook door operationele maatregelen zoals de inzet van het schip, aanpassing van de vaarsnelheid, gebruik van walstroom of alternatieve brandstoffen of trimoptimalisatie. Op basis van data uit 2021 zou 31% van de containerschepen en 36% van de bulk carriers een D- of E-label krijgen en dus maatregelen moeten nemen om efficiënter te varen (UNCTAD, 2022).

Gevolg van de regelgeving is dat er druk ontstaat op de energie-efficiëntie van de schepen en dat het hiermee aantrekkelijker wordt voor partijen om efficiëntiemaatregelen toe te passen als deze kostenefficiënt zijn. In paragraaf 0 zijn verschillende pakketten efficiëntiemaatregelen ontwikkeld om toe te passen in de berekening.

Alle schepen boven de 5000 bruto tonnage (GT) moeten aan deze vier bovenstaande IMO-regels voldoen. In Europese context gaat het hier om ca 83% van het energieverbruik van schepen in Europa. De verplichting tot handhaving ligt bij vlaggenstaten, maar havenstaten mogen inspecteren en indien nodig handhaven. Handhaving heeft wel alleen betrekking op het plan voor het schip om aan de regelgeving te voldoen en niet op de uitvoering ervan. Deze IMO-regels zijn in de KEV 2024 en ERL 2025 meegenomen als vastgesteld beleid. Om de nieuwe doelen van de 2023 broeikasgasstrategie te bereiken, werkt de IMO aan een combinatie van maatregelen die in 2025 aangenomen moeten worden (IMO, 2023). Deze maatregelen waren bij het opstellen van de KEV 2024 nog niet bekend en zijn daarom niet meegenomen in de ramingen.

Naast regulering op het gebied van energieverbruik en broeikasgasemissies is er ook IMO-regelgeving op het gebied van stikstofemissies. Sinds 2021 geldt er voor de Noordzee en de Oostzee een zogenaamde “Nitrogen Oxide Emission Control Area” (NECA)¹²³. Schepen met een kiellegging vanaf 1 januari 2021 moeten in dit gebied voldoen aan de Tier III norm, deze is voor NO_x ruim 70% strenger dan de Tier II norm. In onderstaande tabel staan de betreffende limietwaarden van de verschillende tier-classes.

Tabel 5.1: Overzicht van limietwaarden van NO_x

Bouwjaar/Tier	Toerental motor [RPM]	NO _x limiet [g/kWh]
2000 – 2010 Tier I	< 130 RPM	17,0
	130 – 2000 RPM	$45,0 \cdot n^{-0.2}$
	> 2000 RPM	9.8
2011 – 2020 Tier II	< 130 RPM	14,4
	130 – 2000 RPM	$44 \cdot n^{-0.23}$
	> 2000 RPM	7,7

¹²³ Dit werd besloten tijdens de 71e zitting van het IMO Marine Environment Protection Committee (MEPC 71).

Bouwjaar/Tier	Toerental motor [RPM]	NO _x limiet [g/kWh]
2021 – Tier III	< 130 RPM	3,4
	130 – 2000 RPM	$9,0 \cdot n^{-0.2}$
	> 2000 RPM	2,0

¹ n = toerental motor (rpm)

Voor de Noordzee en de Oostzee zijn ook beperkende maatregelen van kracht voor de uitstoot van zwaveloxide (SO_x). Sinds 2015 is het maximum zwavelgehalte in de brandstof 0,1%. Dit lagere zwavelgehalte beperkt ook de fijnstof uitstoot van de motoren. Sinds 2020 geldt ook strengere regelgeving buiten de ECA aangescherpte regelgeving van een maximaal zwavelgehalte in de brandstof van 0,5%. Voorheen was dat 3,5%. Ook dit beleid voor stikstof en zwaveldioxide is in de KEV 2024 en ERL 2025 meegenomen als vastgesteld beleid.

5.5.2 Europees beleid

In de EU is sinds 2015 de MRV-verordening (Monitoring, Rapportage & Verificatie) van kracht. Deze verordening verplicht de zeescheepvaartsector om de CO₂-uitstoot en andere relevante informatie bij te houden. De verordening heeft betrekking op schepen boven de 5000 bruto tonnage en op vaarten van, tussen en naar de EU en EEA (European Economic Area). De MRV-informatie is beschikbaar via Eurostat en biedt een gegevensbasis voor verdere beleidsvorming.

Voortbouwend op de EU MRV zijn in 2023 vier maatregelen aangenomen om de zeescheepvaart van, naar en binnen de EU verder te verduurzamen, als onderdeel van het Fit-for-55 pakket:

1. *FuelEU Maritime*: De broeikasgasintensiteit op vaarten van en naar Europese havens wordt stapsgewijs verminderd. Container- en passagiersschepen binnen de scope moeten verplicht walstroom gaan gebruiken vanaf 2030. Havens worden verplicht om hiervoor de faciliteiten aan te bieden.
2. *Herziening EU Emissions Trading System (EU-ETS)*: Zeescheepvaart komt in het EU ETS;
3. *Renewable Energy Directive*: De broeikasgasintensiteit van de brandstoffen die in Europa geleverd worden aan de transportsector, inclusief de zeevaart, moet in 2030 met 14,5% zijn afgenomen ten opzichte van de fossiele referentiebrandstof (of 29% van het finaal energiegebruik in de transportsector moet hernieuwbaar zijn).
4. *Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)*: de AFIR verplicht havens om walstroom aan te bieden.

FuelEU Maritime en de opname van de zeevaart in het EU-ETS zijn in de KEV 2024 en ERL 2025 meegenomen als vastgesteld beleid. De herziene RED is ook vastgesteld, maar deze moet nog worden omgezet in nationale regelgeving. Deze implementatie is meegenomen onder het voorgenoemde beleid.

5.5.3 Nationaal beleid

De inzet van de Nederlandse overheid voor het realiseren van de klimaatdoelen voor de zeescheepvaart was primair gericht op het maken van internationale afspraken over

normering en beprijzing van de zeevaart. Mondiale instrumenten zijn effectiever dan nationale of regionale en waarborgen een gelijk speelveld. Het nationale beleid is gericht op het versneld marktrijp maken van duurzame technologieën door het uitvoeren van pilotprojecten en het optreden als *launching customer* (bij vervanging eigen vloot en door duurzame inkoop van diensten) (Zie PBL, TNO & CE Delft 2024). RVO heeft in juni 2024 een Roadmap Brandstoftransitie Zeevaart gepubliceerd, waarin een pad is geschetst hoe de transitie naar een emissieloze zeevaart eruit kan zien (RVO 2024). In het Ontwerp Meerjarenprogramma Klimaatfonds 2024 heeft het kabinet 111 miljoen euro gereserveerd voor verduurzaming van zeeschepen. Het budget is bestemd voor het opschalen van innovatieve duurzame aandrijftechnieken in de zeevaart (EZK, 2023b).

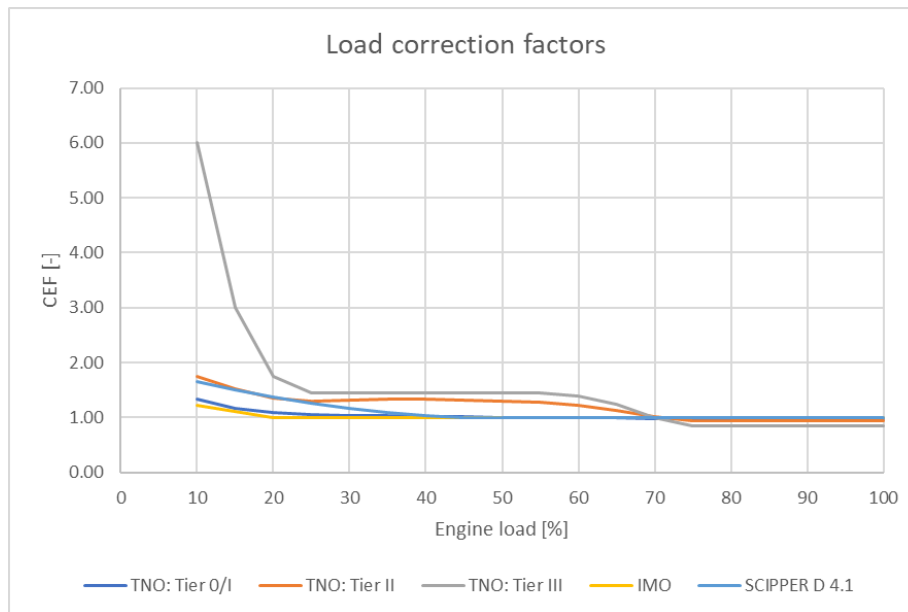
De maritieme sector heeft daarnaast als vervolg op de R&D Mobiliteitssectoren corona steun en herstelpakket, een maritiem masterplan gelanceerd gericht op de ontwikkeling, bouw en het gebruik van klimaatneutrale schepen. Het plan beoogt 40 betrouwbare en concurrerende klimaatneutrale demonstratieschepen te ontwikkelen, bouwen en gebruiken. Hiervoor moet 1,2 miljard Euro worden geïnvesteerd, waarvan 100 miljoen Euro direct en 110 miljoen Euro voorwaardelijk is gehonoreerd vanuit het Nationaal Groeifonds.

Tot slot is er ook een tijdelijke subsidieregeling voor de aanleg van walstroom voor zeeschepen van 170 miljoen Euro. Deze subsidie is gericht op terminals van schepen die moeten voldoen aan de AFIR. De regeling draagt maximaal 45% bij van de subsidiabele kosten.

5.6 Verwachte effectiviteit van Tier II en Tier III

De IMO-regelgeving voor NO_x-emissies van nieuwe schepen moet ertoe gaan leiden dat de NO_x-emissies de komende decennia snel gaan dalen. In verschillende studies komt echter naar voren dat de NO_x-emissies van Tier II en Tier III gecertificeerde motoren mogelijk hoger zijn dan op grond van de wettelijke limieten kan worden verwacht. Als mogelijke redenen zijn emissies van hulpmotoren (die niet vallen onder de tier III regeling), werking van de motoren bij lage belasting, storingen in nabehandelingssystemen en sabotage geïdentificeerd.

Voor de berekeningen van de praktijkemissies van hoofdmotoren in het kader van de Nederlandse emissieregistratie zijn een aantal correcties toegepast op de emissielimieten die in de vorige paragraaf zijn besproken. Een eerste aanpassing is dat de schepen bij de gereguleerde snelheid (de zogenaamde engine's rated speed), gemiddeld iets lagere emissies hebben dan de limietwaarden (respectievelijk 87, 93 en 95 procent van de limieten voor tier I, II en III). Deze reductiefactoren voor hoofdmotoren zijn gebaseerd op IAPP-certificaten die zijn behaald in een studie die in 2016 is uitgevoerd voor Port of London [4]. Een tweede aanpassing is dat de limietwaarde niet voor alle snelheden zal gelden. Om rekening te houden met verwachte verhoogde emissie bij lage motorbelasting wordt sinds de KEV 2022 een correctie toegepast op de in tabel 5.1 gegeven basisemissiefactoren. De waarden van de correctiefactor per motorbelasting en Tier-niveau zijn weergegeven in [Figuur 5.1](#) hieronder. Voor Tier III bestrijken de factoren een bereik van 0,85 tot 6,00, terwijl de impact van de variatie in de belasting op de NO_x-emissies veel minder is voor Tier I en II. [3, App. EEN].



Figuur 5.1: Correctiefactoren gebruikt door verschillende emissiemodellen

De correctiewaarden die worden toegepast in de KEV wijken af van een aantal andere bronnen. In de 4th Greenhouse Gas study gebruikte de IMO de Tier-limieten als emissiefactoren. De IMO past een correctiefactor voor de lage belasting toe voor hoofdmotoren, die is weergegeven in [5, Tbl. 20]. Vergeleken met de gebruikte factoren in de KEV zijn de in de IMO-studie gehanteerde factoren vrij gematigd – 1,22 bij 10% belasting – en niet afhankelijk van het Tier-niveau van de motor.

5.6.1 Recent onderzoek naar NOx-emissies van Tier II en III schepen

In de afgelopen jaren zijn diverse onderzoeken uitgevoerd naar de NOx-emissies van schepen met een Tier II of Tier III aandrijving. In deze sectie wordt een korte samenvatting gegeven van de resultaten van dit werk.

In het Europese Horizon 2020 project SCIPPER zijn metingen uitgevoerd vanaf de wal in meetstations in Denemarken, Nederland en Duitsland, gecomplementeerd met metingen aan boord van schepen. Uit de gegevens blijkt dat van een steekproef van 65 Tier III-gecertificeerde vaartuigen slechts een derde de NOx-limietwaarden voor Tier III haalden. 50% overschreed de limiet met meer dan een factor twee. [8]

Van Roy et al. hebben een onderzoek uitgevoerd naar de impact van internationale maritieme regelgeving op de uitstoot van SOx en NOx. Hierbij hebben ze verschillende bronnen bij elkaar gebracht, waaronder pluimmetingen, satellietdata en inspectierapporten. Ze concludeerden dat regulering leidde tot een afname van zwaveldioxide, maar een toename van stikstofoxiden. Deze laatste constatering is gebaseerd op het feit dat het aandeel van Tier II-schepen in de Belgische wateren tussen 2020 en 2022 weliswaar is toegenomen, maar dat de gemiddelde NOx-emissies ook zijn toegenomen. De stijging wordt veroorzaakt door de hoge emissieniveaus van (niet-conforme) Tier II-schepen, die zelfs hoger zijn dan die van Tier I-schepen. [9]

In de periode 2020-2022 voerde de Belgische kustwacht emissiemetingen vanuit de lucht uit in het zuidelijke deel van de Noordzee. De campagne was bedoeld als een proof-of-

concept van de meetapparatuur, maar ook om de wettelijke NO_x-limieten te handhaven. De belangrijkste bevindingen waren dat de gemiddelde emissies van Tier II-schepen hoger waren (13,5 g/kWh) dan van Tier I-schepen (12,6 g/kWh) [16]. Een mogelijke verklaring voor deze bevinding is dat Tier II scheepsmotoren sterker zijn geoptimaliseerd voor brandstofefficiëntie, met als neveneffect een hogere NO_x-uitstoot. In het gebied waar de gegevens werden verzameld, bleken schepen met lagere snelheden te varen in vergelijking met de volle zee en dus met een lagere motorbelasting. Hoewel monsters met een geschatte motorbelasting van minder dan 25% zijn geschraapt, omdat dit bereik niet wordt gedekt door de motortestcycli die worden gebruikt om aan te tonen dat aan de Tier-limieten wordt voldaan, zou dit de hogere NO_x-emissies van Tier II-schepen kunnen verklaren. Tijdens de campagne werden geen Tier III-vaartuigen waargenomen waarvoor de NECA in de Noordzee van toepassing was. [16], [17]

Een studie uitgevoerd door Explicit ApS komt tot dezelfde conclusie als Van Roy et al. [16] dat Tier II-gecertificeerde schepen hogere NO_x-emissies hebben dan Tier I-schepen. Bij lage belasting blijken zelfs Tier 0-motoren een lagere NO_x-uitstoot te hebben dan Tier II. [18]

Belangrijke kanttekening bij de hierboven genoemde resultaten is de mogelijke onnauwkeurigheid van de metingen. De studies maken (primair) gebruik van afstandsmetingen door middel van remote sensing-technieken vanaf de kust of door een drone of helikopter die gas uit de pluim van het schip bemonstert. Beide meetmethoden hebben meetonzekerheden. Deze typen metingen worden als experimenteel beschouwd en zijn nog niet volledig gestandaardiseerd. Desondanks op relatief grote schaal over de hele wereld uitgevoerd. Er zijn uitdagingen bij het verkrijgen van een stabiele meting in een pluim, rekening houdend met de responstijd van het instrument, tijdsafstemming, achtergrondconcentratie en mogelijk de stabiliteit en homogeniteit van gassen in een pluim. Er lijkt hier een onderschatting te zijn van de emissies die kan oplopen tot 50%. Om de nauwkeurigheid van de metingen op afstand te kunnen verifiëren moeten de resultaten vergeleken worden met metingen aan de pijp. (Vermeulen et al 2023).

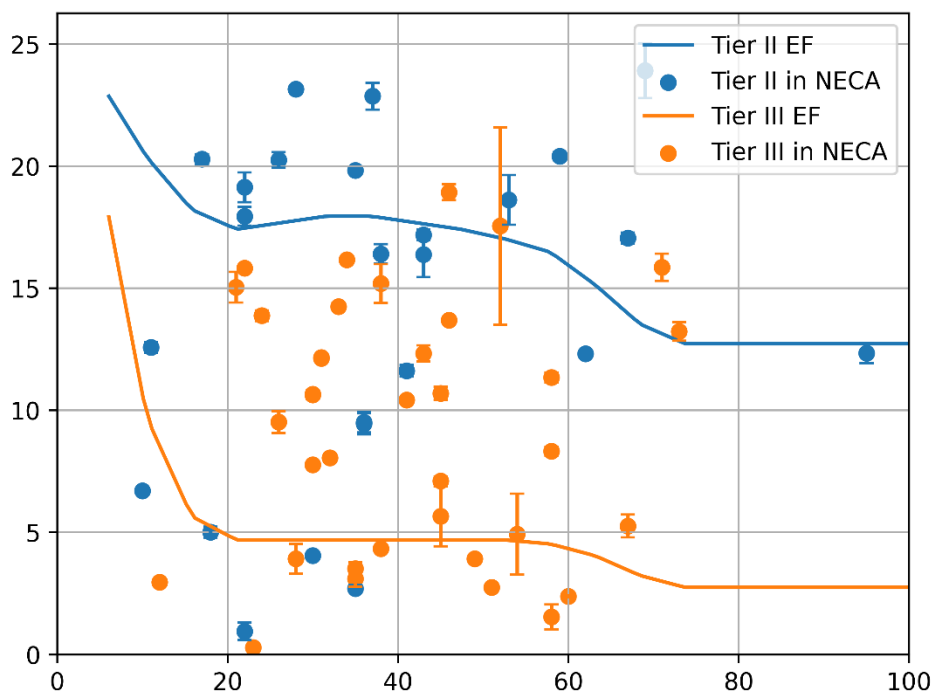
5.6.2 Meten op afstand in de Rotterdamse haven

Op basis van een dataset waarbij emissies aan de kade is gemeten in de Rotterdamse haven (Vermeulen et al 2023) is een analyse gedaan tussen de metingen op afstand en de door TNO aangenomen emissiefactoren. Hiertoe zijn schepen die zijn uitgerust met hoofdmotoren die op LNG kunnen varen, uit de dataset verwijderd omdat de emissies van deze schepen anders worden berekend dan schepen die op stookolie varen, zie [3]. Er zijn 41 unieke schepen gemeten, daarvan is er één vier keer gemeten, vier schepen drie keer en dertien twee keer. Voor de overige 23 schepen is één datapunt beschikbaar. In een rapport over de methodologie van dit meetstation op afstand wordt gesteld: "In dit stadium is een enkele meting van de NO-emissie niet nauwkeurig genoeg om te worden gebruikt bij handhaving of zelfs doelgerichtheid." [21, blz. 14].

Figuur 5.2 toont de NO_x-emissies ten opzichte van de geschatte motorbelasting van de vaartuigen, samen met de emissiefactor die in de ER en in POSEIDON wordt toegepast in de berekening voor respectievelijk Tier II en III (basisemissiefactor vermenigvuldigd met de belastingsfactor). Er wordt een onderscheid gemaakt tussen schepen met een kiellegdatum vóór 1 januari 2021 en schepen met een latere datum. Voor de eerste is Tier II van toepassing in de NECA op de Noordzee, terwijl de laatste moeten voldoen aan de Tier III-limieten. De foutbalken zijn gebaseerd op de marges voor de NO-metingen die in de gegevens worden vermeld. Er is een aanzienlijke spreiding in de gegevens, maar er kan nu al worden geconcludeerd dat een aanzienlijk aantal gegevenspunten hoger ligt dan de

toepasselijke Tier-limieten vermenigvuldigd met de belastingscorrectiefactoren bij de geschatte belasting van de hoofdmotor. Een uitvoerige bespreking van de onzekerheden van de meetmethode op afstand is te vinden in [10, Sec. 2.4.2].

Evenals bij de vorige paragraaf geldt ook voor de data uit deze analyse dat deze is gebaseerd op remote sensing en dat er (grote) meetonzekerheden zijn. Bovendien is nog slecht bekend wat de oorzaak van de gevonden afwijking is. Betreffen dit technische problemen van de eerste generatie Tier III schepen, is er sprake van een structurele afwijking in de prestatie van het nabehandelingssysteem bij lage lasten of is er sprake van onvoldoende naleving naar het gebruik van de systemen. Het is hiermee ook onzeker of het tegenvallende effect van Tier III schepen op de NOx emissies blijvend is of op termijn zal verbeteren.



Figuur 5.2: Vergelijking van de NOx-uitstoot tussen de gemeten waarden (punten) en de berekende emissiefactoren (lijnen) (in gram/ kwh)

Conclusie

Geconcludeerd wordt dat de er aanwijzingen zijn dat de werkelijke NOx-emissies van Tier III-gecertificeerde motoren mogelijk (aanzienlijk) hoger zijn dan de limietwaarden. Er is echter nog onzekerheid over de mate waarin de emissies worden onderschat, en of dit ook voor toekomstige schepen zal gelden. Gezien deze onzekerheid wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de oorzaak en frequentie van hoger dan verwachte NOx-emissies van schepen met Tier III-gecertificeerde motoren. Dit kan onder andere door het uitvoeren van emissiemetingen. Metingen geven extra inzicht en leiden tot betere emissiefactoren.

Om de gevoeligheid van de impact van hogere uitstoot van Tier III schepen te onderzoeken zijn twee scenario's uitgewerkt om het effect van hogere NOx-emissies in de praktijk te duiden:

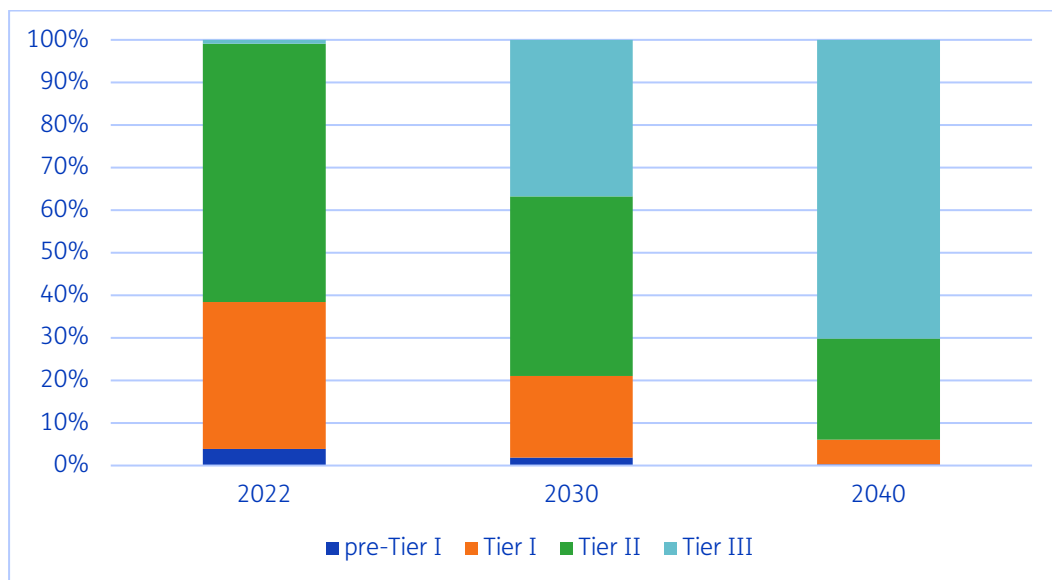
- Een scenario waarin Tier III de huidige emissiefactoren volgt

- Een scenario, waarbij de emissiefactor voor belastingsprofielen boven de 20% met 65% wordt verhoogd. Voor de belasting onder 20% is de gebruikte emissiefactor al relatief hoog. Een additionele toeslag lijkt hier niet realistisch.

Deze scenario's zijn gebruikt om invoer te genereren voor de onzekerheidsanalyses die in de ERL 2025 zijn uitgevoerd. Daarmee is de onzekerheid over de effectiviteit van de Tier-III regelgeving verwerkt in de bandbreedtes voor de emissieramingen in de ERL.

5.7 Ingroei nieuwe schepen

In het Poseidon model dat wordt gebruikt om de emissies van de zeescheepvaart te ramen worden aannames gedaan over de ingroei van nieuwe schepen en het uitfaseren van oude schepen. Deze ontwikkeling is gebaseerd op de ontwikkeling van de wereldvloot in de afgelopen decennia (in het model was dit 2009 t/m 2019). De ingroei van nieuwe schepen is zeer relevant voor met name de uitstoot van stikstof, omdat nieuwe schepen moeten voldoen aan de Tier III richtlijn. Onderstaande figuur geeft de verdeling van de gevaren Gross Tonnage kilometers¹²⁴ op het NCP naar Tier-klassen weer voor de verschillende zichtjaren. Hier zien we dat tussen 2022 en 2040 een grote ingroei wordt verwacht van Tier III schepen.

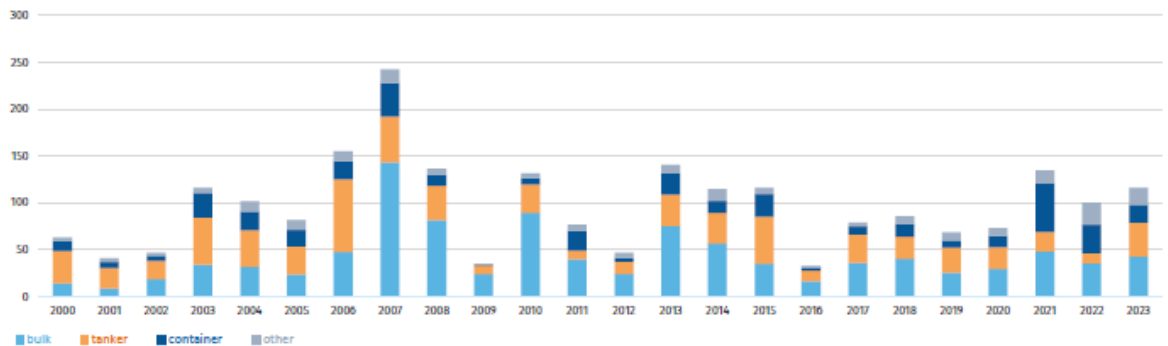


Figuur 5.2: Verdeling van het aantal gevaren GT*kilometers op het NCP volgens het POSEIDON model naar tier-klasse

Om de data uit het model te verifiëren is een analyse uitgevoerd naar de laatste ontwikkelingen in de bouw van nieuwe schepen en de uitfasering. Onderstaande figuur toont de ontwikkeling van de wereldwijde orders van nieuwe schepen tussen 2000 en 2023. De figuur laat zien dat er grote schommelingen zijn in de vraag naar verschillende scheepvaartsegmenten. In 2021 was er bijvoorbeeld een aanzienlijke toename van de bestellingen voor containerschepen als gevolg van de hoge vraag naar containervervoer in de COVID- en post-COVID-periode. In 2022 en 2023 was er een grote stijging van de orders van LNG-tankers als gevolg van de wereldwijd hoge gasprijzen (BRS Group 2024).

¹²⁴ Dit is het aantal gevaren kilometers aangepast naar de omvang van de schepen uitgedrukt in gross tonnage. Het betreft hier dus de ontwikkeling van het volume van de scheepscapaciteit en niet het gewicht van de belading.

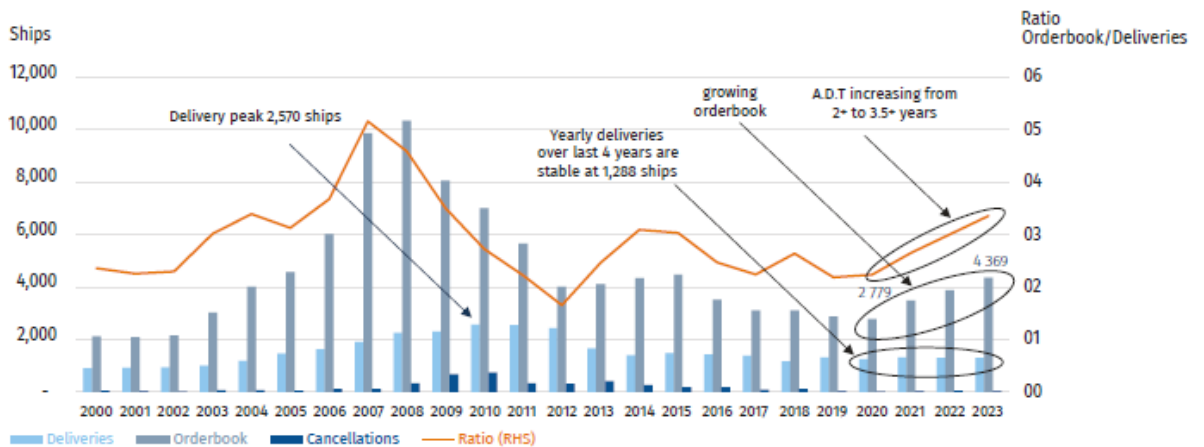
Orders (million Dwt)



Figuur 5.3: Scheepsorders per jaar naar hoofdcategorie uitgedrukt in miljoen DWT¹²⁵. Source: BRS Group 2024

Momenteel worden er ongeveer 1.300 schepen per jaar gebouwd, terwijl er in de afgelopen jaren een toename is van de vraag van schepen (zie onderstaande figuur). Dit resulteert in een langere gemiddelde levertijd van nieuwe schepen. Net als in de piek in de jaren 2006 t/m 2010 kan dit echter leiden tot een groei van de scheepsbouwcapaciteit.

**World Orderbook (w.o) versus World Deliveries (w.d) in Number of ships
Ratio w.o/w.d = Average Delivery Time (ADT)**

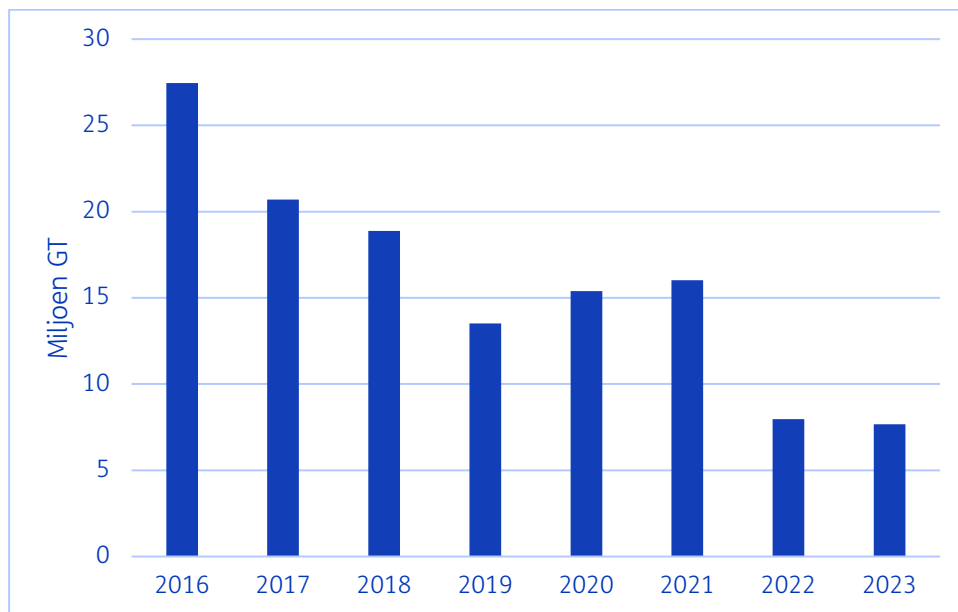


Figuur 5.4: Number of ships ordered (in total) and delivered (per year) Source: BRS (BRS Group, 2024)

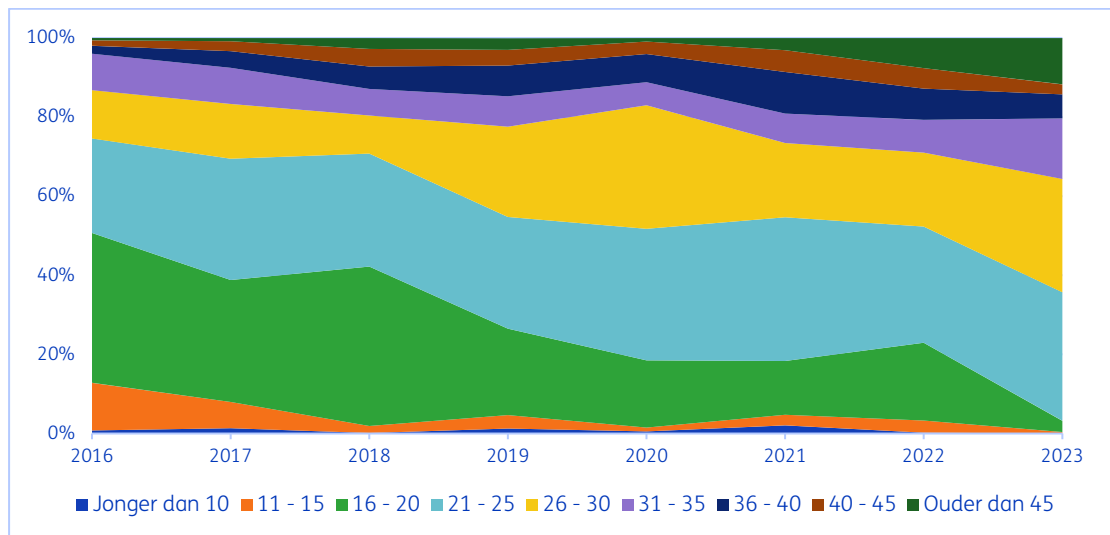
Voor de lange termijn waarschuwt de OESO voor mogelijke tekorten aan arbeidskrachten in de scheepsbouwsector. Naar verwachting zal meer dan 40% van de mensen die in de sector werken in de komende 10 jaar met pensioen gaan (OECD C-WP6 workshop, 2023). Dit betekent dat er de komende jaren veel nieuwe werknemers moeten worden angeworven, opgeleid en behouden, zelfs als automatisering de arbeidsbehoeften in de sector zou verminderen. Als de scheepsbouwsector inderdaad te maken krijgt met een tekort aan arbeidskrachten, zal dit gevolgen hebben voor de prijzen en doorlooptijden van nieuwbouwschepen.

¹²⁵ DWT staat voor Deadweight Tonnage en geeft aan hoeveel ladinggewicht het schip kan vervoeren.

De toenemende wachttijd in het orderboek voor nieuwe schepen lijkt ook een weerslag te hebben op de sloop van oudere schepen. Onderstaande figuur toont de ontwikkeling van de sloop van schepen tussen 2016 en 2023. Vervolgens toont **Figuur 5.6** de leeftijdsverdeling van de gesloopte schepen. Uit de figuren komt naar voren dat de sloop in de afgelopen jaren kleiner is geworden en dat de schepen die nog gesloopt worden met name schepen zijn met een hoge leeftijd.



Figuur 5.5: Ontwikkeling van de wereldwijde sloop van schepen tussen 2016 en 2023 (totaal gross tonnage)
Bron: TNO o.b.v. NGO Shipbreaking Platform

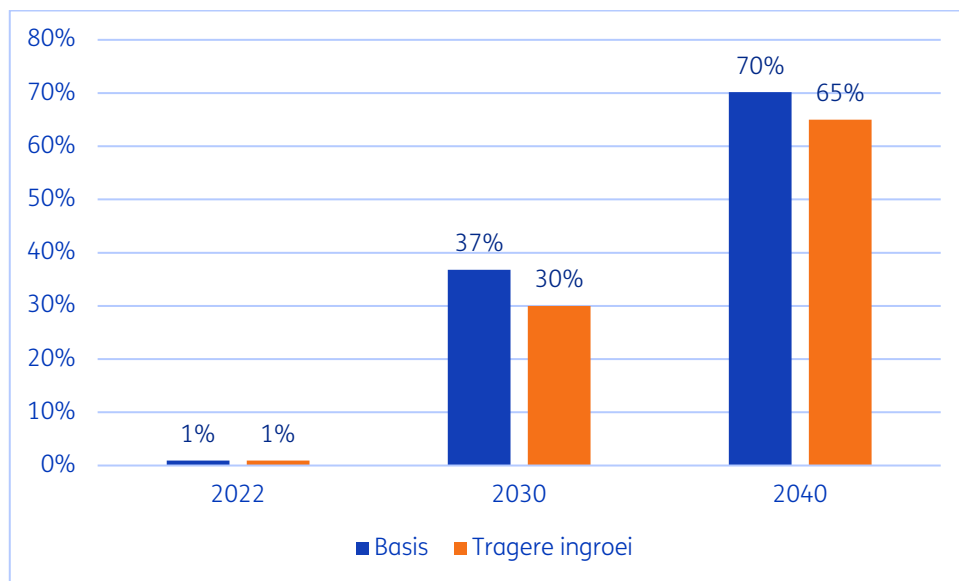


Figuur 5.6: leeftijdsverdeling van de gesloopte schepen. Bron: TNO o.b.v. NGO Shipbreaking Platform

Bovenstaande ontwikkelingen laten zien dat in de afgelopen jaren de ingroei van nieuwe schepen en de uitfasering van oudere schepen op een wat lager niveau ligt dan de periode 2000- 2019 waarop het Poseidon model gebaseerd is. Veel is echter afhankelijk van de vraag

of de huidige toename in de vraag naar nieuwe schepen doorzet en of dit leidt tot de ontwikkeling van nieuwe scheepsproductiecapaciteit.

Gezien de onzekerheid over het tempo waarmee de mondiale vloot verjongt en daaraan gekoppeld de onzekerheid over wat dat betekent voor de schepen die in de Nederlandse wateren varen, is er ten behoeve van de onzekerheidsanalyse in de ERL 2025 een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op basis van data van UNCTAD (2024) en Shipbreaking Forum over de ingroei en uitfasering van schepen in recente jaren. Hierbij komt een vernieuwing van de vloot naar voren die ongeveer 20% lager uitvalt dan de basisraming¹²⁶. De resultaten van de ingroei van de tier III in beide scenario's staat in onderstaande figuur. Voor 2030 en 2040 leidt dit tot een lager aandeel van tier III van ongeveer 5%-punt.



Figuur 5.7: Aandeel Tier III voor verschillende zichtjaren in de basisraming en het gevoeligheidsscenario met lagere ingroei (aandeel in de GT-kilometers op het NCP).

5.8 Emissies van de waterbouw

In de berekeningen van de emissies voor de zeescheepvaart in de emissieregistratie en de KEV wordt momenteel nog niet de volledige scope van de emissies van de werkschepen meegenomen. Daarnaast is er naar aanleiding van recent onderzoek naar werkschepen ook een verschil tussen de verwachte ontwikkeling in het energieverbruik van waterbouwschepen ten opzichte van de prognoses volgens de huidige KEV-methodiek.

Het energieverbruik van werkschepen valt uiteen in drie onderdelen:

- Voortstuwingsmotoren (voor aandrijving van de schroefas van het schip);
- Werkmotoren voor de aansturing van machines die benodigd zijn voor de hoofdfunctie van het schip (zoals bijvoorbeeld de kraan op het kraanschip); en
- Hulpmotoren voor overige apparatuur.

In de berekeningen van de emissieregistratie en de KEV wordt momenteel bij het energieverbruik van de waterbouw alleen uitgegaan van de inzet van de voortstuwingsmotor en van de inzet van de hulpmotoren. Dit wordt gedaan op basis van een berekening van de inzet van schepen in AIS in verschillende snelheden. Op basis van de

¹²⁶ Er wordt uitgegaan van een jaarlijkse vervanging van de GT-kilometers van 4% tegenover ongeveer 5% in de basisraming.

snelheid en de technische karakteristieken van de schepen wordt een berekening gemaakt van de inzet van de voortstuwings- en hulpmotor.

Een tweede lacune in de huidige raming in de KEV is de gebruikte groeicijfers. Deze zijn gebaseerd op de gemiddelde groei van al het andere verkeer in de Nederlandse wateren en is dus voornamelijk gebaseerd op de ontwikkeling van het maritieme goederenvervoer. Recent onderzoek laat zien dat dit niet de beste basis is voor het ramen van de groei voor de waterbouw (TNO 2023).

Huidige emissies van de waterbouw

In recent onderzoeken in het kader van het programma Schoon en Emissieloos Bouwen zijn de emissies van de waterbouw nader in kaart gebracht (TNO 2023). In dat onderzoek is onderscheid gemaakt naar drie activiteiten binnen de waterbouw:

- Kustlijnzorg en vaargeulonderhoud: Dit werk wordt gedaan in opdracht van de Rijksoverheid en havenbedrijven. In totaal wordt jaarlijks ongeveer 24 miljoen ton materiaal gebaggerd. Deze jaarlijkse hoeveelheid is relatief stabiel.
- Commerciële zandwinning: De hoeveelheid gewonnen zand verschilt per jaar en hangt af van de vraag van (met name) infrastructurele werken. Uit de analyse van 2023 komt naar voren dat het om ca 13 miljoen ton materiaal per jaar gaat.
- Offshore energie (Aanleg en onderhoud van windparken, olie en gas platforms, etc.). Een belangrijke activiteit binnen offshore is de aanleg van windmolenparken op zee en de aanleg van kabels tussen de windparken en de kust (net op zee). De aanleg van windparken verschilt sterk jaar op jaar en is vooral projectgebonden. Over de inzet van schepen in overige offshore praktijken is nog weinig bekend.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de huidige emissies van de verschillende segmenten.

Tabel 5.2: Inschatting emissies zoute waterbouw en offshore in 2023

Activiteit 2023	kton CO ₂		kton NO _x		ton PM	
Kustlijnzorg vooroever	16	26	0,2	0,3	5	8
Kustlijnzorg strand	14	27	0,2	0,4	4	8
Zoute vaargeulonderhoud	127	249	1,7	3,3	37	72
Zandwinning op zee	29	47	0,4	0,6	8	14
Windparken	52	69	0,6	0,8	11	14
Net op zee	5	5	0,1	0,1	1	1
Olie en gas	NB	NB	NB	NB	NB	NB
Totaal	243	423	3,1	5,4	66	116

Prognoses naar 2035

De ontwikkeling van de emissies naar 2035 wordt bepaald door de verandering in activiteiten op en de verwachte ontwikkeling van de gemiddelde emissies door vlootverjonging.

De verwachte verandering van activiteit verschilt sterk per deelsegment:

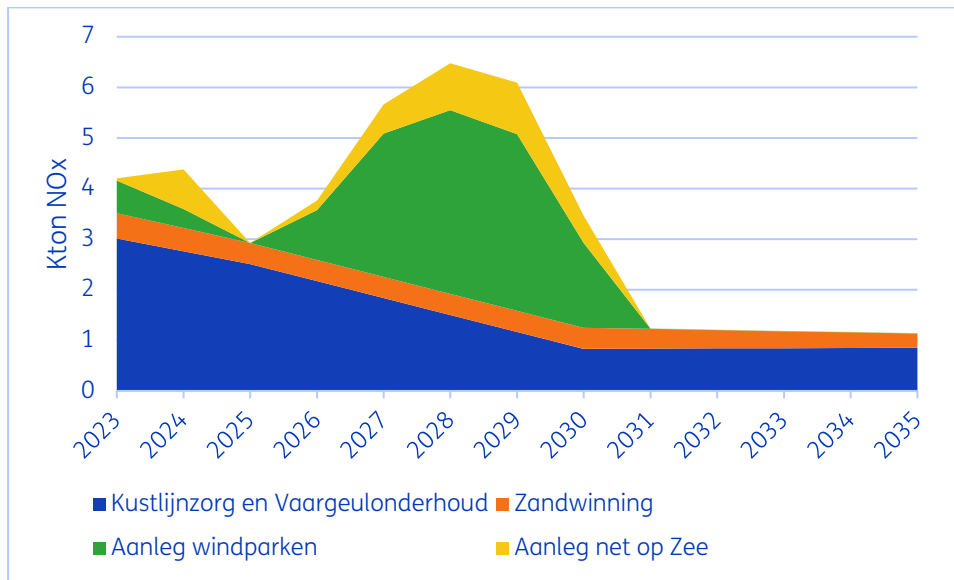
- Voor kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud wordt geen grote verandering verwacht in de hoeveelheid gebaggerd materiaal. In het voorgenomen beleidsscenario zijn geen grote constructie- of onderhoudsprojecten opgenomen, waardoor de komende jaren met name regulier onderhoud wordt gepleegd.
- Ook voor commerciële zandwinning is een gelijkblijvende vraag voorzien als het huidige niveau, omdat geen grootschalige projecten waar veel zand nodig is (zoals bijvoorbeeld de aanleg van Maasvlakte II) in de beleidsscenario's zijn voorzien.
- Voor wind op zee wordt een forse groei van de activiteiten voorzien tot en met 2030 door de groei van de windparken op zee. Volgens het voorgenomen beleidsscenario groeit de capaciteit voor wind op zee van 4,5 GW in de huidige situatie naar 20 GW in 2032. Aan de hand van informatie vanuit TenneT over de omvang, locatie en timing van de individuele projecten is een inschatting gemaakt van de benodigde capaciteit voor het plaatsen van de windmolens en het aanleggen van de kabels (zie TNO 2023).

Activiteiten in de waterbouw maken onderdeel uit van het programma Schoon en Emissieloos Bouwen, dat als doel heeft schadelijke emissies in de bouw terug te dringen. In het kader van SEB zijn verschillende afspraken gemaakt voor de waterbouw.

- In het transitiepad Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud wordt ingezet op een verschoning van de vloot en inzet van duurzame brandstoffen. Op het gebied van verschoning zijn in het transitiepad afspraken gemaakt om te groeien naar volledige inzet van tier III schepen voor het jaar 2030. Daarnaast zal voor 60% van de inzet van de schepen in 2030 gebruik worden gemaakt van duurzame energiedragers. Het convenant is ondertekend door de belangrijkste publieke opdrachtgevers in de sector te weten Rijkswaterstaat en Havenbedrijf Rotterdam. Het effect van het transitiepad is hiermee voor de volledige Kustlijnzorg en Vaargeulonderhoud meegenomen.
- Partijen die actief zijn in commerciële zandwinning hebben het convenant niet ondertekend. Op deze activiteit is het effect van SEB niet meegenomen.
- In het transitiepad energie zijn activiteiten voor de aanleg van windparken op zee en de aanleg van energiekabels op zee opgenomen. In het convenant wordt als doel een NO_x-reductie naar 50% t.o.v. tier II aangehouden en het gebruik van 60% duurzame brandstoffen. Het convenant is ondertekend door TenneT, waardoor het gebruik van waterbouwschepen voor de aanleg van kabels (net op zee) onder het convenant valt. Er hebben nog geen partijen het convenant ondertekend die verantwoordelijk zijn voor de aanbesteding van de aanleg van windparken. Op dit gedeelte is het effect niet meegenomen.

Onderstaande figuur geeft de resultaten van de prognose voor NO_x weer tot 2035. De resultaten laten zien dat:

- Er een groot effect is van de aanleg van de windparken. Deze activiteit loopt tot 2030. Voor de jaren daarna is in de KEV nog geen verdere uitrol van wind op zee belegd onder het vastgestelde en voorgenomen beleid. Wanneer verder beleid voor na 2030 wordt ontwikkeld zal ook de uitstoot van deze activiteit toenemen.
- Hoewel niet zichtbaar in de figuur, neemt de uitstoot per aangelegde kilometer kabel op zee sterk af (+/- 70%). Ook de uitstoot van kustlijnzorg en vaargeulonderhoud daalt sterk. De daling is wel sterk verbonden met de effectiviteit van tier III ten opzichte van de eerdere tier-klassen.



Figuur 5.8: Ontwikkeling van de NOx-uitstoot door de waterbouw

Opname van de cijfers in de KEV-prognose

In de studie die is uitgevoerd voor schoon en emissieloos bouwen uit 2023 is bekeken hoe de analyse uit SEB aansluit bij de AIS-analyse vanuit de emissieregistratie en de KEV. Hiervoor is een inschatting gemaakt van de operationele uren die waterbouwschepen maken in Nederland aan de hand van AIS-data aangevuld met specifieke informatie rondom technische karakteristieken van schepen die zijn verkregen van verschillende waterbouwers. De uitkomsten van de analyse lieten zien dat het verschil tussen de macro- en de bottom-up-inschatting op het gebied van activiteiten klein is. Dit gaf vertrouwen in de correctheid van de ordegrrootte van de cijfers en hiermee lijkt het mogelijk om aan te sluiten bij de methodiek van de emissieregistratie (zie TNO 2023).

Voor het bepalen van het energieverbruik en de emissies van de inzet van wekmotoren is een analyse uitgevoerd naar de inzet van de werkmotoren ten opzichte van de inzet van de voortstuwingsmotoren. Dit is gedaan aan de hand van de informatie van het daadwerkelijke energieverbruik van de vloot van werkschepen van twee waterbouwbedrijven. Hieruit komt naar voren dat het werkvermogen van het schip gemiddeld gelijk is aan 84% van het voortstuwend vermogen. Deze 84% is als algemene factor toegepast op de resultaten van het energieverbruik van voortstuwing voor de KEV 2024 en voor de emissieregistratie. Mogelijk kan dit verder verfijnd worden voor inzet voor verschillende scheepstypen en voor verschillende snelheden. Dit vergt echter meer data.

De volgende stappen zijn genomen om de data op te nemen in de KEV-prognoses:

- In de betreffende scheepscategorie (werk- en havenschepen) waaronder de waterbouw valt is op basis van het energieverbruik van de vaaremissies op het NCP en in de havenbekkens een inschatting gemaakt van het aandeel van de waterbouw. Dit betreft ongeveer 60% van het energieverbruik in de betreffende categorie.
- Voor deze categorie is de opslag gemaakt voor het energieverbruik van de inzet van werkmotoren.
- Voor de verschillende prognosejaren is vervolgens de ontwikkeling van het energieverbruik ingeschat op basis van de ontwikkeling die in de vorige sectie zijn

beschreven. Tevens is voor dit segment uitgegaan van een snellere ingroei van Tier III schepen volgens het betreffende scenario.

5.9 Ontwikkeling efficiëntiemaatregelen

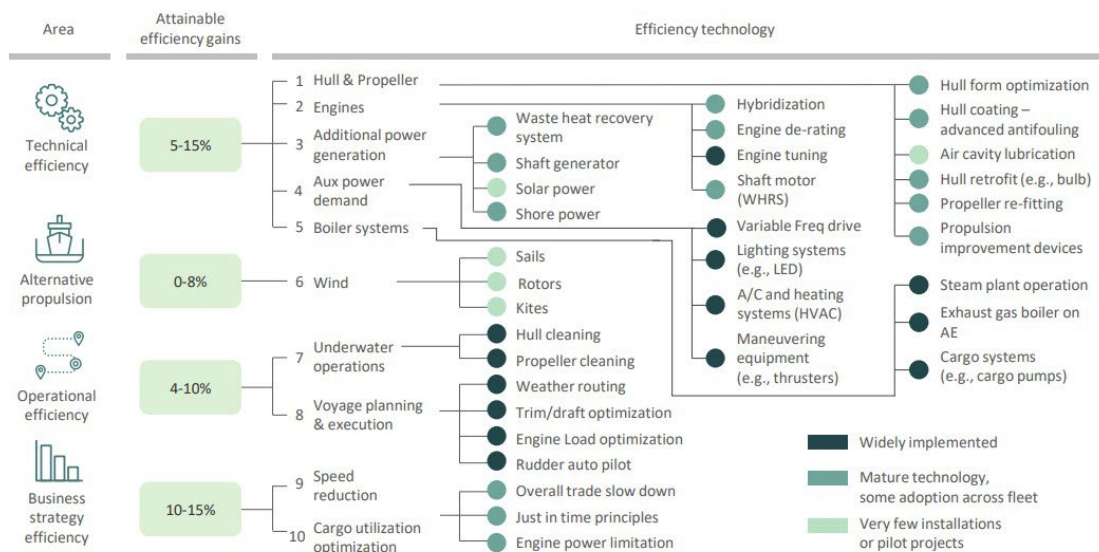
Met de verschillende beleidsmaatregelen vanuit IMO en de Europese Commissie wordt ingezet op het verminderen van het energieverbruik of de emissies per vervoerde tonkilometer. Er zijn verschillende typen efficiëntiemaatregelen mogelijk om het energiegebruik voor een schip of per tonkilometer lading te verminderen:

1. Logistieke en operationele maatregelen: bijvoorbeeld het verlagen van de snelheid (*slow steaming*), schaalvergroting of het verhogen van de beladingsgraad.
2. Technische maatregelen aan het schip: bijvoorbeeld het verbeteren van de rompvorm, gebruik van zeilen of het toepassen van *anti-fouling*.

Verschillende studies hebben inschattingen gemaakt van de reductiepotentie van efficiëntiemaatregelen. Op basis hiervan komt (PBL, TNO & CE Delft 2024) tot een potentiële bandbreedte voor de verbetering van de energie-efficiëntie van het zeevervoer van 25 tot 40% tussen 2021 en 2050 door combinaties van logistieke, operationele en technische maatregelen.

De inschatting van het potentieel geeft echter nog geen inzicht in de maatregelen die worden genomen door scheepseigenaren binnen de bestaande beleidskaders. De adoptie van maatregelen zal sterk samenhangen met de toepasbaarheid (bijvoorbeeld maatregelen voor nieuwe vs. bestaande schepen of maatregelen die alleen toepasbaar zijn voor specifieke scheepstypen) en de terugverdientijd van maatregelen.

In het NAVIGATE-model van het Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (MMCZCS) is een inventarisatie gemaakt van verschillende pakketten energie-efficiëntie maatregelen (MMZCS (2021)). In het model wordt het relatieve effect van deze maatregelen op verschillende scheepstypen doorgerekend. Tevens is een inschatting gemaakt over de technisch haalbaarheid en de operationele implementatiekosten. Onderstaande figuur geeft een overzicht van verschillende maatregelen en de verwachte impact op implementatie.



Figuur 5.9: Efficiëntiemaatregelen voor maritieme schepen volgens het Navigate model

Bron: MMZCS (2021)

De resultaten van het NAVIGATE-model zijn vergeleken met de resultaten uit drie eerdere studies (IMAREST 2011, Lindstad e.a. 2015 en GLOMEEP 2018). De verwachte effecten van individuele maatregelen verschillen (licht) tussen de studies, maar in grote lijnen komen dezelfde resultaten naar voren.

Voor de KEV zijn verschillende pakketten met efficiëntiemaatregelen bekeken:

1. Implementatie van (kleine) maatregelen die breed beschikbaar zijn en waarvan de verwachte terugverdientijd beperkt is (zie de “widely implemented maatregelen uit [Figuur 5.9](#)).
2. De maatregelen uit het eerste pakket, aangevuld met hybridisering van de motor
3. De maatregelen uit de eerste twee pakketten, aangevuld met het gebruik van windassist.

In onderstaande tabel staat een overzicht van de verwachte impact van de maatregelen op het energieverbruik voor verschillende scheepstypen onder de drie scenario's. Het pakket met kleine maatregelen leidt tot een verwachte reductie van 9% tot 12%. Het verschil tussen scheepstypen zit met name in maatregelen die zijn gericht op verbruik van hulpmotoren en boilers (bijvoorbeeld in het geval van stilliggen). In combinatie met walstroom (zie paragraaf 0) zal de impact van dit pakket kleiner zijn voor containerschepen, RoRo schepen en passagiersschepen. Hybridisering van motoren levert nog zo'n 4% tot 5% extra besparing op. Ook de impact van vormen van wind assist leidt tot een dergelijke additionele reductie, hoewel de impact sterk zal fluctueren tussen schepen

Tabel 5.3: Verwachte impact van verschillende pakketten van efficiëntiemaatregelen op het brandstofverbruik van verschillende scheepstypen

	Kleine maatregelen	Kleine maatregelen + hybridisering motoren	Kleine maatregelen + hybridisering motoren + wind assist
Olietankers	-12%	-16%	-21%
Gas en chemicaliëntankers	-11%	-15%	-19%
Droge Bulkschepen	-9%	-14%	-19%
Containerschepen	-11%	-15%	-15%
General Cargo	-9%	-14%	-19%
RoRo/ vehicle carriers	-11%	-15%	-19%
Reefer	-9%	-14%	-19%
Passagiersschepen	-11%	-11%	-11%
Overige	-9%	-14%	-14%

Bron: TNO obv Navigate model.

Voor de KEV-analyse is uitgegaan van een graduele ingroei van maatregelen onder het eerste scenario na 2030, omdat deze, zeker onder de beleidsdoelstellingen van IMO en de EU, kostenefficiënt zijn.

5.10 Ingroei alternatieve energiedragers

5.10.1 LNG: ontwikkeling omvang en samenstelling

In de prognose voor de ontwikkeling van emissies tot 2035 zijn aannames gedaan over de ingroei van alternatieve energiedragers. In het model wordt uitgegaan van een ingroei van LNG tot 9% van de totale brandstofinzet in 2030.

LNG Carriers

Zoals naar voren kwam in de toelichting van de KEV 2022 zal een groot deel van het gebruik van LNG in de zeescheepvaart schepen betreffen die LNG transporteren (LNG-carriers). In april 2023 bestond de wereldwijde vloot LNG-carriers uit 668 actieve schepen (IGU, 2023). Veel van deze LNG-carriers varen zelf op LNG en kunnen ongeveer de helft van hun benodigde LNG-brandstof halen uit de boil-off¹²⁷ van de lading LNG die ze transporteren. Deze schepen bunkeren veelal geen LNG in de Nederlandse havens.

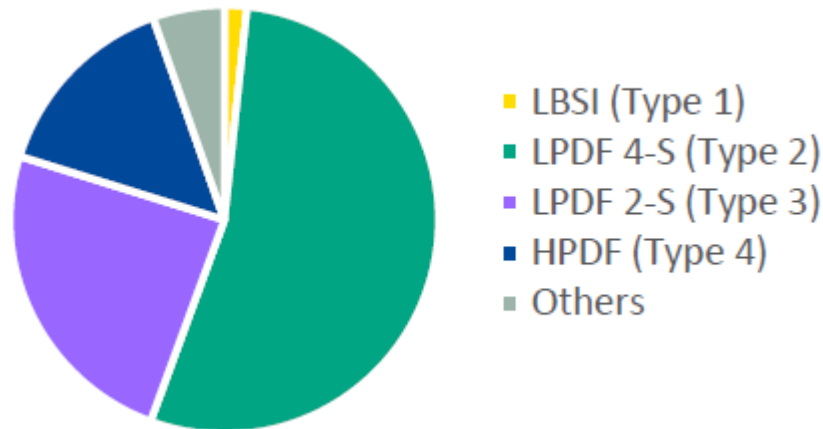
Mede door recente geopolitieke ontwikkelingen is er een grote vraag naar LNG. Begin 2024 bedroeg het Forward Order Book ongeveer 320 schepen. De totale capaciteit van de order book bedroeg hiermee ongeveer 50% van de totale huidige LNG vloot (Global LNG Hub 2024)

Overige schepen op LNG

Naast LNG Carriers, waren er in juni 2024 wereldwijd 547 andere schepen op LNG (DNV 2024). In het forward order book zijn daarnaast nog 505 schepen in ontwikkeling tot en met 2028. Onderstaand figuur geeft een overzicht van de scheepstypen waarin LNG wordt toegepast. De figuur geeft alleen inzicht in de schepen die nu in ontwikkeling zijn en geen inzicht in de schepen die de komende jaren nog aanvullend worden besteld tot 2030. Als het orderboek wordt meegerekend, dan is LNG het meest populair bij containerschepen (274 stuks), daarna volgen car-carriers (183), crude oil tankers (118) en product/chemicaliëntankers (112). Ten opzichte van de KEV 2022 heeft de groei van het aantal schepen op LNG doorgezet met ongeveer 125 schepen, met name in het containersegment.

Schepen op LNG zijn voornamelijk aangedreven door Low Pressure Dual Fuel engines.

¹²⁷ [Boil-off gas \(BOG\)](#)



Figuur 5.10: Verdeling van LNG aangedreven schepen naar type motor

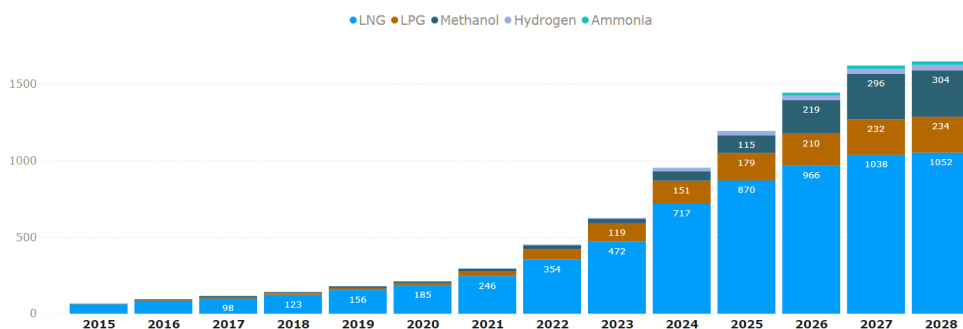
Bron: Kuittinen e.a. (2023)

5.10.2 Schepen op methanol en andere brandstoffen

Naast LNG zijn er ook andere alternatieve brandstoffen die worden ontwikkeld. Op de korte termijn betreft dit voornamelijk LPG en methanol. LPG wordt exclusief ingezet op LPG-carriers (varen op eigen boil-off).

Ontwikkeling van methanol als scheepsbrandstof heeft veel aandacht gehad de afgelopen jaren. Inmiddels zijn de eerste schepen op methanol in de vaart gekomen, met name methanol tankers aangevuld met een paar containerschepen. Het forward order book van methanol laat een sterke groei zien (tot 234 schepen in 2028). Dit betreffen voornamelijk containerschepen. Mogelijk zit hier wel een bias doordat een groot gedeelte van het forward order book in 2024 bestond uit LNG-tankers en containerschepen.

Ammoniak en waterstof zijn nog voornamelijk in de ontwikkelfase. Hier worden enkele eerste prototypen ontwikkeld.



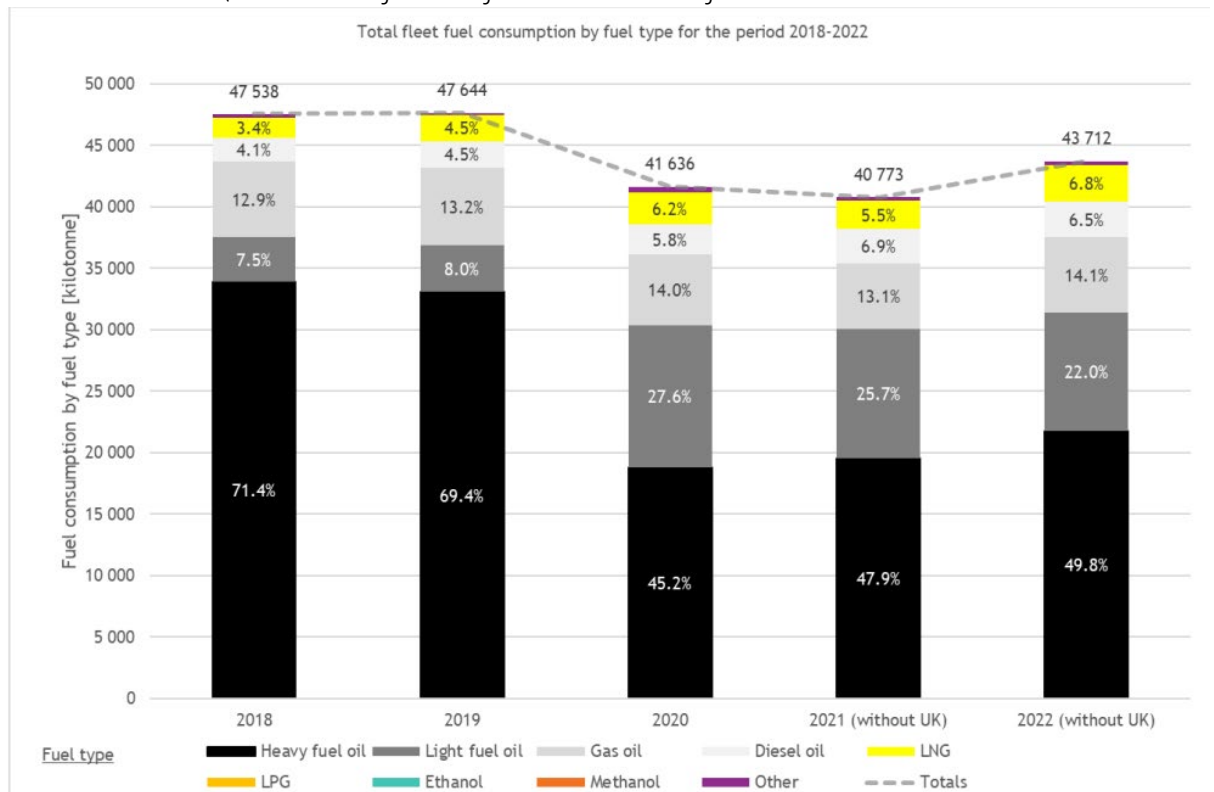
Bron: DNV 2024

Figuur 5.11: Ontwikkeling van het orderboek van schepen met een alternatieve aandrijflijn

Aandeel brandstofverbruik

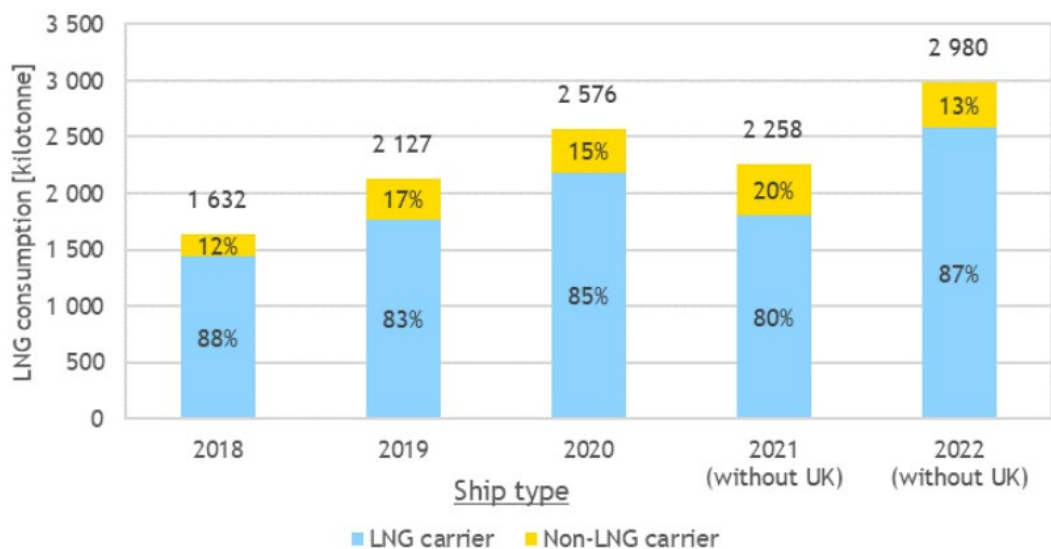
EU MRV houdt data bij over het energieverbruik van schepen van 5000 GT of groter die binnen of van en naar Europa varen. Uit deze data blijkt dat ongeveer 7% van het

energieverbruik in 2022 LNG betreft (3 miljoen ton). LNG-tankers waren verantwoordelijk voor 87% hiervan (dit aandeel lijkt redelijk stabiel over de tijd).



Bron: Europese Commissie (2024)

Figuur 5.12: Totaal brandstofverbruik van schepen binnen de Europese unie naar brandstoftype

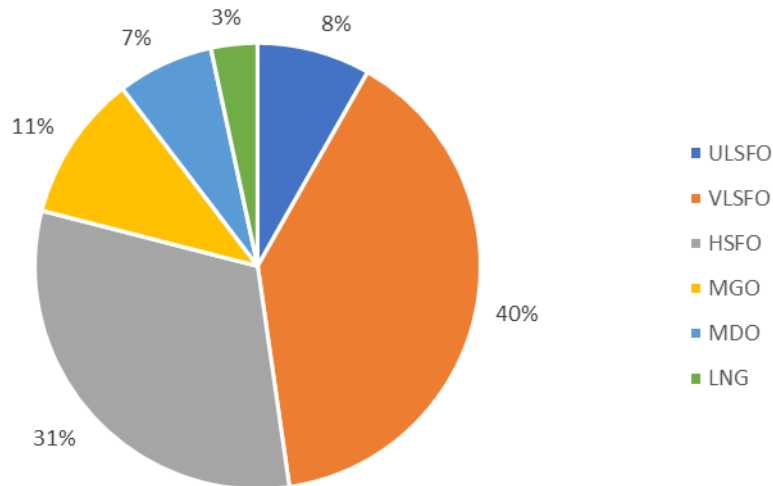


Bron: Europese Commissie (2024)

Figuur 5.13: LNG-consumptie door schepen tussen 2018 en 2022 in Europa

In de haven van Rotterdam werd in 2023 0,28 miljoen ton LNG gebunkerd. Dit was 3% van de totale bunkerhoeveelheid in de haven. De afname van LNG als bunkerbrandstof laat een grillig

patroon zien. Voor 2022 was er sprake van een sterke toename, in 2022 was er een sterke afname door de hoge LNG-prijs. In 2023 herstelde de vraag weer.



Bron: Havenbedrijf Rotterdam (2024),

Figuur 5.14: Aandeel bunkerbrandstoffen in de totale bunkermarkt in 2023 (gerekend in MJ energie)

Verwachting ontwikkeling tot 2040

Een marktaandeel van LNG is onzeker. Het aandeel zal groeien tot 2030, door:

- De groei van het aantal LNG-carriers (van 670 naar +/- 1000) en overige schepen op LNG (van 570 naar minimaal 1000),
- Het feit dat deze groeit in een marktsegment die belangrijk is voor de haven van Rotterdam (containervaart) is.

Wel moet er hierbij onderscheid worden gemaakt naar de getankte LNG in de havens (die meetelt voor de klimaatberekening) en de LNG waar op het Nederlands continentaal plat wordt gevaren. Het verschil betreft de LNG die door de LNG-carriers wordt gebruikt.

Inzet van methanol in 2030 is naar verwachting nog beperkt:

- De eerste schepen komen pas de komende jaren in de vaart.
- Het is nog onduidelijk of de schepen met een dual fuel methanol motor ook echt op methanol gaan varen.

Voor de ontwikkeling na 2030 is nog veel onduidelijk (zie ook PBL, TNO en CE Delft 2024). Dit hangt sterk af van:

- De technische ontwikkeling van ammoniak en waterstof als brandstof;
- De ontwikkeling van het internationaal beleid (vooral IMO); en
- De ontwikkeling van het aanbod en de prijs van alternatieve energiedragers.

5.11 Ontwikkeling walstroom

Royal Haskoning DHV (2024) heeft in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een inventarisatie gemaakt gericht op de stand van zaken met betrekking tot walstroomvoorzieningen in de Nederlandse havens. Ook hebben zij een methode vastgesteld waarmee periodiek de voortgang kan worden geactualiseerd (ook na 2030).

Vijf Nederlandse zeehavens zijn volgens de AFIR-richtlijn verplicht om walstroomfaciliteiten aan te leggen, omdat zij meer dan het minimale aantal aanlopen per jaar hebben van betreffende scheepstypen¹²⁸. Het gaat hier om Rotterdam, Amsterdam, IJmuiden, Moerdijk en North Sea Port (Nederlandse havens Vlissingen en Terneuzen en de Belgische haven Gent).

Een inschatting van de benodigde potentiële stroomvraag in 2030 wanneer aan AFIR wordt voldaan, is weergegeven in **Tabel 5.4**. Royal Haskoning DHV is hierbij uitgegaan van het huidige aantal aanlopen op de terminals in 2023. Gezien het feit dat de goederenoverslag in 2023 een terugval kende ten opzichte van eerdere zichtjaren (zie **Figuur 5.1** in paragraaf 5.4) is dit mogelijk een lichte onderschatting van de vraag in toekomstige zichtjaren.

In onderstaande tabel staat de uitkomst van de betreffende stroomvraag en het aanbod van walstroom voor de verschillende havengebieden. In de KEV-berekening is dit percentage als input genomen voor het aandeel walstroom voor containerschepen, RoRo-schepen en passagiersschepen in 2030. Er is aangenomen dat de rest van de schepen in de categorie gebruik maken van hun hulpmotoren.

Tabel 5.4: Potentiële walstroomvraag en -aanbod in 2030 in Nederland (mWh)

Haven	Potentiële vraag van schepen met een AFIR-verplichting	Potentieel aanbod van geplande walstroomaansluitingen	Aandeel vraag dat wordt voldaan door het aanbod
Havenbedrijf Amsterdam & IJmuiden Seaports	17.783	14.346	81%
Havenbedrijf Moerdijk	3.025	3.025	100%
North Sea Port	13.952	0	0%
Havenbedrijf Rotterdam	485.381	225.851	47%
Totaal	520.141	243.222	47%

Bron: CE Delft 2024 obv (Royal Haskoning DHV, 2024).

Voor de periode na 2030 zijn twee scenario's ontwikkeld:

- Een scenario waarin geen additionele toename plaats vindt ten opzichte van aanbod van geplande walstroomaansluitingen dat nu bekend is.
- Een scenario waarin het aanbod doorgroeit naar 100% van de vraag naar walstroom van de betreffende scheepscategorieën richting 2040.

5.12 Effect op emissies

In deze paragraaf worden de resultaten van de berekening van de zeescheepvaartemissies samengevat. In onderstaande tabel staan de uitkomsten voor de basisraming in de beleidsvariant met vastgesteld en voorgenomen beleid (VV). De raming laat tussen 2022 en 2023 een daling zien van de emissies als gevolg van de daling van de goederenoverslag. Op langere termijn vindt er een forse daling plaats van de NOx-emissies als gevolg van de groei van Tier-III motoren.

¹²⁸ Dit zijn minstens 100 containerschepen per jaar, 40 RoRo-schepen, en/ of 25 cruiseschepen.

Tabel 5.5: Ontwikkeling van de zeevaartemissies voor de basisraming in de beleidsvariant met vastgesteld en voorgenomen beleid (VV)

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
NOx [kton]	103,6	95,7	91,2	81,1	69,3	57,7
PM10 [kton]	2,74	2,53	2,48	2,35	2,30	2,24
PM2.5	2,60	2,40	2,4	2,2	2,2	2,1

Vervolgens toont onderstaande tabel de gevoeligheid van een aantal aannames op de prognoses van de NOx-emissies. Hier zien we met name een aantal onzekerheden die een verhogend effect op de emissies kunnen geven:

- In de basisraming is opgenomen dat er een verhoging is van de Tier III-emissies als gevolg van het niet-naleven van de regulering. Deze bedraagt 10% additionele emissies voor activiteit buitengaats en 5% additionele emissies voor binnengaats. Als gevoeligheid staat de impact van deze non-compliance weergegeven. Wanneer 100% compliance wordt gerealiseerd heeft dit, zeker na 2030 een significant effect op de NOx-emissies.
- De ontwikkeling van NOx-emissies van de zeevaart is gevoelig rondom de werking van Tier III in de praktijk. Als een wat hogere NOx-uitstoot wordt aangehouden bij een motorbelasting van meer dan 20%, dan leidt dit tot 10 kton meer NOx in 2035. Het is hiermee belangrijk meer zicht te krijgen op de werking van Tier III in de praktijk.
- Ook de snelheid van de vlootvervanging is een belangrijke onzekerheid in de NOx-ontwikkeling. Wanneer de uitfasering van tier I en Tier II schepen minder snel verlopen dan verwacht, dan kan dit leiden tot een minder snel dan verwachte reductie van de emissies op zee.
- Het effect van de onzekerheid van de ingroeisnelheid van walstroom is ongeveer 0,5 kton. De impact is sterk lokaal gebonden, aangezien de grootste onzekerheid zit in de uitstoot van stilliggende schepen in de haven van Rotterdam. Hiermee kan het effect op de lokale emissies in de regio Rijnmond significant zijn.

Tabel 5.6: NOx-emissies van de zeescheepvaart in de VV-raming (Kton)

	2022	2023	2025	2030	2035	2040
Basisraming VV (zonder Verhoging voor compliance)	103,6	95,7	91,2	81,1	69,3	57,7
NOx compliance 10%	+0,5	+1,0	+1,4	+1,7	+1,9	+2,1
Gevoeligheid hogere NOx-tier III	+0,3	+1,4	+3,0	+6,0	+10,3	+12,7
Effect tragere ingroei nieuwe schepen	0,0	+2,7	+6,7	+5,0	+7,4	+4,0
Hoge ingroei walstroom	0	0	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5

5.13 Referenties

- BRS Group (2024) Shipping and Shipbuilding Market - Annual review 2024
- D. Van Dinther, J. H. Duyzer, S. De Bie, M. M. Moerman, J. P. Lollinga, and T. V. P. Maarschalkerweerd, "Measurements of emission factors of nitrogen oxides of seagoing vessels in the port of Rotterdam," TNO report R11458, Aug. 2022.
- DNV (2018), GLOMEEP. <https://glomeep.imo.org/technology-groups/>
- DNV (2024), Alternative Fuel Insight. Geraadpleegd op 18 juni 2024
- E. Fridell, R. Verbeek, V. Matthias, and J. Mellqvist, "THE SCIPPER PROJECT - Shipping Contributions to Inland Pollution Push for the Enforcement of Regulations," D5.5 – Policy recommendations related to regulations, monitoring and enforcement, Jan. 2023.
- European Commission (2024), 2023 Report from the European Commission on CO₂ Emissions from Maritime Transport
- Global LNG Hub (2024), LNG fleet order book passes the 1,000 vessel milestone. [LNG fleet order book passes the 1,000 vessel milestone | Global LNG Hub](#)
- Havenbedrijf Rotterdam (2024), Bunker sales Port of Rotterdam 2021 - 2024. Geraadpleegd op 18 juni 2024
- IGU (2023), 2023 world LNG report
- IMAREST (2011), Reduction of GHG Emissions from Ships
- IMO (2023), Resolution MEPC.377(80): 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships, International Maritime Organization, London.
- J. Faber et al., "Fourth IMO GHG Study 2020," 2020. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- K. F. Kauffman and J. Hulskotte, "Sea Shipping Emissions 2021: Netherlands Continental Shelf, 12-Mile Zone and Port Areas," MARIN, 34210-1-MO-rev.3, Feb. 2023. [Online]. Available: [https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/05%20Verkeer%20en%20Overvoer/2023%20\(MARIN\)%20Sea%20shipping%20emissions%202021%20NCS%20and%20Port%20Areas.pdf](https://legacy.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/05%20Verkeer%20en%20Overvoer/2023%20(MARIN)%20Sea%20shipping%20emissions%202021%20NCS%20and%20Port%20Areas.pdf)
- KiM (2023), Mobiliteitsbeeld 2023, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- KiM (2024), Kerncijfers Mobiliteit 2024, Den Haag: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
- Kuittinen, N., M. Heikkilä, K. Lehtoranta (2023), Review of methane slip from LNG engines
- Lindstad, H. ea (2015), *GHG emission reduction potential of EU-related maritime transport and on its impacts.*
- MMZCS (2021): NavigaTE to Zero. Modelling of the maritime decarbonization
- NGO Shipbreaking Platform, Annual List of Ships Scrapped Worldwide (meerdere jaargangen)
- OECD (2023), Breaking away from "tradition" Labour Issues in the shipbuilding and marine equipment industries
- PBL, TNO & CE Delft (2024), Klimaatneutrale zeescheepvaart in 2050
- R. J. Vermeulen, R. Verbeek, and D. Van Dinther, "Real sailing NO_x emissions of sea-going ships with Tier III certified engines," TNO 2023 R12279, Jan. 2024.

- Royal Haskoning DHV. (2024). Walstroom inventarisatie 2024
- RVO (2024), Roadmap brandstoftransitie in de zeevaart
- RWS (2020), DP08 – Referentieprognoses Goederenvervoer 2021, Rijkswaterstaat
- RWS (2023), Middellange termijn prognoses voor het goederenvervoer, opgesteld in 2023, Rijkswaterstaat.
- T. Williamson, J. H. J. Hulskotte, R. German, and K. May, “Port of London Emissions Inventory 2016,” Aether Ltd, Nov. 2017. [Online]. Available: <https://aether-uk.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=2f493f55-ba3f-43c1-b6bc-cf1b880da7a4>
- TNO (2023), Verbeteren data voor onderbouwing programma Schoon en Emissieloos Bouwen
- UNCTAD (2024), Ships built by country of building, annual. <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.ShipBuilding>
- W. Van Roy et al., “Airborne monitoring of compliance to NO_x emission regulations from ocean-going vessels in the Belgian North Sea,” Atmospheric Pollution Research, vol. 13, no. 9, p. 101518, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.apr.2022.101518.
- W. Van Roy et al., “Assessment of the Effect of International Maritime Regulations on Air Quality in the Southern North Sea,” Atmosphere, vol. 14, no. 6, p. 969, Jun. 2023, doi: 10.3390/atmos14060969.
- W. Van Roy et al., “International maritime regulation decreases sulfur dioxide but increases nitrogen oxide emissions in the North and Baltic Sea,” Commun Earth Environ, vol. 4, no. 1, p. 391, Oct. 2023, doi: 10.1038/s43247-023-01050-7.

6 Wegverkeer

Auteur: Emiel van Eijk

6.1 Samenvatting

TNO heeft ook voor het wegverkeer de emissies van de luchtverontreinigende stoffen stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof geraamd¹²⁹. Dit is beschreven in het hoofdstuk wegverkeer. Dit hoofdstuk legt de ramingsmethodiek uit en beschrijft de onderliggende aannames en methodes. Het hoofdstuk voorziet hiermee in een onderbouwing en verdieping van het ERL-25 hoofdrapport, waarin de emissieresultaten alleen op hoofdlijnen zijn beschreven.

Het hoofdstuk wegverkeer beschrijft de emissieraming stap voor stap. De belangrijkste stappen hierbij zijn:

- De vlootraming (verkeersprestaties) achter de KEV is gespecificeerd naar emissie-classes. D.w.z. dat gemodelleerd is hoeveel voertuigen in een toekomstig jaar voldoen aan een bepaalde emissienorm en hoeveel kilometers deze voertuigen zullen rijden. Hierbij wordt rekening gehouden met de toekomstige introductie van de emissienorm Euro 7.
- Na de koude start stoot een voertuig tijdelijk meer NO_x en fijnstof uit. In de emissieramingen wordt daar nu (beter) rekening mee gehouden. Het aantal koude starten en de bijbehorende extra emissies wordt berekend op basis van de verkeersprestaties.
- Als voertuigen ouder worden neemt de effectiviteit van hun emissiereductiesystemen af. Daarom is op basis van het bouwjaar van de voertuigen de emissietoename ten gevolge van veroudering ingeschat.
- Voor de (toekomstige) Euro 7 norm zijn nog geen praktijkemissies bekend. De emissiefactoren voor Euro 7 voertuigen zijn daarom ingeschat op basis van een expertbeoordeling van het commissievoorstel.

Het nu voorliggende achtergrondrapport geeft de onderstaande detailresultaten, die bijdragen aan een nauwkeuriger emissieraming van het wegverkeer (zoals gerapporteerd in het ERL-25 hoofdrapport en de bijbehorende tabellenbijlage):

- Het aandeel door koude start veroorzaakte NO_x en fijnstof emissies op het totaal, neemt toe voor nagenoeg alle voertuigen (ten opzichte van de in het verleden gebruikte rekenmethodiek).
- Veroudering van emissiereductiesystemen is in toenemende mate van invloed op de hoogte van NO_x-emissies uit het wegverkeer. Dit geldt met name voor benzine personenauto's.
- Door de hoge aandelen elektrische voertuigen in de vlootramingen van de KEV is het aandeel (toekomstig verwachte) voertuigen wat voldoet aan emissienorm Euro 7 beperkt. Hierdoor is het netto-effect van deze toekomstige strenge norm beperkt. Het grootste effect van de nieuwe emissienorm Euro 7 wordt verwacht op de stikstofemissies van zware voertuigen.

¹²⁹ Naast NO_x en fijnstof heeft TNO voor het wegverkeer ook de emissies geraamd van zwaveldioxide (SO₂) en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS).

Ten slotte draagt het hoofdstuk wegverkeer nog bij aan de onzekerheidsanalyse van de ERL 2025. Voor wegverkeer zitten de grootse onzekerheden in de hoogte van emissiefactoren van nieuwe emissieklassen, het effect van veroudering op de emissiefactoren en het aandeel elektrische voertuigen in de vloot.

6.2 Inleiding

TNO heeft voor de ERL 2025 de emissies van luchtverontreinigende stoffen voor wegverkeer in Nederland berekend. Onder wegverkeer vallen alle gekentekende voertuigen met uitzondering van mobiele werktuigen. Het wegverkeer wordt onderverdeeld in de volgende groepen (voertuigcategorieën) waaronder verschillende voertuigsoorten vallen:

- Personenauto's
- Lichte bedrijfsvoertuigen (Bestelauto's, Lichte trekkers, Campers met N1 voertuigclassificatie)
- Vrachtverkeer (Lichte vrachtauto's, middelzware vrachtauto's, zware vrachtauto's, opleggertrekkers) inclusief koelaggregaten op vrachtauto's, aanhangers en opleggers
- Bussen (Lijnbussen, Touringcars)
- L-categorie (Lcats; Bromfietsen, Snorfietsen, Speed-pedelecs, Motorfietsen, Tricycles en Quads).

In de historische emissiereeksen die jaarlijks in de Emissieregistratie worden vastgesteld worden de emissies van wegverkeer in Nederland grotendeels bottom-up berekend (Geilenkirchen, et al., 2024). Dat wil zeggen dat per (Nederlands) voertuig activiteitsdata (gereden kilometers per wegtype, aantal koude starten, draaiuren) vermenigvuldigd worden met de bijbehorende emissiefactor (in g/km, g/start of g/uur) voor dat voertuig. De emissiefactor van een voertuig is hierbij afhankelijk van verschillende factoren waaronder:

- De brandstof.
- De emissieklasse en bijbehorende emissiewetgeving (en de emissiereductiesystemen om hieraan te voldoen).
- Correcte werking van emissiereductiesystemen (Verminderde werking kan ontstaan door koude start, veroudering, tampering of verwijdering).
- Rijgedrag (afhankelijk van het wegtype en snelheidslimiet).
- Voertuigeigenschappen als gewicht en vermogen van het voertuig (bijvoorbeeld voor slijtage-emissies).

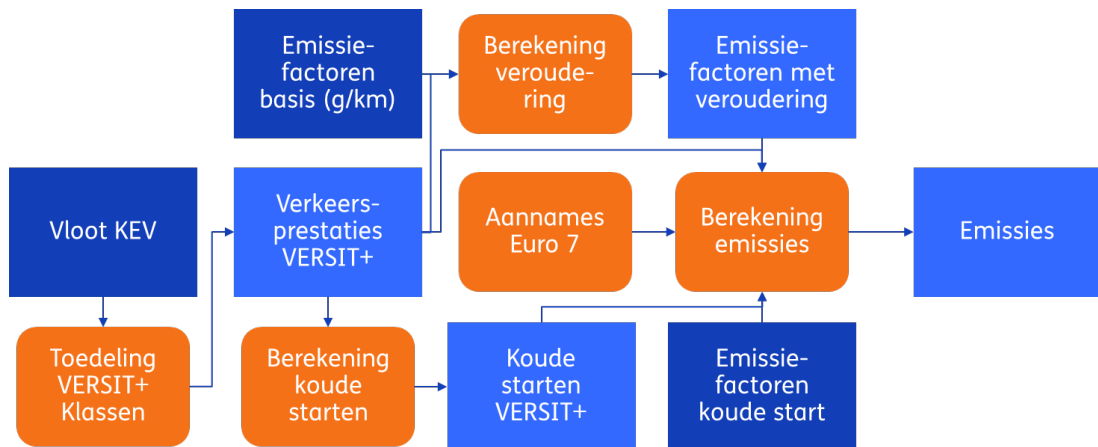
Voor historische jaren zijn de geregistreerde voertuigen en kilometerstanden bekend voor het Nederlandse¹³⁰ wagenpark (beide worden geregistreerd door de RDW). Hiermee kunnen de activiteitsdata (jaarkilometrage, aantal koude starten) en emissiefactoren op voertuigniveau bepaald worden. Voor toekomstige jaren worden inzichten uit de bottom-up aanpak van de Emissieregistratie (hierna bottom-up) zo veel mogelijk overgenomen. De basis voor de ramingen zijn de vlootramingen en bijbehorende ramingen voor voertuiginzet uit de KEV 2024. Deze ramingen worden niet gemaakt voor individuele voertuigen maar voor groepen voertuigen (bijvoorbeeld geaggregeerd per bouwjaar en brandstof) waardoor inzichten uit de bottom-up eerst geaggregeerd moeten worden naar deze groepen. Daarbij moeten aannames gedaan worden voor groepen die in de historische reeks nog niet bestonden.

¹³⁰ De kilometers van buitenlandse voertuigen in Nederland en Nederlandse voertuigen in het buitenland worden aan het einde verrekend met de totale kilometers per voertuigcategorie, onder aanname dat ze gemiddeld dezelfde eigenschappen (zoals emissiefactoren) hebben als de Nederlandse voertuigen.

De emissies voor toekomstige jaren worden, in lijn met de bottom-up, berekend door de verkeersprestaties (gereden kilometers en aantal koude starten) te vermenigvuldigen met zogenaamde emissiefactoren (gemiddelde emissies per kilometer of per start). In tegenstelling tot de bottom-up worden de berekeningen niet gedaan per voertuig maar per voertuigcategorie. Per VERSIT+ klasse, bouwjaar en zichtjaar worden verkeersprestaties, emissiefactoren en verouderingsfactoren berekend. De totale emissies worden uiteindelijk berekend door de emissies ten gevolge van koude start op te tellen bij de emissies ten gevolge van rijden met warme motor. In formule:

$$Emissie = KS * EF_{KS} + (km_{stad} * EF_{stad} + km_{buitenweg} * EF_{buitenweg} + km_{snelweg} * EF_{snelweg}) * verouderingsfactor$$

Merk hierbij op dat koude starten alleen van toepassing zijn op uitlaatemissies. **Figuur 6.1** geeft schematisch weer hoe de verkeersprestaties, emissiefactoren en uiteindelijke emissies zijn berekend op basis van de vlootramingen en de inzichten uit de bottom-up.



Figuur 6.1: Schematische weergave van de emissieberekening voor wegverkeer.

De vlootramingen van de KEV zijn vertaald naar verkeersprestaties voor relevante voertuigklassen voor de bepaling van emissiefactoren (VERSIT+ klassen). Dit wordt beschreven in paragraaf 6.3. Per VERSIT+ klasse is het aantal koude starten bepaald (paragraaf 6.4). In paragraaf 6.5 wordt beschreven hoe veroudering van emissiefactoren is bepaald op basis van de voertuigleeftijd. De basis emissiefactoren zijn in principe gelijk aan die van de bottom-up, behalve als door beleidsinitiatieven verondersteld mag worden dat deze in de toekomst zullen wijzigen. Dit laatste is het geval voor de nieuwe Europese emissieklasse euro 7. In paragraaf 6.6 wordt beschreven welke aannames zijn gedaan betreffende de emissiefactoren voor euro 7 voertuigen (die nu nog niet op de weg rijden en waarvoor nog geen emissiefactoren bestonden). Paragraaf 6.7 geeft de belangrijkste resultaten en conclusies.

6.3 Toedeling VERSIT+ klassen

Voor de toekenning van emissiefactoren aan specifieke voertuigen worden de voertuigen gegroepeerd in zogeheten VERSIT+ klassen. Deze klassen beschrijven de belangrijkste emissie-verklarende variabelen van een voertuig. Hieronder vallen in ieder geval voertuigsoort, brandstof en Europese emissiewetgevingsklasse (euroklasse). Waar relevant kan de VERSIT+ klasse uitgebreid worden met aanvullende eigenschappen (voor een verdere toelichting zie (Geilenkirchen, et al., 2024) en (Eijk, et al., 2020)).

De basis voor de toedeling van VERSIT+ klassen is de vlootraming van de KEV 2024. Deze vlootraming betreft het aantal voertuigen en de gereden kilometers (verkeersprestaties) per voertuigsoort, brandstof en bouwjaar en de onderverdeling van de kilometers naar wegtypen (stad, buitenweg, snelweg). De vlootramingen staan beschreven in achtergrondrapporten bij de KEV ((Kok, Broek, Blomjous, & Meerkerk, 2024), (Kok, Broek, Nusteling, & Meerkerk, 2024)).

De toedeling naar VERSIT+ klassen is afhankelijk van het bouwjaar. Voor voertuigen met bouwjaar voor 2024 worden de uitkomsten van het laatst berekende bottom-up jaar gebruikt. Dus het aandeel van een specifieke VERSIT+ klasse in de totale kilometers van een bepaalde voertuigsoort met een bepaalde brandstof en een bepaald bouwjaar wordt verondersteld gelijk te blijven. Voor nieuwe voertuigen wordt voor wat betreft de emissieklasse gekeken of de voertuigen al moeten voldoen aan de Euro 7 wetgeving (zie 6.6.1). Als dit niet het geval is worden ze verondersteld te voldoen aan de op dit moment geldende emissiewetgeving. De toedeling van euroklassen naar bouwjaar is samengevat in **Tabel 6.1**. Deze tabel geldt alleen voor brandstofvoertuigen. Zero-emissie voertuigen krijgen altijd de euroklasse ZEEV (Zero-emissie Elektrisch Voertuig).

Tabel 6.1: Aannames euroklassen nieuwe voertuigen

Voertuig	Bouwjaar	Brandstof	Euroklasse
Alle	<2024	Alle	Verdeling op basis van bottom-up
Lcats	>= 2024	Alle	Euro 5*
Personen- en bestelauto's	2024 -< 2028	Diesel	Euro 6D**
	>= 2028	Overig Alle	Euro 6 Euro 7***
Vrachtkverkeer en bussen	2024 -< 2029	Alle	Euro VI
	>= 2029	Alle	Euro 7***

* L-categorie voertuigen vallen niet onder Euro 7 wetgeving

** Alleen voor LD dieselveertuigen wordt onderscheid gemaakt in verschillende fasen van Euro 6 omdat de emissiefactor vanaf Euro6D-temp veel lager is dan voor eerdere generaties Euro 6 LD voertuigen

*** Ingangsdata Euro 7 op basis van wetgeving (European Parliament, 2024), afgerond op hele jaren.

Een nieuw element in Euro 7 is dat er, naast eisen aan de uitlaatemissies, ook eisen worden gesteld aan slijtage-emissies van remmen en banden. De eisen aan remslijtage van personen- en bestelauto's, die gelden vanaf 2027 leiden nog niet tot lagere emissiefactoren. In ieder geval per 2035, maar mogelijk eerder, gelden strengere eisen voor personenauto's en lichte bestelauto's. Betreffende voertuigen krijgen de toevoeging "BRK" (voor BRaKewear) in de VERSIT+ klasse.

Naast de emissieklasse zijn er nog een aantal andere voertuigeigenschappen die niet bepaald worden in de vlootraming van de KEV maar wel van belang zijn voor de VERSIT+ klasse. Hiervoor zijn de volgende aannames gedaan op basis van de bottom-up resultaten:

- 5% van de lichte vrachtauto's is een utiliteitsvoertuig¹³¹
- 3% van de middelzware vrachtauto's is een utiliteitsvoertuig
- 40% van de zware vrachtauto's is een utiliteitsvoertuig
- 25% van de Opleggertrekkers is een zware trekker (maximum massa voertuig >20 ton)

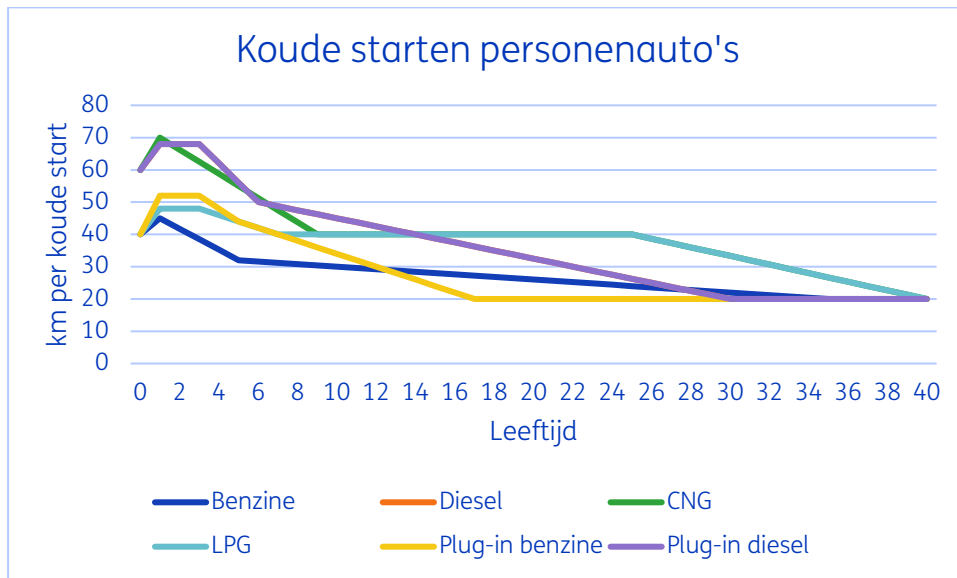
¹³¹ Utiliteitsvoertuigen zijn vrachtauto's die met name in stedelijke gebieden worden ingezet en gebruik maken van hulpfuncties zoals vuilniswagens, kiepwagens en cementwagens (Ligterink, et al., 2020)

- 18% van de kilometers van middelzware vrachtauto's wordt verreden met een aanhanger
- 59% van de kilometers van zware vrachtauto's wordt verreden met een aanhanger
- 15% van de lijnbussen is een gelede bus (ook wel harmonicabus).

6.4 Koude start emissies

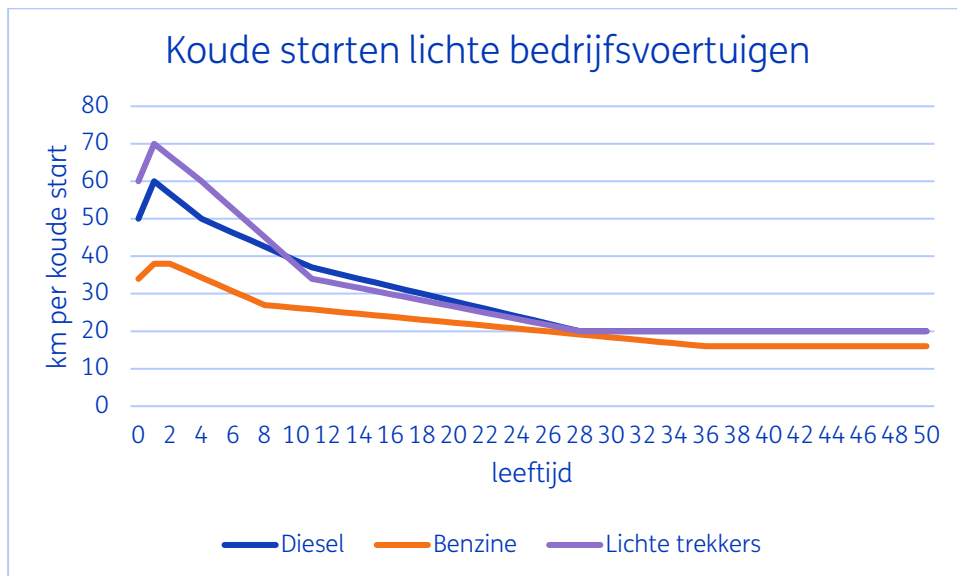
Doordat de emissiereductiesystemen nog niet op temperatuur zijn kunnen de emissies in de eerste minuut na het starten van de motor een stuk hoger zijn. Met name voor nieuwe voertuigen, die op bedrijfstemperatuur zeer lage emissies kennen, wordt een groot deel van de emissies veroorzaakt door de koude start. Emissiemetingen laten zien dat de totale emissies tijdens de eerste minuut van een rit hoger kunnen zijn dan 50 km rijden met warme motor (Ruiters & Mensch, 2022) (Mensch, et al., 2022). Voor de juiste ruimtelijke toedeling van emissies is het van belang de emissies ten gevolge van koude start apart te berekenen. In de vlootraming van de KEV zijn de gereden kilometers per voertuigcategorie en bouwjaar geraamd maar zijn nog geen aantallen koude starten berekend. In deze paragraaf wordt beschreven hoe de aantallen koude starten zijn afgeleid op basis van de KEV-vloot en de bottom-up resultaten.

In de bottom-up wordt het aantal koude starten per voertuig berekend op basis van de jaarkilometrage, waarbij het aantal koude starten per kilometer voor voertuigen met een laag jaarkilometrage hoger is dan voor voertuigen met een hoog jaarkilometrage. De aanname hierbij is dat voertuigen met een laag jaarkilometrage relatief vaker voor korte ritten worden gebruikt. De jaarkilometrage is weer afhankelijk van de leeftijd, jonge voertuigen rijden in de regel meer kilometers dan oude voertuigen. In de raming is het dus van belang rekening te houden met de voertuigleeftijd wanneer het aantal koude starten wordt berekend. Op basis van de bottom-up resultaten (gereden kilometers en aantal koude starten) is voor verschillende voertuigcategorieën afgeleid hoe de gereden afstand per koude start zich verhoudt tot de leeftijd van het voertuig. Deze functies zijn vervolgens gebruikt om het aantal koude starten uit de geraamde kilometers uit de KEV-vloot te berekenen.



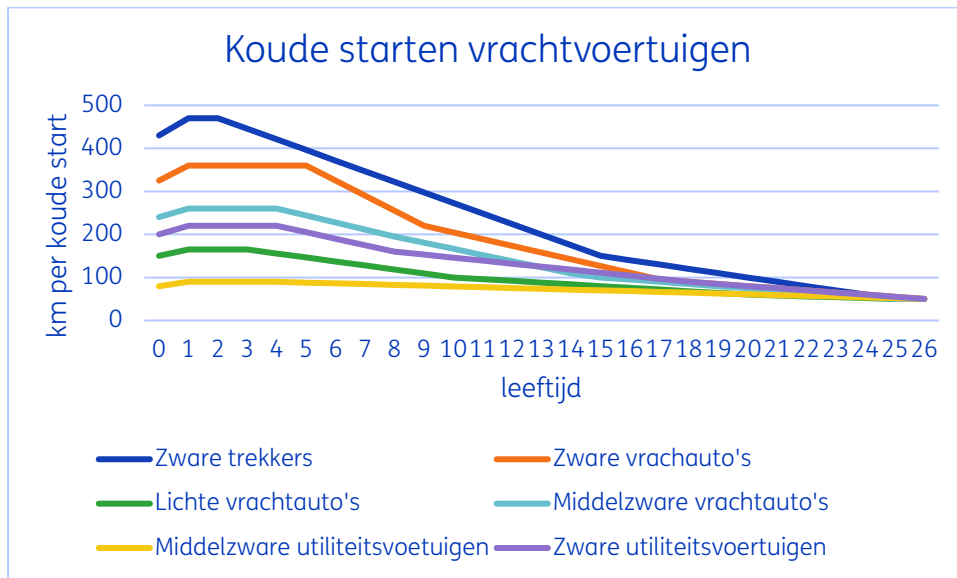
Figuur 6.2: Aannames km per koude start personenauto's

Figuur 6.2 laat de aannames zijn voor het aantal kilometer per koude start voor personenauto's. Voor alle brandstoffen geldt dat in de eerste 8 jaar de meeste kilometers gemaakt worden. Dit leidt tot langere ritten of hoger kilometers per koude start. (Plug-in) diesel voertuigen en CNG voertuigen kennen hogere kilometers per koude start dan (plug-in) benzine voertuigen. Voor alle voertuigen geldt dat het aantal kilometer per koude start na verloop van tijd afneemt tot 20. LPG-voertuigen kennen een relatief constant verloop.



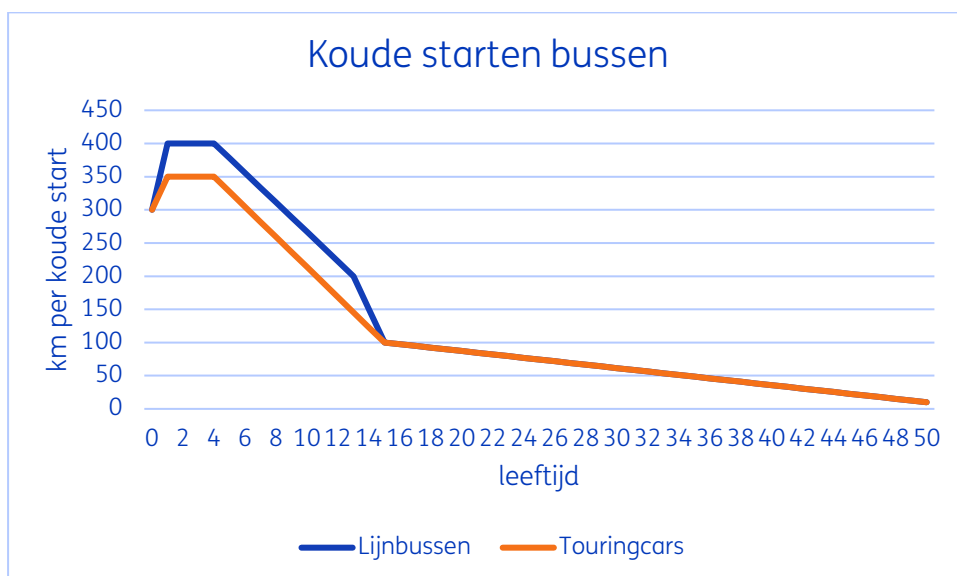
Figuur 6.3: Aannames km per koude start lichte bedrijfsvoertuigen

Voor lichte bedrijfsvoertuigen is onderscheid gemaakt tussen diesel en benzine en er is apart gekeken naar lichte trekkers (Figuur 6.3). Net als bij personenauto's kennen diesel voertuigen een veel hoger jaarkilometrage en kilometer per koude start dan benzine voertuigen. Lichte trekkers maken met name in de eerste 8 jaar meer kilometer per koude start dan de overige lichte diesel bedrijfsvoertuigen.



Figuur 6.4: Aannames km per koude start vrachtoetuien

Voor vrachtoetuien is geen onderscheid gemaakt naar brandstoffen (ze rijden grotendeels op diesel en voor elektrische voertuien is koude start niet van belang) maar naar voertuigsoorten. **Figuur 6.4** laat de kilometers per koude start zien voor vrachtoetuien. Voor de vrachauto's is met name het gewicht van belang (zware voertuien maken meer kilometers per koude start). Zware trekkers rijden tot bijna 500 km per koude start in de eerste paar jaar. Voor de meeste voertuien geldt dat de kilometers per start snel afnemen na de eerste 6-8 jaar. Utiliteitsvoertuien blijven over het algemeen langer dezelfde afstanden rijden.



Figuur 6.5: Aannames km per koude start bussen

Voor bussen is onderscheid gemaakt tussen lijnbussen en touringcars (**Figuur 6.5**). Lijnbussen rijden in de eerste 15 jaar zo'n 50 kilometer verder per koude start, daarna

komen de curves overeen. Overigens zullen er weinig lijnbussen langer dan 15 jaar in de vloot verblijven.

6.5 Veroudering

Door verschillende redenen kunnen voertuigen met hogere kilometerstanden hogere emissies vertonen (bijvoorbeeld (Kadijk G. , et al., 2020), (Kadijk G. , Elstgeest, Ligterink, & Mark, 2018)). In de bottom-up berekening wordt daarom een schalingsfactor toegepast op de emissiefactor, afhankelijk van de tellerstand van het voertuig. Deze schalingsfactoren zijn bepaald aan de hand van stuksgewijs lineaire functies. Dat wil zeggen dat de schalingsfactoren voor bepaalde stoffen en VERSIT+ klassen zijn bepaald voor specifieke kilometerstanden en daartussen lineair zijn geïnterpoleerd op basis van de kilometerstand. Schalingsfactoren zijn bepaald voor de volgende kilometerstanden:

- Personen- en bestelauto's: 0-50-100-120-160-200-300 (*1000 km)
- Vrachtvoertuigen: 0-200-1000 (*1000 km).

Figuur 6.10 laat bijvoorbeeld de NO_x verouderingsfactoren voor euro 6 en euro 7 benzine personenauto's zien.

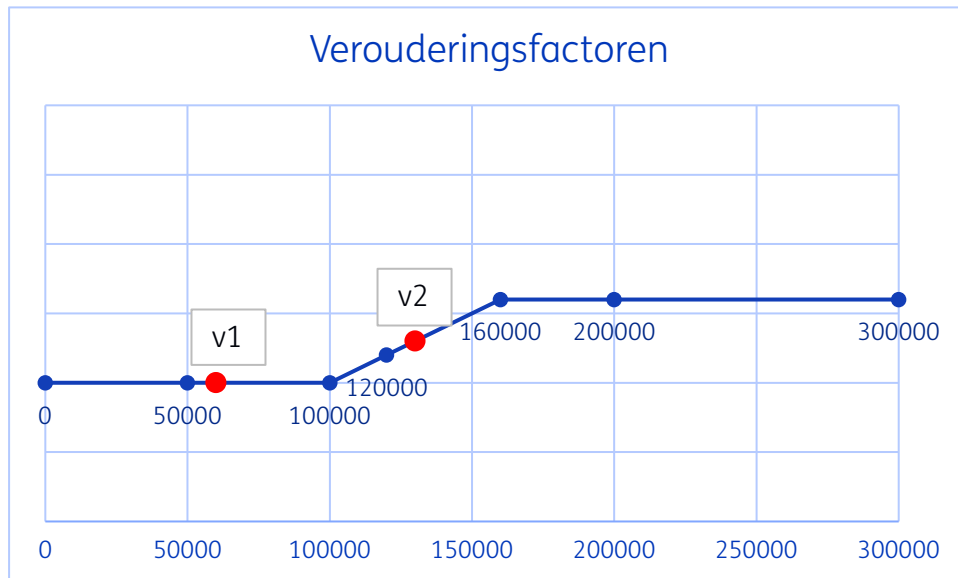
In de vlootraming van de KEV zijn geen tellerstanden van voertuigen bekend en moeten deze schalingsfactoren afgeleid worden per leeftijdsgroep. Dit is gedaan door middel van een analyse van de tellerstanden zoals geregistreerd door de RDW¹³² in de online tellerstanden registratie (OKR, voorheen NAP) en het systeem Erkenning Keuringsinstanties (EKI). Op basis daarvan zijn leeftijdsafhankelijke functies afgeleid waarmee de verouderingsfactor voor de KEV-vloot berekend is. Ter illustratie wordt deze afleiding uitgevoerd voor 2 fictieve voertuigen v1 en v2. De kilometerstand en het jaarkilometrage zijn weergegeven in **Tabel 6.2**.

Tabel 6.2: Kilometerstand en jaarkilometrage van twee fictieve voertuigen.

Voertuig	Kilometerstand	Jaarkilometrage
v1	60000	15000
v2	130000	20000

De jaarkilometrage van de voertuigen wordt vervolgens geplot op een lijn met schalingsfactoren per kilometerstand, zoals te zien is in **Figuur 6.6**.

¹³² <https://www.rdw.nl/over-rdw/actueel/dossiers/kilometerstanden>



Figuur 6.6: v1 en v2 geplot op verouderingsfactoren

De verouderingsfactor voor v1 is vervolgens te berekenen als:

$$vf_{v1} = vf_{50k} + (vf_{100k} - vf_{50k}) * \frac{km_{v1} - 50000}{100000 - 50000}$$

Waarbij vf staat voor verouderingsfactor en km_{v1} voor de kilometerstand van v1.

Invullen van de kilometerstand en uitwerken van de formule geeft dat vf_{v1} gelijk is aan $0.8 * vf_{50k} + 0.2 * vf_{100k}$. Op eenzelfde manier is vf_{v2} gelijk aan $0.75 * vf_{120k} + 0.25 * vf_{160k}$.

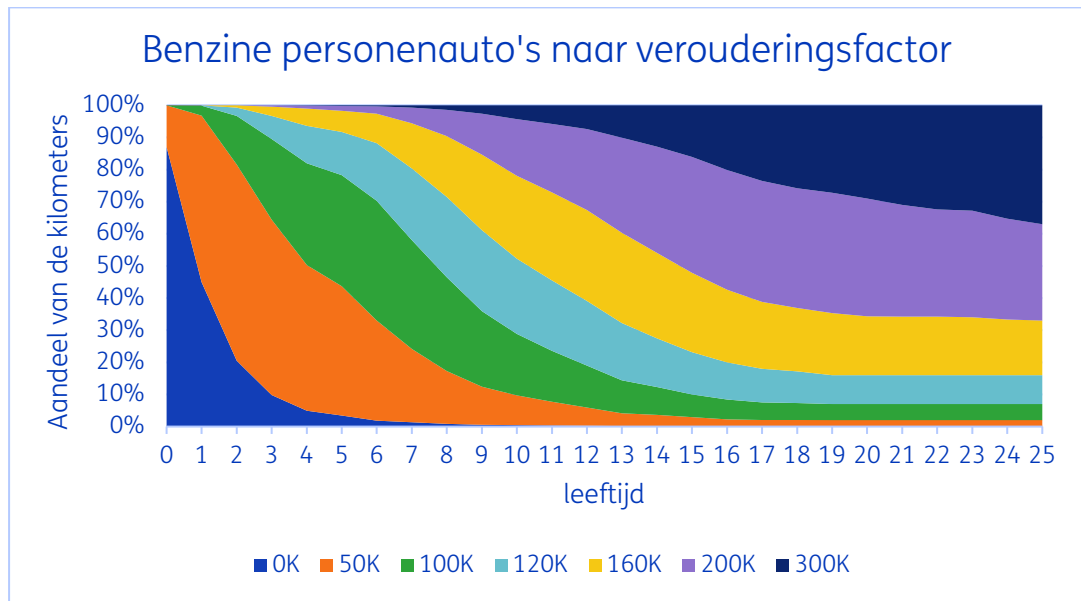
Omdat voertuigen met een hoger jaarkilometrage meer bijdragen aan de gemiddelde verouderingsfactor worden de gevonden waarden vermenigvuldigd met de jaarkilometrage per voertuig. Het resultaat is dat de totale kilometerages van de twee voertuigen zijn toegekend aan de verouderingsfactoren, zoals te zien is in **Tabel 6.3**.

Tabel 6.3: Toekenning jaarkilometrage aan verouderingsfactoren

Voertuig	0k	50k	100k	120k	160k	200k	300k
v1	0	12000	3000	0	0	0	0
v2	0	0	15000	5000	0	0	0
Totaal	0	12000 = 34.3%	18000 = 51.4%	5000 = 14.3%	0	0	0

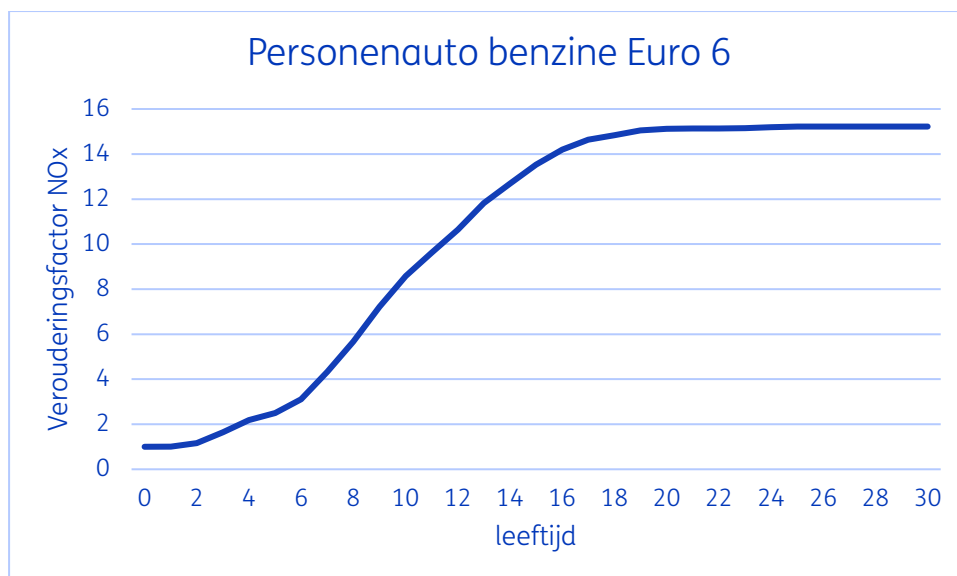
De vlootgemiddelde verouderingsfactor voor deze twee voertuigen kan nu berekend worden als $34.3% * vf_{50k} + 51.4% * vf_{100k} + 14.3% * vf_{120k}$.

Bovenstaande berekening is uitgevoerd voor alle bekende tellerstanden om per voertuigsoort en leeftijdsgroep vlootgemiddelde verouderingsfactoren af te leiden. Deze verdeling is voor benzine personenauto's weergegeven in **Figuur 6.7**. Dezelfde figuren voor de overige voertuigcategorieën zijn te vinden in **Figuur 6.7**. Merk op dat de totale gereden kilometers bij hogere leeftijd afnemen, 100% van de kilometers na 25 jaar is dus een stuk minder dan 100% van de kilometers na 5 jaar.



Figuur 6.7: Verdeling van de voertuigkilometers naar verouderingsfactoren voor benzine personenauto's

Voor de NO_x-emissiefactor van benzine Euro 6 personenauto's wordt, in de bottom-up, bijvoorbeeld aangenomen dat deze gelijk blijft tot 100000 kilometer en vervolgens lineair met de kilometerstand oploopt tot een factor 19 bij een kilometerstand van 200000 (zie ook [Figuur 6.10](#)). De resulterende schalingsfactor per leeftijd is te zien in [Figuur 6.8](#). Een klein deel van de voertuigen heeft na 3 jaar al meer dan 100.000 kilometer gereden waardoor de vlootgemiddelde verouderingsfactor vanaf dan langzaam oploopt. Na ongeveer 9 jaar is de helft van de veroudering opgetreden en na 18 jaar wordt de maximale verouderingsfactor bereikt. Deze is lager dan de maximale factor 19 omdat een deel van de kilometers nog wordt verreden door voertuigen met een lage tellerstand (voertuigen met hoge tellerstand maken relatief minder kilometers en verlaten de vloot uiteindelijk door sloop of export).



Figuur 6.8: Verouderingsfactor personenauto benzine Euro 6 NO_x

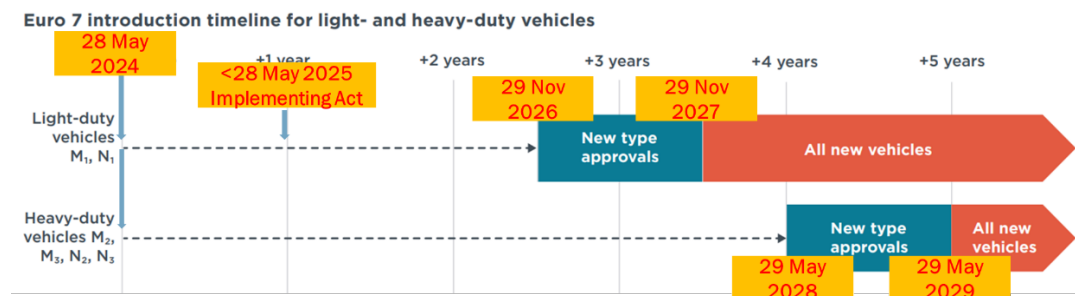
6.6 Aannames emissiefactoren Euro 7

Op 8 mei 2024 is de Euro 7 verordening gepubliceerd (European Parliament, 2024). Euro 7 zal de komende jaren in de plaats komen van de huidige Euro 6 en Euro VI wetgeving voor typekeuring van wegvoertuigen op het gebied van emissies en duurzaamheid. Voor het eerst is er één verordening voor typekeuring van lichte en zware wegvoertuigen. Naast verscherping van bestaande emissielimieten en testmethodes voorziet Euro 7 ook voor het eerst in limieten voor slijtage-emissies (ook voor elektrische voertuigen). Bovendien zijn de regelingen inzake levensduur verscherpt, onder ander voor accu's.

Voor verscherpte limieten en/of testmethodes zijn de euro 7 emissiefactoren op basis van expert judgement ingeschat. Daarnaast zijn aannames gedaan voor wat betreft de inwerkingtreding van Euro 7 en daarmee samenhangend de ingroei van euro 7 voertuigen in de vloot. Indien geen sprake is van verscherping zijn de betreffende emissies van euro 7 voertuigen gelijk gehouden aan de emissies van dezelfde voertuigen onder Euro 6 of Euro VI.

6.6.1 Inwerkingtreding

Er gelden 2 ingangsdata voor de inwerkingtreding van Euro 7. De eerste geldt voor de typekeuring van nieuwe typen voertuigen die voor het eerst op de Europese markt worden gebracht. De tweede geldt voor alle nieuwe voertuigen die in de EU worden verkocht. Ervaring met eerdere euroklassen leert dat na de eerste datum een beperkt aantal voertuigen aan de nieuwe eisen voldoet. Vanaf de tweede datum moeten alle nieuwe voertuigen voldoen aan de regelgeving en is het effect ook waarneembaar in de vloot. **Figuur 6.9** laat zien wanneer de regelgeving van kracht wordt voor lichte (LD, M₁ en N₁ voertuigen, ofwel personen- en bestelauto's) en zware (HD, N₂, N₃, M₂ en N₃ voertuigen, ofwel vrachtvoertuigen en bussen) wegvoertuigen.



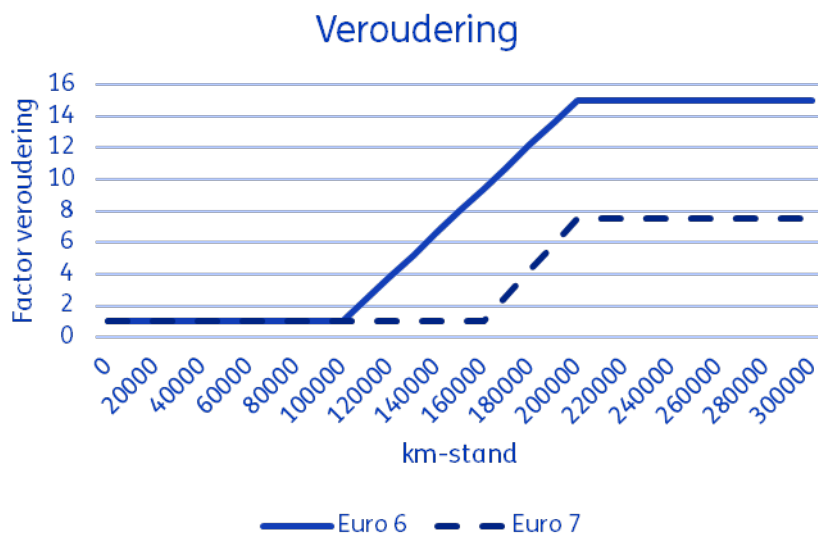
Figuur 6.9: Tijdlijn inwerkingtreding Euro 7 bron: ICCT (ICCT, 2024), bewerking TNO

Voor slijtage-emissiefactoren geldt dat de limietwaarden vooralsnog alleen zijn vastgesteld voor remslijtage van lichte wegvoertuigen tot december 2029 en vanaf januari 2035 (European Parliament, 2024). In de tussenliggende periode kunnen de limieten verscherpt worden maar dit is nog niet vastgesteld. Vandaar dat in de raming is gekozen te werken met 2 ingangsdata, de eerste vanaf november 2027 en de tweede vanaf januari 2035 voor verscherpte limieten van remslijtage. Voor bandenslijtage en voor remslijtage van zware voertuigen zijn nog geen limieten vastgesteld. Deze zijn dus ook niet meegenomen in de raming.

6.6.2 Emissiefactoren

In de expert judgement zijn de volgende aannames gedaan, voor wat betreft de emissiefactoren gebruikt in de KEV ERL raming:

- De NO_x emissielimiet voor LD voertuigen blijft gelijk. Door verscherping van de duurzaamheidseisen treedt veroudering later in en is de maximale verouderingsfactor gehalveerd (**Figuur 6.10**).
- Voor HD zijn de NO_x limieten én de duurzaamheidseisen verscherpt. Aangenomen is dat de emissiefactor voor Euro 7 de helft is van Euro VI. Dit geldt ook voor de maximale verouderingsfactor.
- De PM-uitlaat emissiefactor voor LD is maximaal 1 mg/km. Dit zorgt met name voor zware bestelauto's voor een reductie ten opzichte van de emissiefactoren van euro 6 voertuigen.
- De PM-uitlaat emissiefactor voor HD is verlaagd met 25% ten opzichte van Euro VI.
- Remslijtage emissiefactoren voor LD zijn gemaximaliseerd op de nu bekende limieten ¹³³.
- Personenauto's en lichte (klasse I en klasse II) bestelauto's:
 - Per ingang Euro 7: 3 mg/km voor batterij-elektrische voertuigen en 7 mg/km voor overige voertuigen.
 - Vanaf 2035: 3 mg/km voor alle energiedragers.
- Zware (klasse III) bestelauto's:
 - 5 mg/km voor batterij-elektrische voertuigen en 11 mg/km voor overige voertuigen.
 - Vanaf 2035: 5 mg/km ¹³⁴.
- EC emissiefactoren voor LD zijn gelimiteerd op 0.5 mg/km, voor zover deze voor euro 6 voertuigen niet al lager zijn.
- EC emissiefactoren voor HD zijn 25% lager vergeleken met Euro VI.



Figuur 6.10: NO_x verouderingsfactor LD-voertuigen voor Euro 6 en Euro 7

¹³³ In de praktijk kunnen uitstootwaarden boven de limiet uitkomen. In dit geval is de gemiddelde emissiefactor gelimiteerd, zwaardere voertuigen kunnen nog steeds hogere slijtage-emissies vertonen.

¹³⁴ Hoewel deze waarde voor zware bestelauto's nog niet is vastgesteld is aangenomen dat de limiet vanaf 2035 ook voor conventionele voertuigen geldt, in lijn met de limieten voor personenauto's en lichte bestelauto's

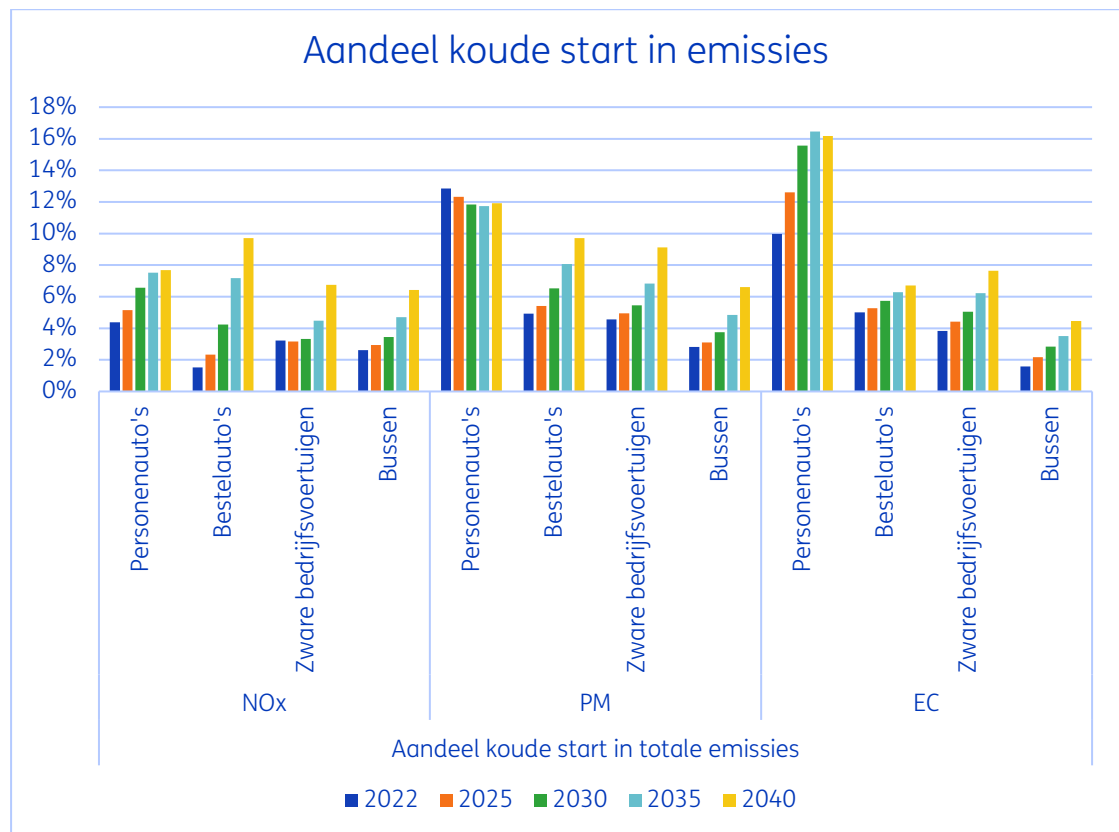
Voor alle overige voertuigen en stoffen geldt dat de emissiefactoren voor Euro 7 gelijk zijn gesteld aan die van Euro 6 (of Euro 6D in het geval van lichte diesel voertuigen).

6.7 Emissieresultaten en onzekerheden

De totale resultaten zijn te vinden in de PBL rapportage van de ERL (verschijnt gelijk met dit rapport). In dit hoofdstuk worden een aantal detailresultaten weergegeven die betrekking hebben op de beschreven methoden. Daarnaast wordt kort ingegaan op de onzekerheden en hoe deze zijn meegenomen in de raming.

6.7.1 Koude start

Koude start emissies zijn in deze ERL voor het eerst expliciet meegenomen in de emissieramingen van wegvoertuigen. Voorheen waren deze emissies impliciet meegenomen in de emissietotalen voor met name het stadsverkeer. In de totale emissies is het effect daarom beperkt maar met name voor de ruimtelijke toedeling van de emissies is dit onderscheid van belang.

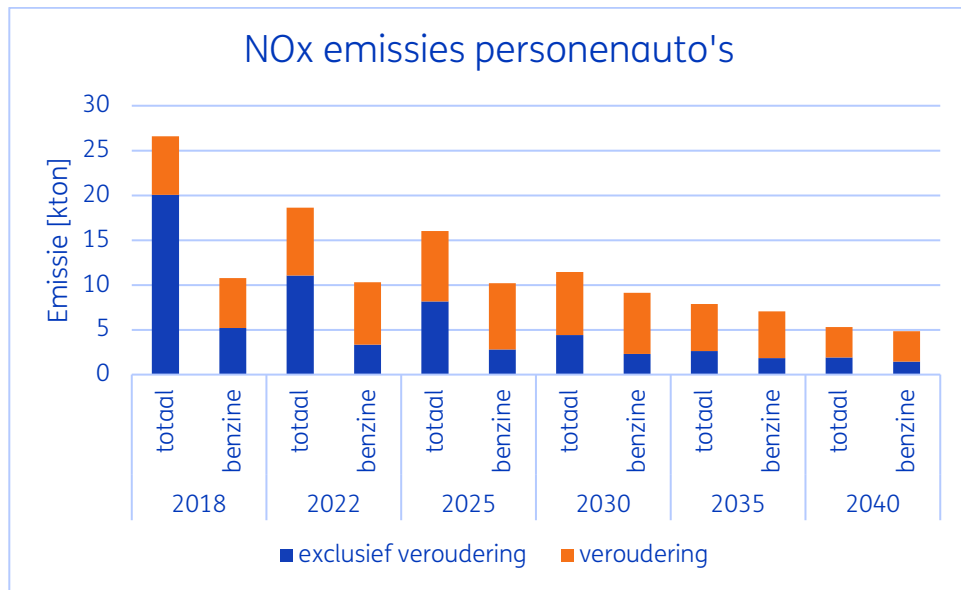


Figuur 6.11: Aandeel koude start in totale emissies per voertuigsoort, emissiestof en zichtjaar

Figuur 6.11 laat het aandeel van de koude startemissies zien in de ramingen voor de verschillende zichtjaren. Te zien is dat het aandeel van de koude startemissies voor bijna alle voertuigsoorten toeneemt wat betreft de NO_x, uitlaatfijnstof (PM) en EC-emissies. Alleen het aandeel koude start in de fijnstofemissies van personenauto's neemt iets af in de eerste jaren om daarna ongeveer gelijk te blijven. De belangrijkste verklaring hiervoor is het snel afnemende aandeel dieselvoertuigen in de personenautovloot.

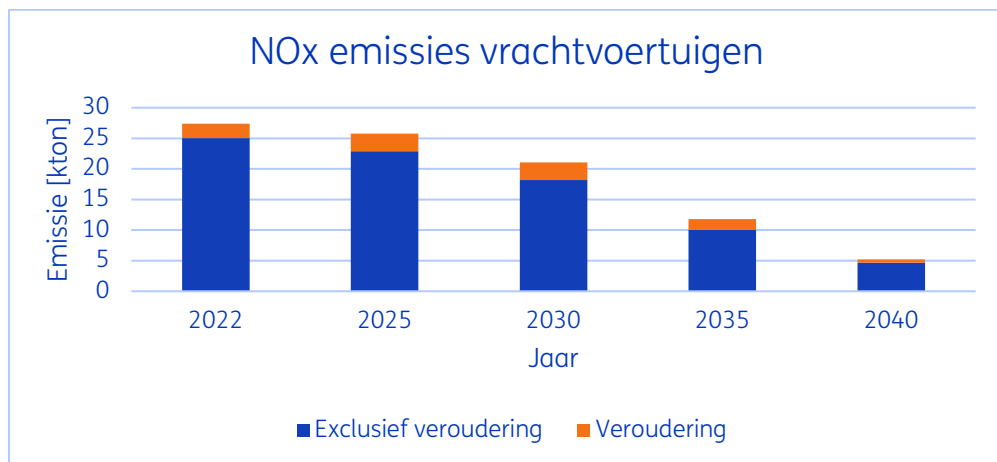
6.7.2 Veroudering

Veroudering wordt berekend voor verschillende stoffen maar het effect is vooral zichtbaar op de NO_x-emissies. Door de toepassing van emissiereductiesystemen als drieweg- en SCR-katalysatoren zijn deze emissies in het afgelopen decennium sterk verlaagd. Wanneer deze emissiereductiesystemen bij hoge kilometrages niet goed meer functioneren heeft dit grote effecten op de hoogte van de emissies.



Figuur 6.12: NO_x emissies van personenauto's met onderscheid van emissies ten gevolge van veroudering

Figuur 6.12 laat zien wat het effect van veroudering is op de totale emissies van personenauto's. Het aandeel veroudering in de totale emissies neemt toe van 41% in 2022 tot ongeveer tweederde in 2035. Met name door de uitstroom van dieselauto's, waar veroudering een kleinere rol speelt, neemt het belang van veroudering in de totale emissies toe. Na 2035 neemt het aandeel veroudering weer iets af naar 64% door de instroom van Euro 7.

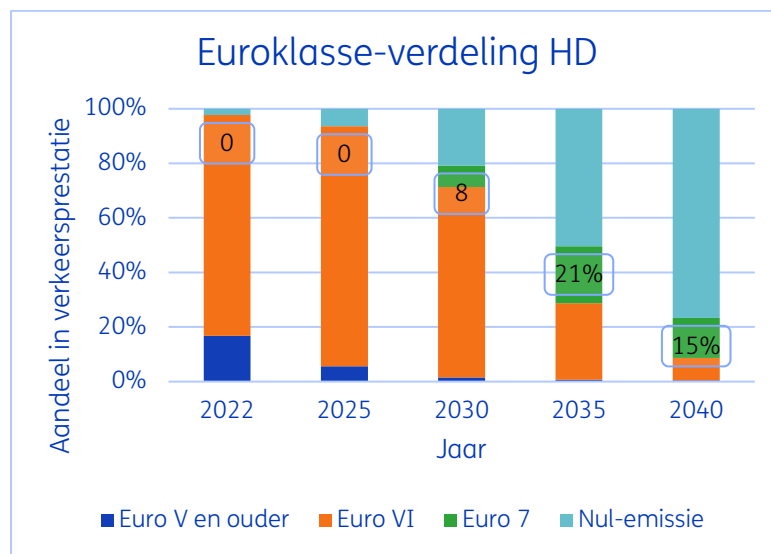


Figuur 6.13: NO_x emissies van vrachtvoertuigen met onderscheid van emissies ten gevolge van veroudering

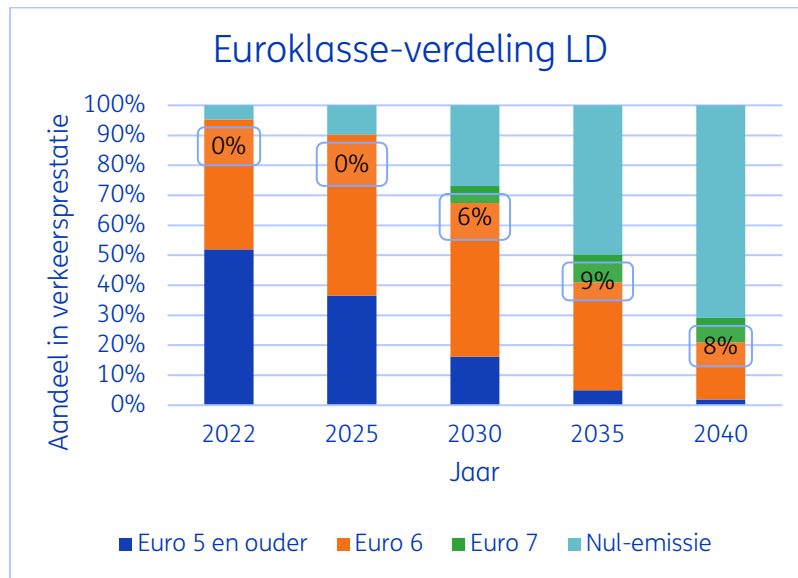
Figuur 6.13 laat het aandeel veroudering in de totale emissies van vrachtvoertuigen zien. Hoewel het aandeel beperkt is in vergelijking met personenauto's neemt de bijdrage van veroudering toe van 9% in 2022 tot 15% in 2035. Na 2035 neemt het aandeel weer af naar ongeveer 10% in 2040 door de introductie van Euro 7.

6.7.3 Euro 7

Op basis van het aangenomen effect op de emissiefactoren (paragraaf 6.6.2) is een eerste inschatting gemaakt van de emissies van euro 7 voertuigen. Ten eerste is gekeken naar het aandeel van euro 7 voertuigen in de totale kilometers gereden door wegvoertuigen. Dit aandeel is in grote mate afhankelijk van de aangenomen elektrificatie van de vloot omdat Euro 7 vooral effect heeft op de uitlaatemissies van conventionele voertuigen (slijtage-emissies buiten beschouwing gelaten).

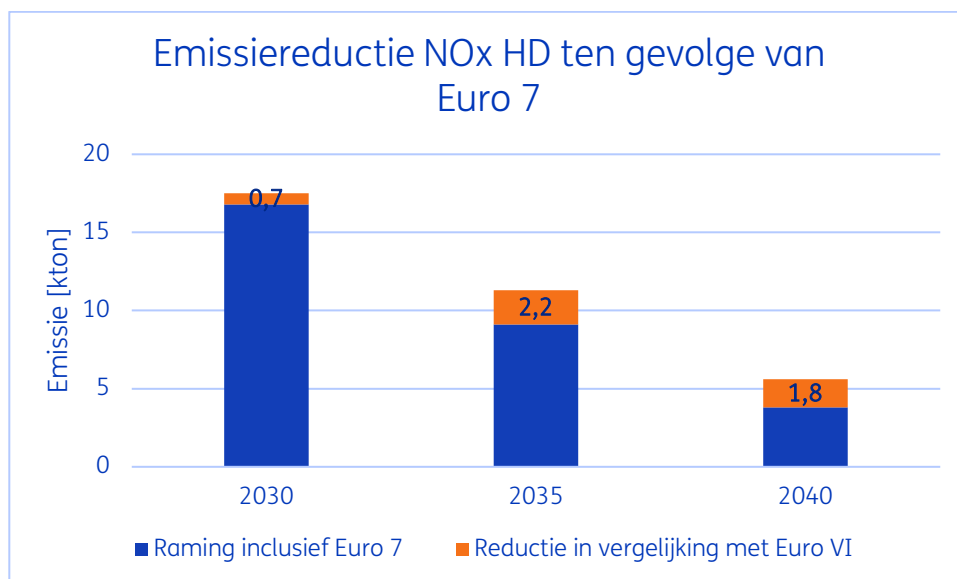


Figuur 6.14: Aandeel euro 7 voertuigen in de totale kilometers van zware (HD) wegvoertuigen op basis van Vastgesteld en Voorgenomen beleid (VV)



Figuur 6.15: Aandeel euro 7 voertuigen in de totale kilometers van lichte (LD) wegvoertuigen op basis van Vastgesteld en Voorgenomen beleid (VV)

Figuur 6.14 en **Figuur 6.15** laten het geraamde aandeel euro 7 zien in de totale kilometers van wegvoertuigen in verschillende jaren. In de KEV wordt een snelle elektrificatie verwacht van de nieuwverkopen van personen- en bestelauto's tot 2035. Vanaf 2035 mogen er op basis van Europees beleid alleen nog emissieloze personen- en bestelauto's worden verkocht. Het aantal benzine- en dieselauto's dat tussen 2027 en 2035 nog wordt verkocht is relatief klein, waardoor ook het aandeel van die voertuigen in het totale aantal kilometers bescheiden is (<10% in 2035 en verder). Voor zware voertuigen wordt de elektrificatie pas later ingezet waardoor een groter gedeelte van de vloot voldoet aan Euro 7. In 2035 is dit 21% (afhankelijk van het beleidsscenario). Door ingroei elektrische voertuigen is dit in 2040 alweer afgenomen naar 15%.



Figuur 6.16: NO_x-emissies van HD voertuigen inclusief Euro 7 en reductie ten opzichte van Euro VI

Gegeven de beperkte ingroei van Euro 7 in de vlootraming is het effect op de totale emissies van wegvoertuigen beperkt. Het grootste effect wordt verwacht op de NO_x emissies van zware wegvoertuigen (vrachtvoertuigen en bussen). **Figuur 6.16** laat zien dat een reductie van 2.2 kton in 2035 wordt verwacht en een reductie van 1.8 kton in 2040. Voor de overige stoffen en voertuigen laten de ramingen met de huidige aannames geen noemenswaardige reducties zien. Verdere invulling van (met name) de limieten voor slijtage-emissies kan de effectiviteit van Euro 7 vergroten, omdat hiermee ook de emissies van elektrische voertuigen worden beperkt. Deze aanscherping is als geagendeerd beleid meegenomen in de ERL 2025. Omdat bij het uitwerken van de ramingen nog niets bekend was over de beoogde limieten kon daar echter nog geen effect van worden bepaald. De impact van de nieuwe Euro 7 wetgeving hangt sterk samen met de ingroei van elektrische auto's. Als die instroom lager uitvalt dan in de KEV 2024 is geraamd, zal de geraamde NO_x-uitstoot van het wegverkeer in 2030 en 2035 hoger uitvallen, maar is ook het effect van Euro 7 hoger. Als de instroom hoger uitvalt zal de geraamde uitstoot en het effect van Euro 7 lager uitvallen. Hetzelfde geldt voor een langere levensduur van conventionele voertuigen ten gevolge van verplichte elektrificatie van nieuwe voertuigen. Hier wordt in de vlootraming op dit moment geen rekening mee gehouden. Deze onzekerheden zijn meegenomen in de bandbreedtes die in de ERL 2025 worden gepresenteerd.

6.7.4 Onzekerheden

Bij de emissieramingen in de ERL 2025 is ook een onzekerheidsraming uitgevoerd. Dit wordt door PBL gedaan via een Monte Carlo analyse waarin relevante onzekerheden rond de emissieramingen voor de verschillende stoffen worden meegenomen. Deze analyse wordt gedaan op het niveau van de totale emissies in Nederland en op het niveau van de verschillende sectoren, waaronder mobiliteit. Er zijn geen aparte onzekerheden in kaart gebracht voor enkel het wegverkeer noch voor de verschillende voertuigcategorieën binnen het wegverkeer. TNO heeft voor een aantal relevante onzekerheden rond de emissies van wegverkeer de effecten bepaald op de ramingen, als invoer voor de Monte Carlo analyse. Dit wordt in deze paragraaf beschreven. Het is hierbij van belang op te merken dat het alleen de onzekerheden in de emissieraming betreft, de onzekerheden achter de vlootraming zijn al meegenomen in de KEV en worden hier niet apart vermeld. De vlootraming wordt, met andere woorden, als een gegeven beschouwd. Ook zijn dit niet alle relevante onzekerheden rond de emissies van wegverkeer. De invloed van bijvoorbeeld een andere economische ontwikkeling, andere energieprijzen of andere demografische ontwikkelingen op de emissies van het wegverkeer zijn door PBL in beeld gebracht.

De volgende onzekerheden zijn door TNO in kaart gebracht:

- **Ingroei elektrisch:** Hoewel de ingroei van elektrische voertuigen bepaald wordt in de vlootraming heeft dit dermate effect op de emissies dat het effect hiervan ook is meegenomen in de onzekerheid van de emissieraming.
- **Slijtage elektrische voertuigen:** Voor elektrische voertuigen wordt in de raming verondersteld dat de remslijtage-emissies gelijk zijn aan 0 (door regeneratief remmen). Omdat elektrische voertuigen over het algemeen zwaarder zijn wordt wel aangenomen dat de overige slijtage-emissies hoger zijn dan voor conventionele voertuigen. Per saldo zijn de slijtage-emissies van elektrische voertuigen iets lager dan voor de nieuwste conventionele voertuigen. Het effect van gelijke slijtage-emissiefactoren voor elektrische voertuigen is meegenomen.
- **NO_x emissiefactoren Euro 6D bestelauto's:** De eerste metingen laten zien dat de nieuwste generatie diesel bestelauto's op de weg een stuk beter presteren dan hun voorlopers. Omdat de emissiefactoren bij hoge kilometerstanden nog niet bekend zijn is gekeken wat

het effect is wanneer de emissiefactoren die van de voorganger Euro 6D temp benaderen.

- NH₃ emissiefactoren Euro 6 personenauto's: NH₃ kan ontstaan als bijproduct uit katalysatoren waardoor nieuwe benzine personenauto's een hogere NH₃ emissiefactor hebben. Omdat het lastig is NH₃ in de praktijk te meten is de exacte waarde van deze factor onzeker.
- Veroudering NO_x: Veroudering van emissiereductiesystemen kan de emissies significant verhogen. Het precieze effect is afhankelijk van het voorkomen van gebreken in de vloot van de toekomst en daarmee moeilijk te voorspellen.
- Emissiefactoren Euro 7: Omdat de eerste euro 7 voertuigen pas over minstens 3 jaar op de weg komen zijn de emissiefactoren hoogst onzeker.
- NMVOS Elektrificatie tweewielers: De afgelopen jaren is het aandeel elektrische tweewielers (met name bromfietsen en snorfietsen) snel toegenomen. Als deze trend wordt doorgetrokken naar de toekomst nemen met name de NMVOS emissies snel af. Een groot deel van de NMVOS emissies wordt uitgestoten door een kleine groep (zeer) oude tweewielers. De vraag is of elektrificatie ook zo snel in deze groep optreedt.
- NMVOS Verschoning tweewielers (Euro 5): Nieuwe (euro 5) tweewielers zorgen voor bijna een halvering van de NMVOS emissies (in vergelijking met euro 4). Het is echter niet zeker hoe de emissiefactoren zich naar de toekomst toe ontwikkelen.

6.8 Referenties

- BRS Group. (2024). *Shipping and Shipbuilding Market - Annual review 2024*.
- Eijk, E. v., Verbeek, M., Gijlswijk, R. v., Ouwens, J., Verbeek, R., Hulskotte, J., & Wilde, H. d. (2020). *TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2019. TNO-rapport 2019-P12134*. Den Haag: TNO.
- European Parliament. (2024). *REGULATION (EU) 2024/1257 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. Official Journal of the European Union.
- Geilenkirchen, G., Bolech, M., Hulskotte, J., Dellaert, S., Ligterink, N., Eijk, E. v., . . . Hoen, M. '. (2024). *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*. Bilthoven: RIVM.
- ICCT. (2024). *Policy update: Euro 7: The new emission standard for light- and heavy-duty vehicles in the European Union*. International Council on Clean Transportation.
- Kadijk, G., Elstgeest, M., Ligterink, N., & Mark, P. v. (2018). *Emissions of twelve petrol vehicles with high mileages. TNO-rapport 2018-R11114*. Den Haag: TNO.
- Kadijk, G., Elstgeest, M., Vroom, G., Paalvast, M., Ligterink, N., & Mark, P. v. (2020). *On road emissions of 38 petrol vehicles with high mileages*. Den Haag: TNO.
- Kok, R., Broek, J. v., Blomjous, D., & Meerkerk, J. v. (2024). *Achtergrondrapport SPARK-modelanalyses wagenpark personenauto's KEV 2024*. Rotterdam: Revnext.
- Kok, R., Broek, J. v., Nusteling, A., & Meerkerk, J. v. (2024). *Achtergrondrapport wagenparkanalyses bestel- en vrachtauto's*. Rotterdam: Revnext.
- Ligterink, N., Ruiter, J. d., Dellaert, S., Hulskotte, J., Verbeek, R., & Vonk, W. (2020). *Onderbouwing AERIUS emissiefactoren voor wegverkeer, mobiele werktuigen, binnenvaart en zeevaart*. Den Haag: TNO.
- Mensch, P. v., Elstgeest, M., Ligterink, N. E., Ruiter, J. d., Indrajana, A., & Mark, P. J. (2022). *Dutch In-service Emissions Measurement Programme for Light-Duty Vehicles 2021 and status of in-vehicle NOx monitoring*. Den Haag: TNO.
- OECD C-WP6 workshop. (2023). *Breaking away from "tradition" Labour Issues in the shipbuilding and marine equipment industries*. Paris.
- PBL, TNO en RVO. (2024). *Beleidsverzicht en Factsheets Beleidsinstrumenten. Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Ruiter, J. d., & Mensch, P. v. (2022). *Analysis of the emission performance of the vehicles tested for the Green Vehicle Index (GVI) project*. TNO.

Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl

TNO innovation
for life