

TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2024

TNO 2024 P11746 – Oktober 2024

TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2024

Auteurs	Hans Mulder, Michiel Zult, Maarten Verbeek, Pim van Mensch, Annette Rondaij, Xander Seykens, Hein de Wilde, Arjan Eijk, ...
Rubricering rapport	TNO Publiek
Managementuittreksel	TNO Publiek

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.

© 2024 TNO

Samenvatting

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

- Ingroei elektrische vrachtwagens in relatie tot beschikbare netcapaciteit
- Potentie van waterstof in mobiliteit
- Ontwikkelingen voor "Non Road Mobile Machinery"

Onze analyse op deze drie thema's gebruikt het PBL gebruikt om de toekomstige uitstoot van CO₂ en/of luchtverontreinigende stoffen te ramen. In het onderstaande zijn de belangrijkste bevindingen voor de drie thema's samengevat.

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.

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.

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 nu 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.

Ontwikkelingen voor Non Road Mobile Machinery⁷

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 worden door PBL 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),

⁷ 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.

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.

In 2030 wordt het aantal emissieloze bouwmachines geschat op 10.000 – 41.000. De bandbreedte geeft een grote onzekerheid aan. Dit is 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. Het minimumniveau van de Routekaart is bedoeld als invulling daarvan. 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 hoe toezicht en handhaving gaat plaatsvinden.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
Inleiding.....	4
1 Ontwikkeling vermogensvraag zware elektrische voertuigen in relatie tot netcapaciteit.	6
1.1 Samenvatting.....	6
1.2 Inleiding.....	7
1.3 Methode.....	10
1.4 Resultaten.....	15
1.5 Conclusies en discussie.....	24
2 Potentie van de inzet van waterstof in de mobiliteit.....	26
2.1 Samenvatting.....	26
2.2 Inleiding.....	26
2.3 Beschrijving van aandrijftechnologieën met waterstof als energiedrager:.....	27
2.4 Ontwikkelingen in de markt.....	30
2.5 Beleid gericht op waterstof in mobiliteit:.....	31
2.6 Factoren die introductie en opschaling van waterstof aangedreven voertuigen kunnen belemmeren...40	
2.7 Conclusies.....	44
3 Non Road Mobile Machinery.....	46
3.1 Samenvatting.....	46
3.2 Inleiding.....	47
3.3 Effectschatting van de SEB subsidieregelingen.....	49
3.4 Effectschatting van de Routekaart SEB.....	53
3.5 Uitkomsten.....	58

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 PBL gebruikt om de toekomstige uitstoot van CO₂ en/of luchtverontreinigende stoffen te ramen.

Dit rapport wordt 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 Machinery²⁾”.

Het PBL gebruikt deze analyses, inzichten en cijfers (mede) ter onderbouwing van het hoofdstuk Mobiliteit in de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV-2024)³⁾.

Versie 2 (met publicatiedatum begin 2025) onderbouwt ook de te verwachten uitstoot van luchtverontreinigende stoffen tussen nu en 2035. Begin 2025 worden daartoe twee extra hoofdstukken toegevoegd: “Binnenvaart” en “Zeevaart”. Bovendien wordt dan het hoofdstuk “Non Road Mobile Machinery” uitgebreid met een sectie over luchtverontreinigende emissies.

Het PBL gebruikt deze aanvullende analyses, inzichten en cijfers (mede) ter onderbouwing van de emissie ramingen luchtverontreinigende stoffen (ERL)⁴⁾.

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 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.

²⁾ Non-Road Mobile Machinery (NRMM) is de verzamelnaam voor een breed spectrum aan machines; deels overeenkomend met de Nederlandse naam “mobiele werktuigen”

³⁾ [Klimaat- en Energieverkenning \(KEV\) | Planbureau voor de Leefomgeving \(pbl.nl\)](#)

⁴⁾ Deze tweejaarlijkse publicatie is een nevenpublicatie bij de KEV en geeft een beeld van de verwachte toekomstige ontwikkeling van de emissies voor luchtverontreinigende stoffen in relatie tot de EU-emissiedoelen.

Rollen TNO en PBL

Bij het opstellen van het hoofdstuk Mobiliteit in de KEV zijn de rollen als volgt. TNO levert kennis en data op basis van analyses van trends en ontwikkelingen in technologie, markt en beleid (nationaal en Europees). PBL gebruikt deze TNO analyses (mede) voor het maken van de vertaalslag naar: (1) de uitstoot van CO₂ en de inzet van hernieuwbare energie; en (2) de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen.

Leeswijzer

Dit rapport biedt verdiepende analyses voor de KEV-2024 en richt zich vooral op de lezersdoelgroep “energiespecialist”. Het rapport is daarmee ook intrinsiek minder toegankelijk dan het KEV-2024 hoofdrapport.

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”.

Tenslotte geven de begin 2025 toe te voegen hoofdstukken 4 en 5 een analyse van de belangrijkste trends en ontwikkelingen in respectievelijk de Binnenvaart en de Zeevaart. Verder wordt begin 2025 het hoofdstuk “Non Road Mobile Machinery” uitgebreid met een sectie over luchtverontreinigende emissies.

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 met 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 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.

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, 2023⁵). 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 is⁶, 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 belemmeringen⁷. 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.

⁵ [TNO \(2023\). Effecten van additionele middelen voor laadinfrastructuur vrachtwagens](#)

⁶ [TNO-2022-P12044](#) & [TNO-2022-R11862](#)

⁷ [TNO-2022-P12044](#)

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.

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 tijd⁸).
- 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.

⁸ [Charge Management maakt elektrificatie van transport bij Jan Bakker mogelijk ondanks netcongestie - Duurzaam Ondernemen \(duurzaam-ondernemen.nl\)](#)

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

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'⁹ wordt gewerkt aan het in kaart brengen van de ruimtelijke en temporele ontwikkeling van vermogensvraag vanuit industrie, utiliteit, landbouw, gebouwde omgeving

⁹ [Het energiesysteem ruimtelijk in beeld \(ruimtevoorenergie.nl\)](https://www.ruimtevoorenergie.nl)

en mobiliteit en dit wordt afgezet tegen de beschikbare netcapaciteit. Het is interessant om hier in de toekomst op aan te sluiten.

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)¹⁰.

Deze dataset geeft een indicatie van de beschikbare capaciteit op circa 400 onderstations¹¹ (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.

¹⁰ [VIVET Verbetering Informatievoorziening Energietransitie | Planbureau voor de Leefomgeving \(pbl.nl\)](#)

¹¹ 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 netvlakken¹². 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

¹² [Systeemstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland. Integrale systeemstudie gas, elektriciteit, CO2 en warmte: 2020-2030-2050 - CE Delft](#)

voertuigniveau. Als aanvulling op deze bestaande methodologie is het doel om hier een 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 een zelfde detail niveau modelleert, waardoor het eenvoudig mogelijk is om op dag niveau te simuleren en om voertuigen door te 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.

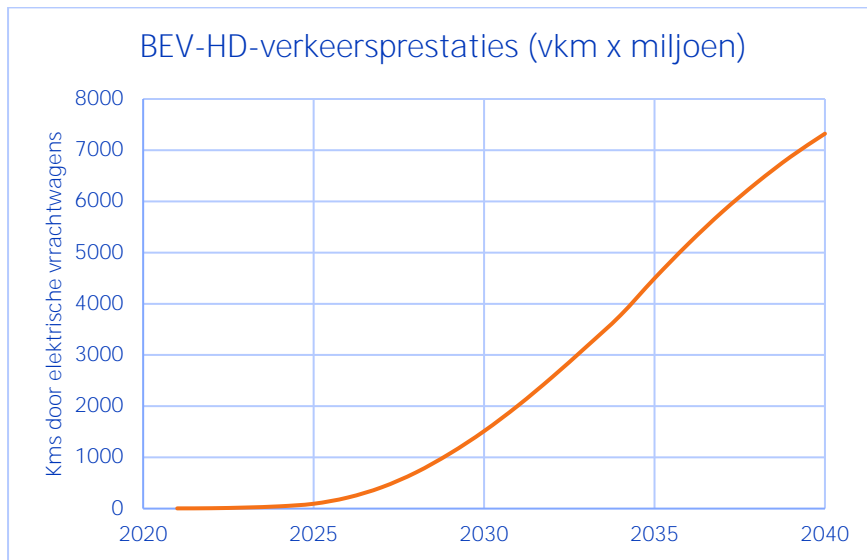
Gegeven de vele onzekerheden zijn naast het bovengenoemde basisscenario verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze zijn beschreven in paragraaf 3.2. Iedere gevoeligheidsanalyse kijkt op een onderdeel af van het basisscenario, maar de methode blijft in de kern vergelijkbaar.

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 TNO¹³. 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 factor¹⁴, zie Figuur 1.2.

¹³ TNO, t.b.d. werktitel 'how to model long term trends in fleet development'

¹⁴ Deze prognose is daarmee niet de KEV 2024 prognose voor voertuigkilometers van elektrische vrachtwagens.



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

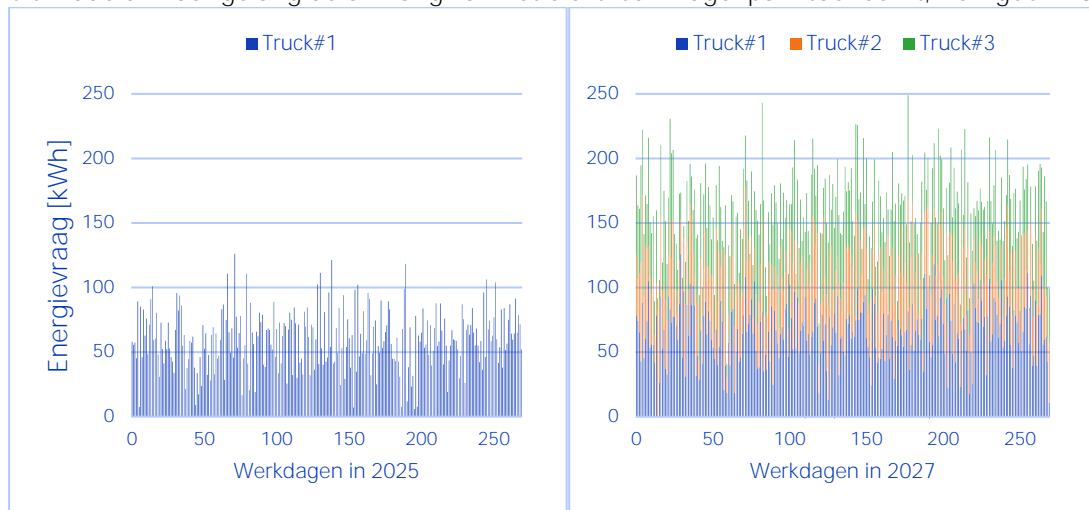
Ieder voertuig dat is toegewezen aan een bedrijf wordt om de vijf jaar opnieuw toegewezen. Ook kan een voertuig uitvallen waarna deze verdwijnt uit de vloot en daarmee ook niet langer onderdeel is van de analyse.

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 standaarddeviatie¹⁵. Vervolgens is op basis van het gemiddelde energieverbruik per voertuigtype zoals bepaald in eerder onderzoek¹⁶ 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.

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 een zelfde 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 een zelfde regionale netbeheerder gesitueerd zijn.

¹⁵ [TNO-2022-R11862](#)

¹⁶ [TNO-2022-P12044](#)

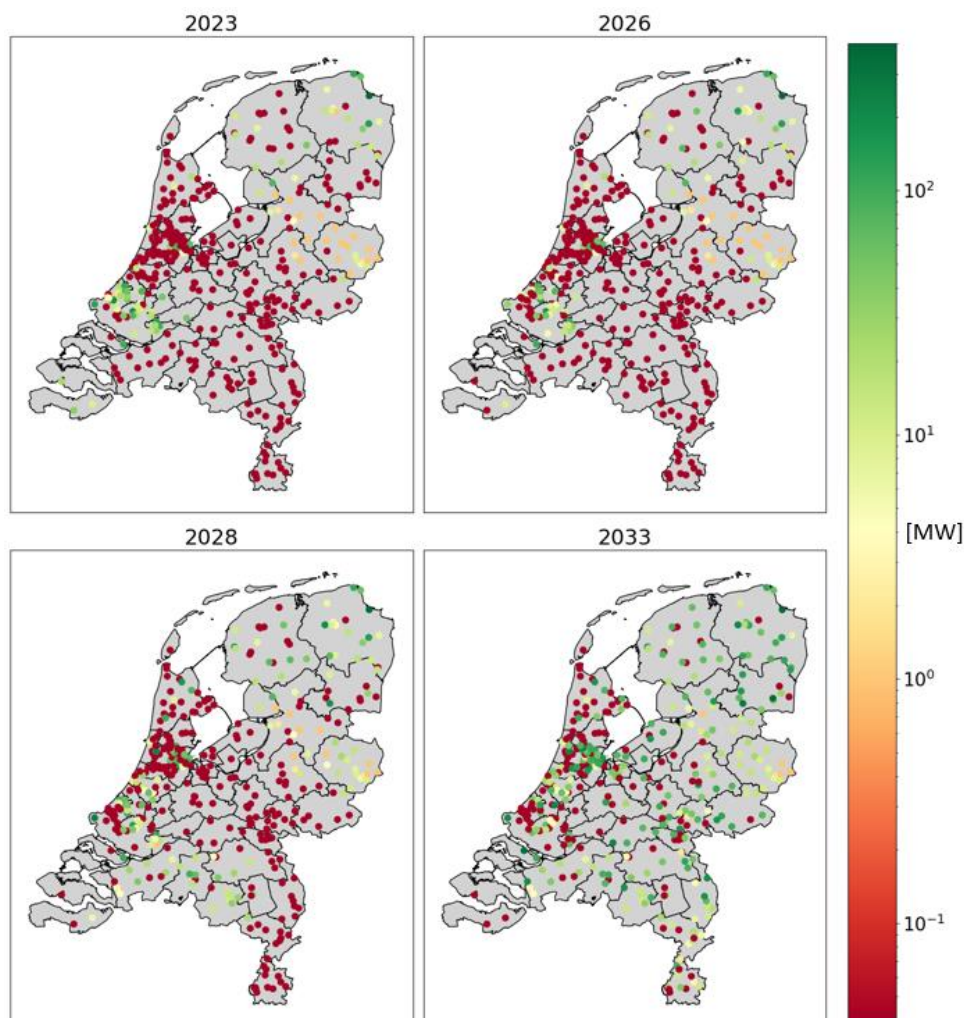
1.4 Resultaten

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).

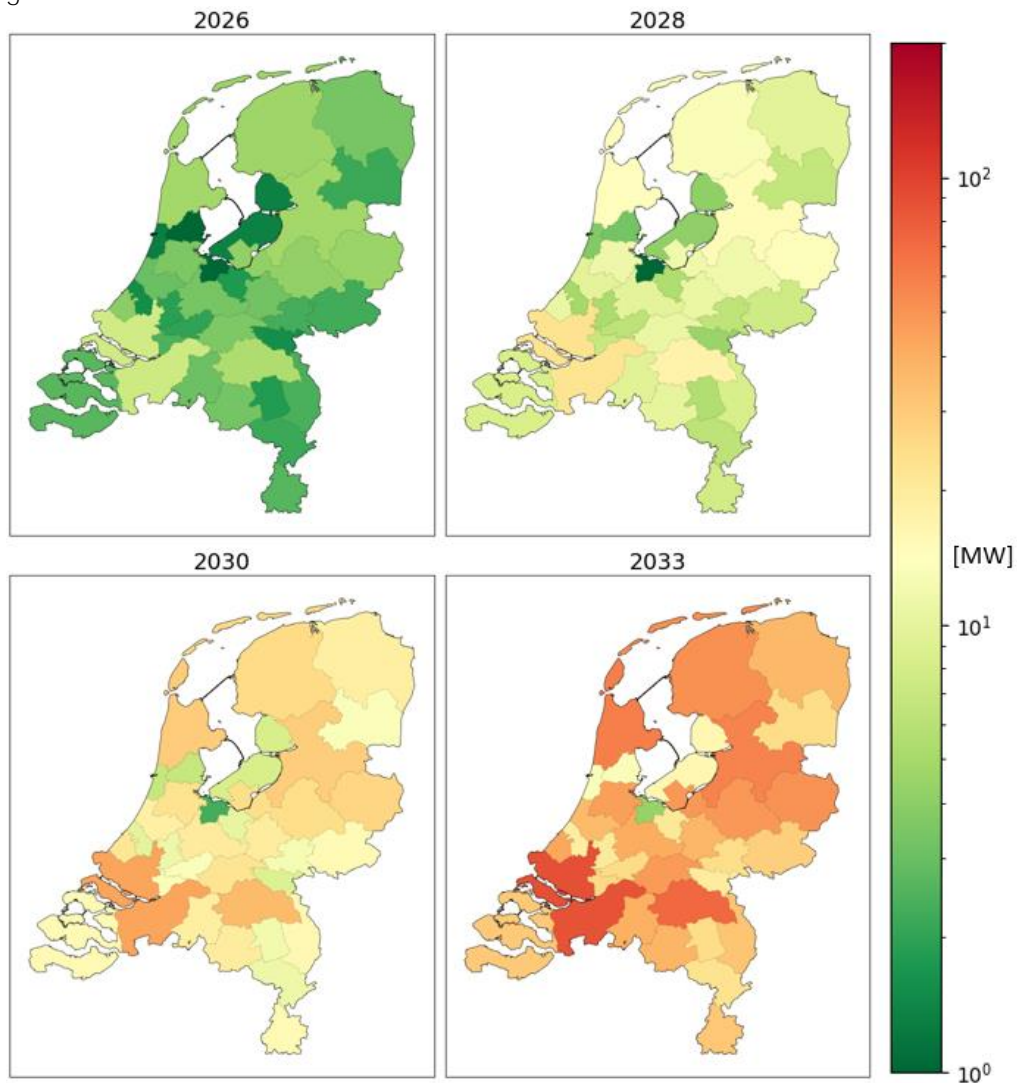


Figuur 1.4: Ontwikkeling van beschikbare capaciteit op onderstations (in MW, logaritmische schaal).

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

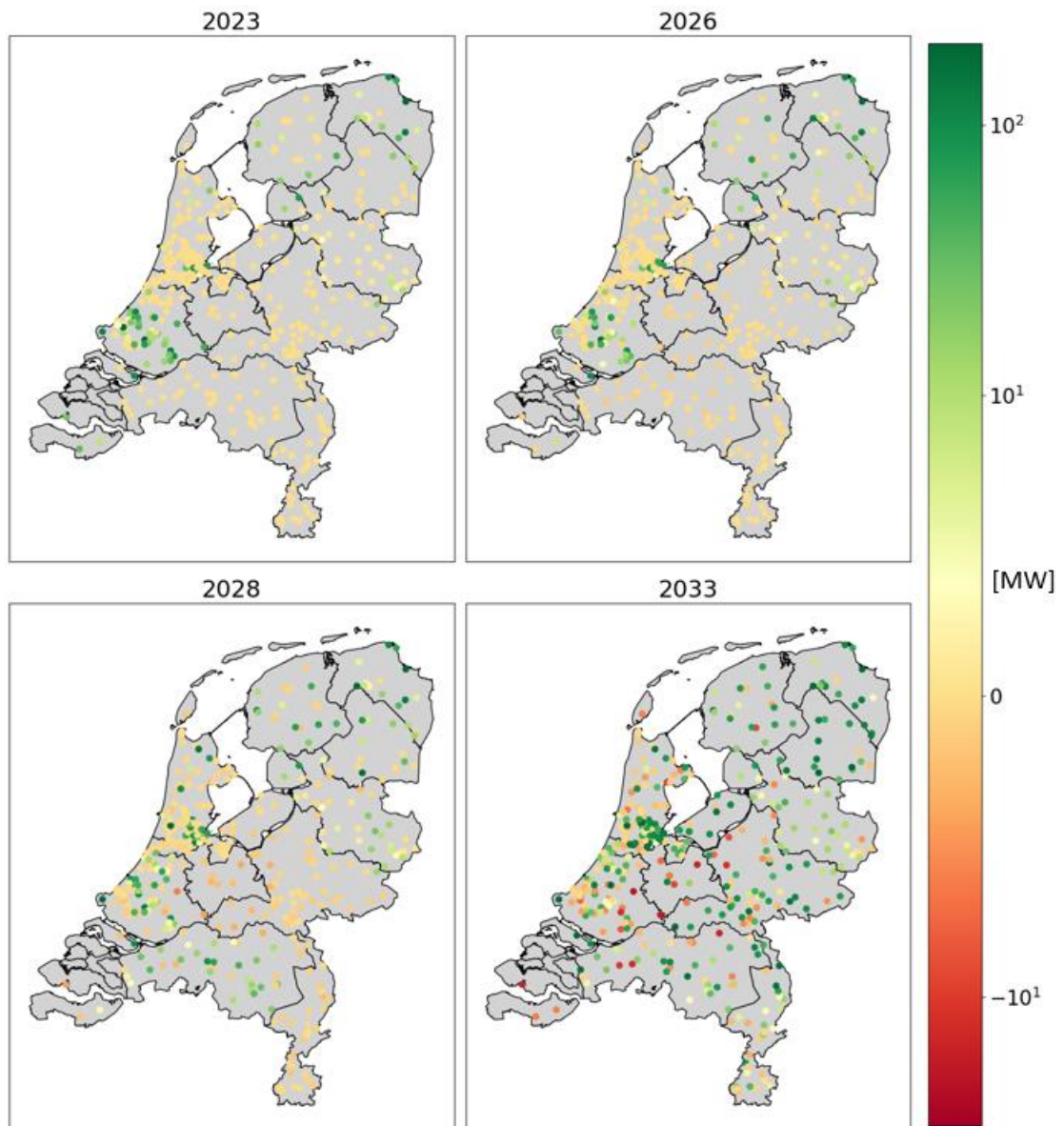
delen van Zuid-Holland, Brabant, Gelderland, Overijssel, Drenthe en Noord-Holland Noord. Het resultaat is een gevolg van de verdeling van logistieke bedrijven over de verschillende gebieden.



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

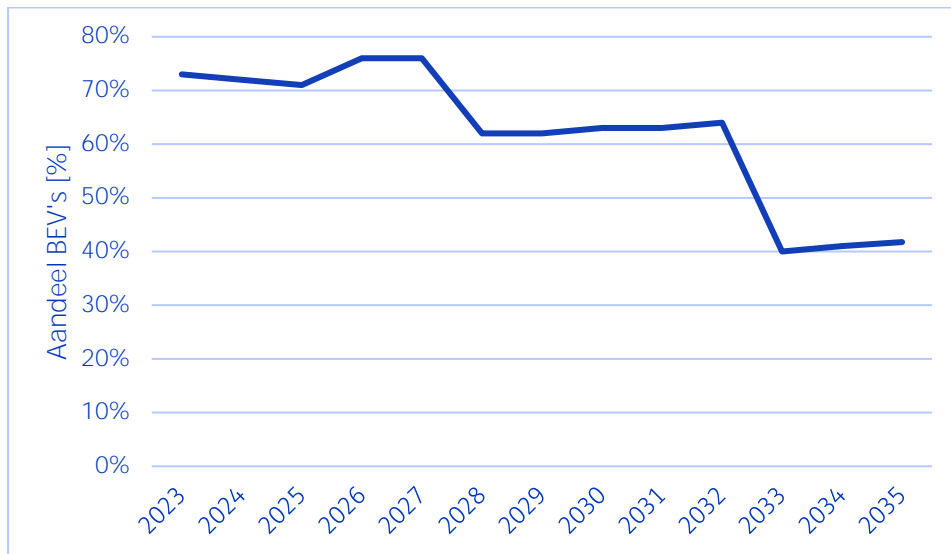
Energiebalans op onderstations

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.

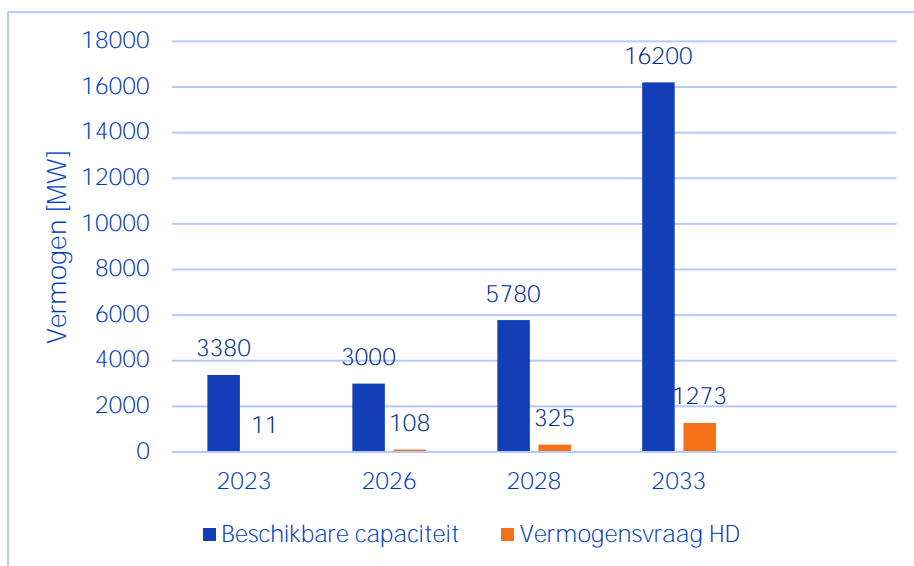


Figuur 1.6: Energiebalans op onderstations (in MW, logaritmische schaal). Vanaf een licht-oranje kleur is de balans negatief, wat betekent dat het onderstation overbelast is.

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 tijd¹⁷.



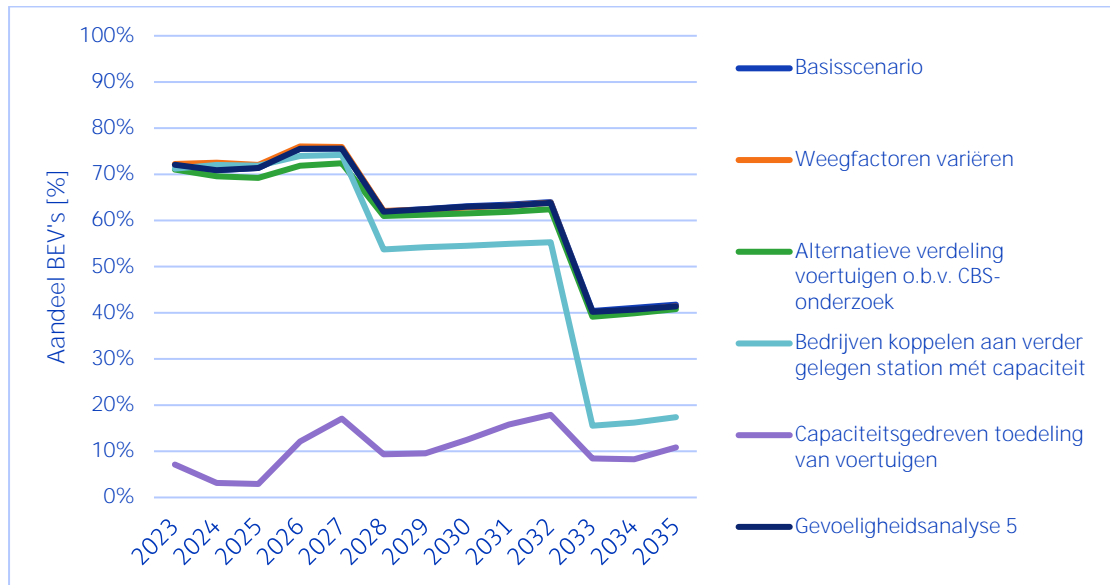
Figuur 1.8: Ontwikkeling van totaal beschikbare capaciteit vs vermogensvraag [MW].

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

¹⁷ 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.

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.



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.

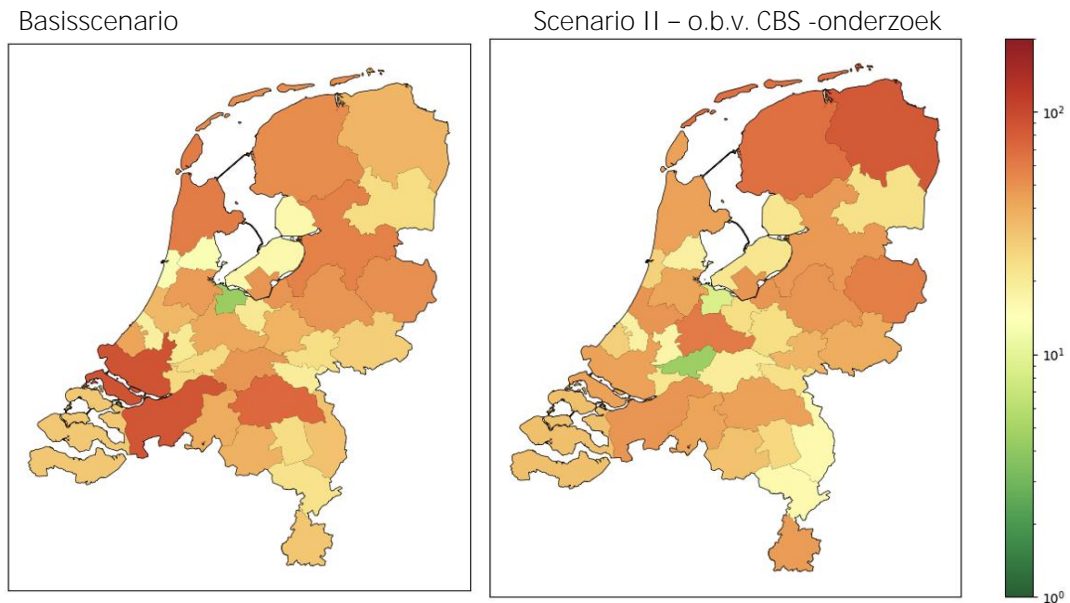
2. Alternatieve verdeling van voertuigen gebaseerd op CBS-onderzoek¹⁸

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').

¹⁸ [Rustplaatsen vracht- en bestelauto's | CBS](#)

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 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:

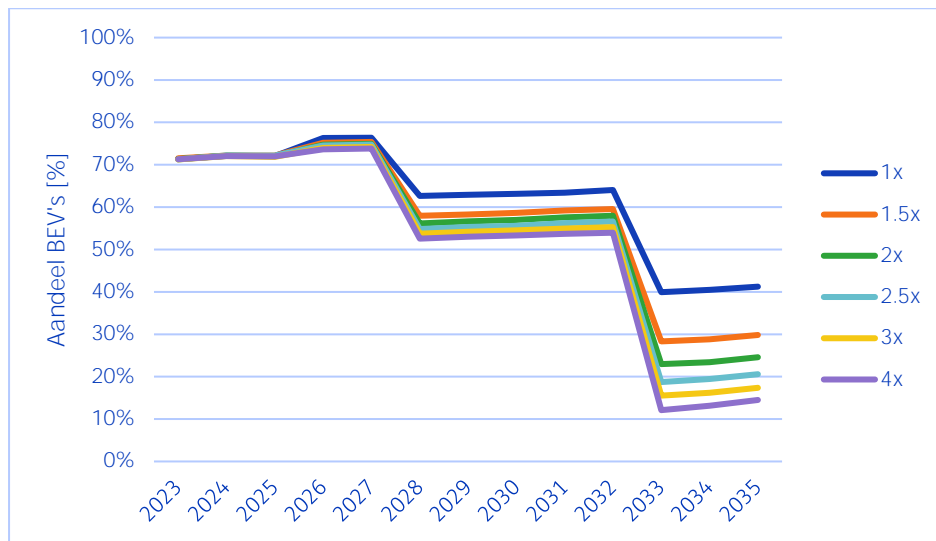
- De afstand tot het station met capaciteit beschikbaar is maximaal 3 maal de afstand tot het daadwerkelijk dichtstbijzijnde station. Dit om te voorkomen dat een groot deel van de voertuigen wordt toegewezen aan een locatie die geografisch niet aannemelijk is.
- De maximale afstand tussen een bedrijf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

Aditioneel 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.



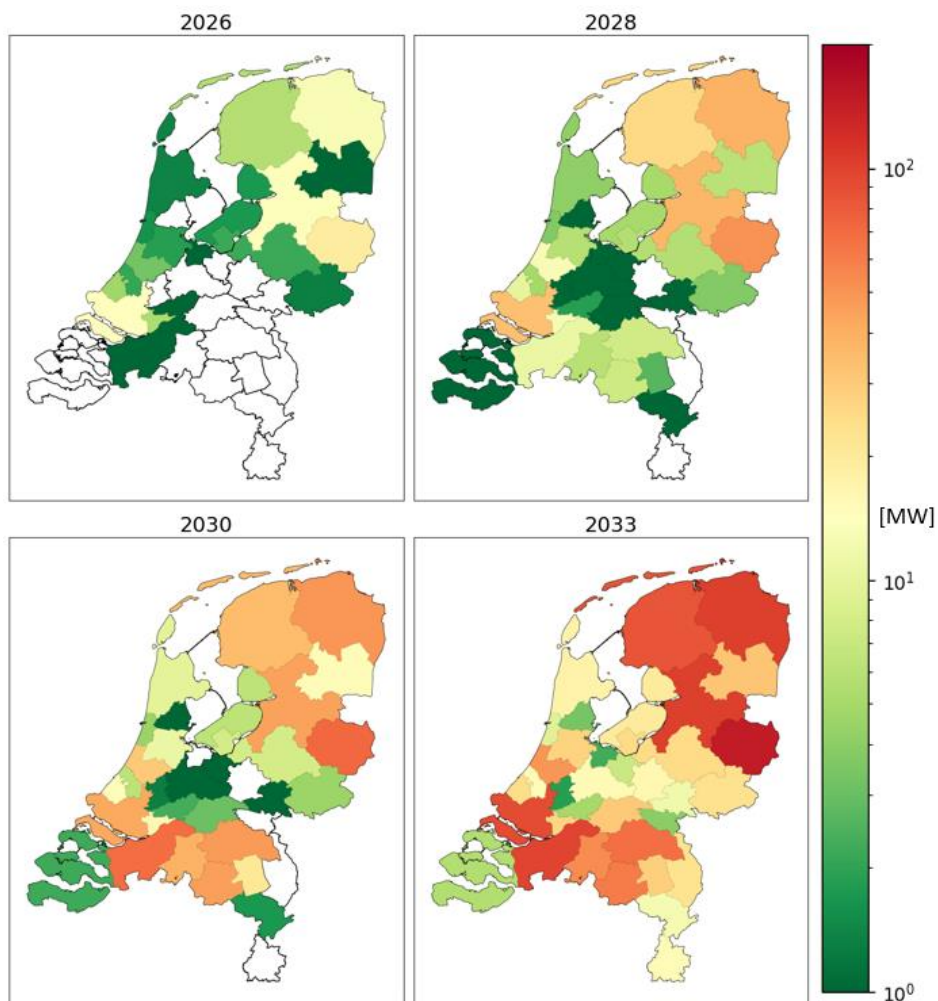
Figuur 1.11: Aandeel belemmerde voertuigen in de elektrische vloot over tijd bij variërende maximale relatieve afstand tussen onderstations met beschikbare capaciteit en bedrijven.

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

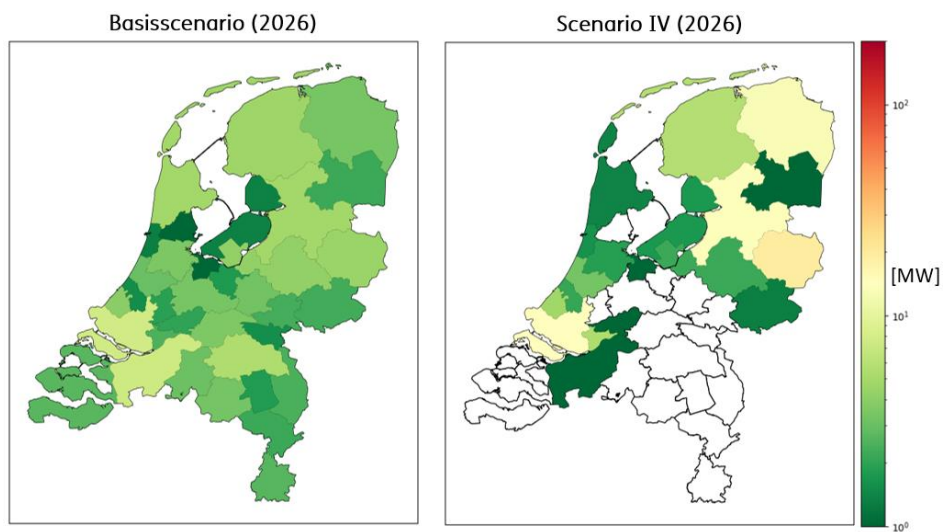
In deze gevoeligheidsanalyse wordt de aanpak van het basisscenario omgedraaid. Voertuigen worden niet eerst toegewezen aan bedrijven om vervolgens te controleren of dit technisch mogelijk is, maar in plaats daarvan worden voertuigen alleen toegewezen aan bedrijven waarvan het dichtstbijzijnde transformatorstation 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).



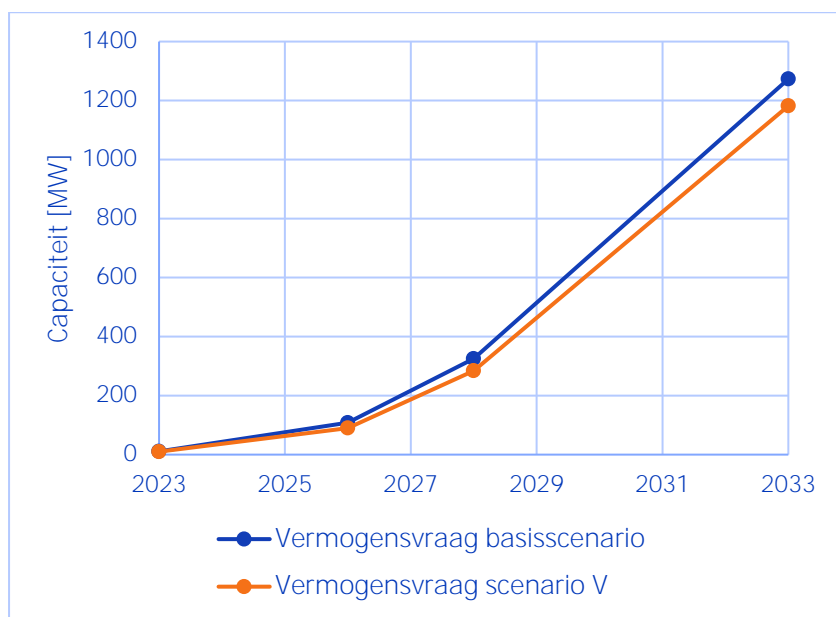
Figuur 1.13: Vermogensvraag per CBS gebied in 2026: basisscenario vs gevoeligheidsanalyse 4.

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 2023¹⁹ 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.

¹⁹ Elaad (2023), Analyse netimpact van elektrische mobiliteit. [Netimpact-analyse-mobiliteit-Totaal-excl-G4-juni-2023-def-3.pdf \(elaad.nl\)](https://www.elaad.nl/netimpact-analyse-mobiliteit-totaal-excl-g4-juni-2023-def-3.pdf)

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 nu 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 voornamelijk 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:

- Status en verwachte ontwikkeling van aandrijfttechnologieën 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 materialen²⁰. Brandstofceltechnologie vereist een hoge waterstofkwaliteit, een zuiverheid van 99,97%. In de AFIR²⁷ 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:


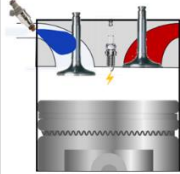
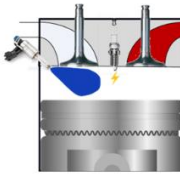
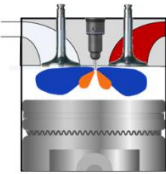
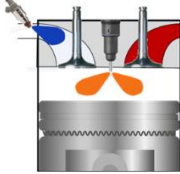
- Port Fuel Injection (PFI): een verbrandingsmotor waarbij waterstof wordt geïnjecteerd in de inlaatpoort.
- Low Pressure Direct Injection (LP-DI): een verbrandingsmotor waarbij waterstof direct in de verbrandingskamer wordt geïnjecteerd tijdens de compressieslag onder lage druk.

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.

²⁰ 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

²⁷ 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)	Hydrogen + Diesel (<< 90% 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 vrachtovervoertuigen. 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 gerediseerd²². 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 van²³:

- 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 vonkonthekingsmotoren (PFI, LP-DI) voldoen aan de zero-emissie definitie zoals vastgelegd in de herziening van de CO₂-emissionormen voor nieuwe vrachtwagens²⁴ (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 diesellovervoertuigen. Daarmee kan dit concept wel bijdragen aan de doelstellingen voor 2030 en 2035, maar kan deze technologie niet als zero-emissie worden geclassificeerd conform de definitie in de CO₂-richtlijn.

²² Seykens, X., Bekdemir, C. van Gompel, P., How can Hydrogen Combustion Engines Contribute to Realizing Climate Targets?, VDI-Berichte Nr. 2417, 2023

²³ Annex 1, punt 4.3.1. van Verordening 2024/1610

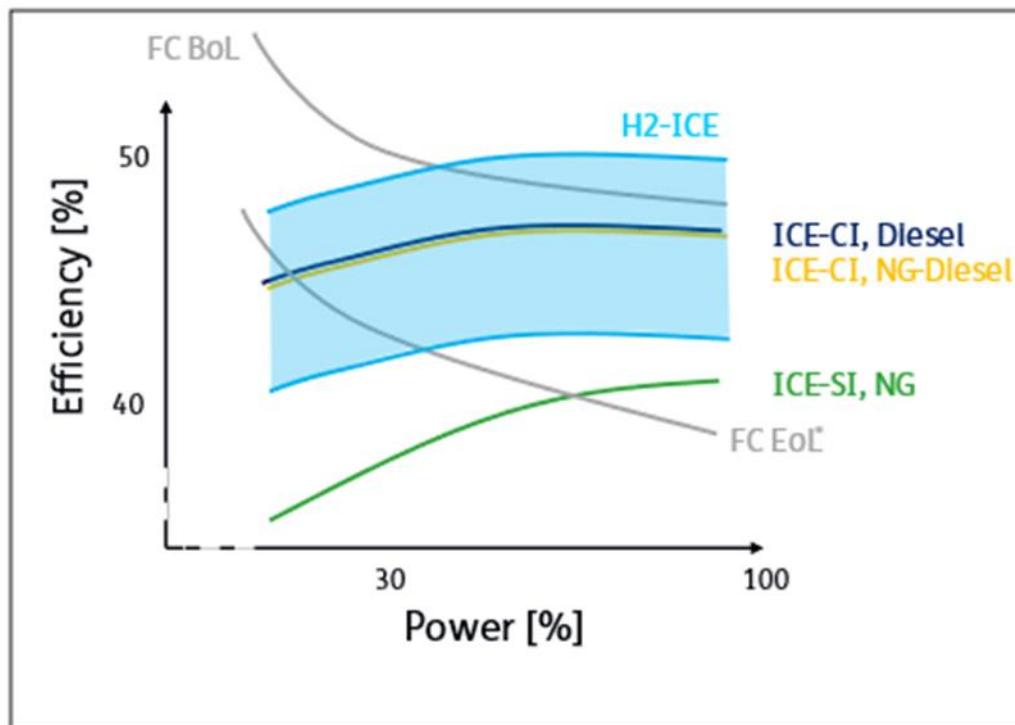
²⁴ [Regulation - EU - 2024/1610 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/Regulation?uri=CELEX:32024R1610&fromDoc=REGULATION&fromUri=REGULATION)

Vervuilende emissies (NO_x)

Alle waterstofverbrandingsmotorconcepten hebben de potentie om aan de Euro 7 emissiewetgeving²⁵ 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 (H_2 -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 dieselmotoren²⁶, zie Figuur 2.2.



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

²⁵ <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1257/oj>

²⁶ 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 koelsysteem²⁷. 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 starten²⁸.

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 km²⁹. 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 zijn³⁰. 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.

Waterstofbrandstofcel			Waterstofverbrandingsmotor		
Project	Regio	Startjaar	Project	Regio	Startjaar
DREAM2HAUL	NL	2021	H2-ICE Low Impact Engines	US	2022
HyLoad	NL	2020	HyMot	FR	2022

²⁷ 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

²⁸ [cellcentric startet Pilotfertigung von Brennstoffzellensystemen – cellcentric](#)

²⁹ [MAN breidt emissievrij aanbod uit met waterstoftruck | MAN Nederland \(man-nederland.nl\)](#)

³⁰ [Volvo komt met trucks met waterstofverbrandingsmotor \(volvotrucks.nl\)](#)

Waterstofbrandstofcel			Waterstofverbrandingsmotor		
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 2.1: 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-emissiehandelsysteem 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.

³⁷ 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.

De huidige 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-emissienormen voor zware voertuigen in Europa

In mei 2024 is de herziene CO₂-emissienorm 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 basisjaar³². 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 ICCT³³.

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

³² [Regulation - EU - 2024/1610 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\) art.4.3.1](#)

³³ [ID-130--EU-CO2_policy_update \(theicct.org\)](#)

- 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 druk³⁴.

Met de herziening van het TEN-T netwerk in 2024 zijn er een aantal wijzigingen doorgevoerd waardoor nu circa 1.400 kilometer³⁵ 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 26³⁶. 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.

³⁴ [Regulation - 2023/1804 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

³⁵ Deze 1.400 kilometer betreft dubbele rijrichting. Enkele rijrichting is ca. 700 km.

³⁶ [Trans-European Transport Network \(TEN-T\) - European Commission \(europa.eu\)](#)



Figuur 2.3: TEN-T core 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 WaterstofNet³⁷ 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)³⁸. 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

³⁷ [WaterstofNet | Home](https://WaterstofNet.nl)

³⁸ [Waterstof steeds beter alternatief voor rijden op batterij \(rvo.nl\)](https://Waterstof.steeds.beter.alternatief.voor.rijden.op.batterij.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.³⁹

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 trucks⁴⁰.

Om de directe inzet van waterstof te bevorderen zullen de certificaten die aangemaakt kunnen worden bij de raffinageroute, de zogenaamde raffinage-eenheden (RARE), een correctie-factor krijgen om te zorgen dat de directe inzet van waterstof en met waterstof

³⁹ Kamerbrief over voortgang implementatie RED-III vervoer: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-a827f2d98f081c56c97f99b5a97217af26bae602/pdf>

⁴⁰ Uitgaande van een gemiddeld jaarkilometrage van 142.500 km en een waterstofverbruik van 8.2 MJ / km.

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 2.2. Zowel batterij-elektrische als waterstofbrandstofcelvoertuigen komen in aanmerking. Het is onduidelijk hoe de aangekondigde 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 2.2: 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 2.3. De budgetten vanaf 2026 en verder zijn nog niet definitief⁴⁷.

Tabel 2.3: 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

⁴⁷ 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 Eurovignetrichtlijn⁴². Daarnaast wordt de tariefstelling conform de uitgangspunten benut om de introductie van zero-emissievoertuigen te stimuleren⁴³. Op basis van de conceptwetteksten beschikbaar ten tijde van schrijven wordt beoogt 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 tarieven⁴⁴ 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)⁴⁵. 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 gefinancierd⁴⁶.

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 toegestaan⁴⁷. 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-emissiezones⁴⁸. 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-opleggers⁴⁹. Ook zijn hierin vrijstellingen

⁴² [Richtlijn - 2022/362 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

⁴³ [Veelgestelde vragen | Vrachtwagenheffing.nl](#)

⁴⁴ [Documenten bij Wijziging Wet vrachtwagenheffing i.v.m. implementatie van de herziene Europese tolheffingsregels | Overheid.nl | Wetgevingskalender](#)

⁴⁵ <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D32879>

⁴⁶ [Voorbereiding invoering vrachtwagenheffing | Goederenvervoer | Rijksoverheid.nl](#)

⁴⁷ [Staatsblad 2019, 398 | Overheid.nl > Officiële bekendmakingen \(officielebekendmakingen.nl\)](#)

⁴⁸ 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.

⁴⁹ [Toegangsregels - Op weg naar ZES](#)

en ontheffingen geregeld⁵⁰. Zo kunnen er voor een voertuig dat geweerd wordt 12 dagontheffingen per gemeente per jaar aangevraagd worden⁵¹.

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 internetconsultatie⁵².

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 2.4. Gedurende de 5-jarige looptijd kunnen dan minimaal 58 aanvragen worden gegund.

Tabel 2.4: 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.

⁵⁰ [Vrijstellingen en ontheffingen - Op weg naar ZES](#)

⁵¹ In het 'Hoofdlijnenakkoord' van de aankomende regering is aangekondigd te onderzoeken hoe de invoering van de zero-emissiezones kan worden uitgesteld⁵¹. 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.

⁵² [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 2.5.
- 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 potentieelschatting 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 zijn⁵³.

Tabel 2.5: Subsidiebedragen en percentages SWIM

Voertuigcategorie		Maximaal subsidiebedrag [k€]	Maximaal subsidiepercentage
N1 [bestelwagen]		50	80 % meerkosten
N2 [3.5 ton < GVW ⁵⁴ < 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 \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/euro-transport/eu-ets2)). 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

⁵³ 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.

⁵⁴ 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 worden⁵⁵.

De prijzen van waterstof (en elektriciteit) worden niet (direct) worden beïnvloedt 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 studies⁵⁶ 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 belastingen⁵⁷ van vrachtwagens met verschillende aandrijflijnen. Ter illustratie is in Figuur 2.4 de ontwikkeling van de voertuigprijzen opgenomen voor een trekker-opleggercombinatie (VECTO group 5⁵⁸) in 2020, 2030 en 2040 op basis van een diesel-, waterstofverbranding- (H₂-ICE) en een brandstofcelconcept (FCEV). De diesel-, brandstofcel- en batterij-elektrische

⁵⁵ [Impactanalyse ETS-II opt-in \(wur.nl\)](#)

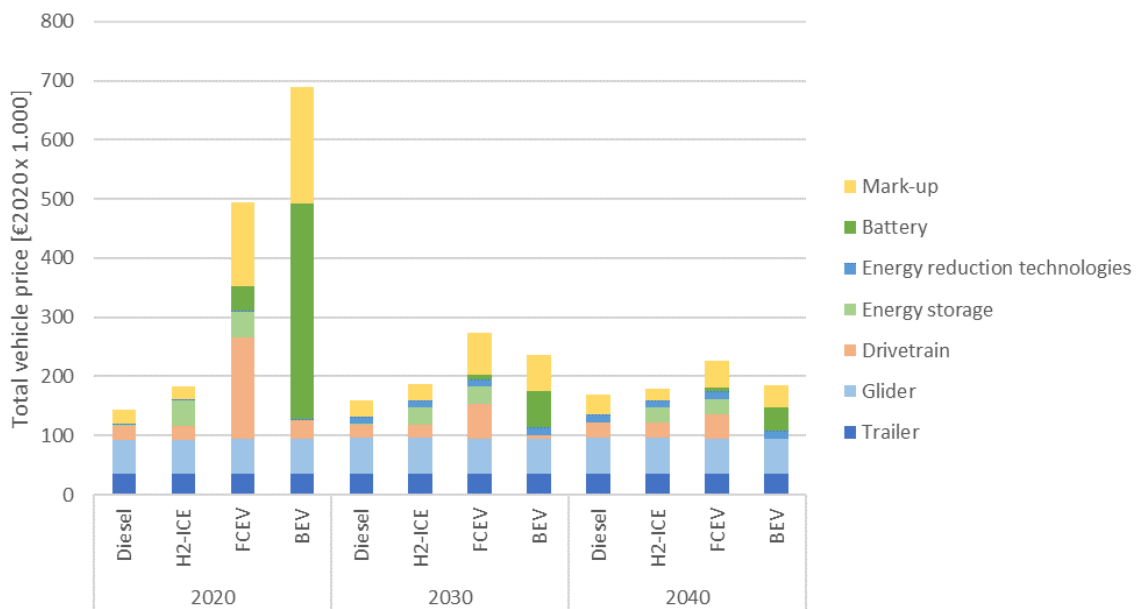
⁵⁶ tno.nl/publish/pages/3655/tno_2022_r11862 techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in europe.pdf

⁵⁷ 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 voertuigprijzen 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.

⁵⁸ [201811 overview_en.pdf \(europa.eu\)](#)

voertuigen zijn gebaseerd op de ‘articulated long haul truck’ uit eerder TNO onderzoek⁵⁹. 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.

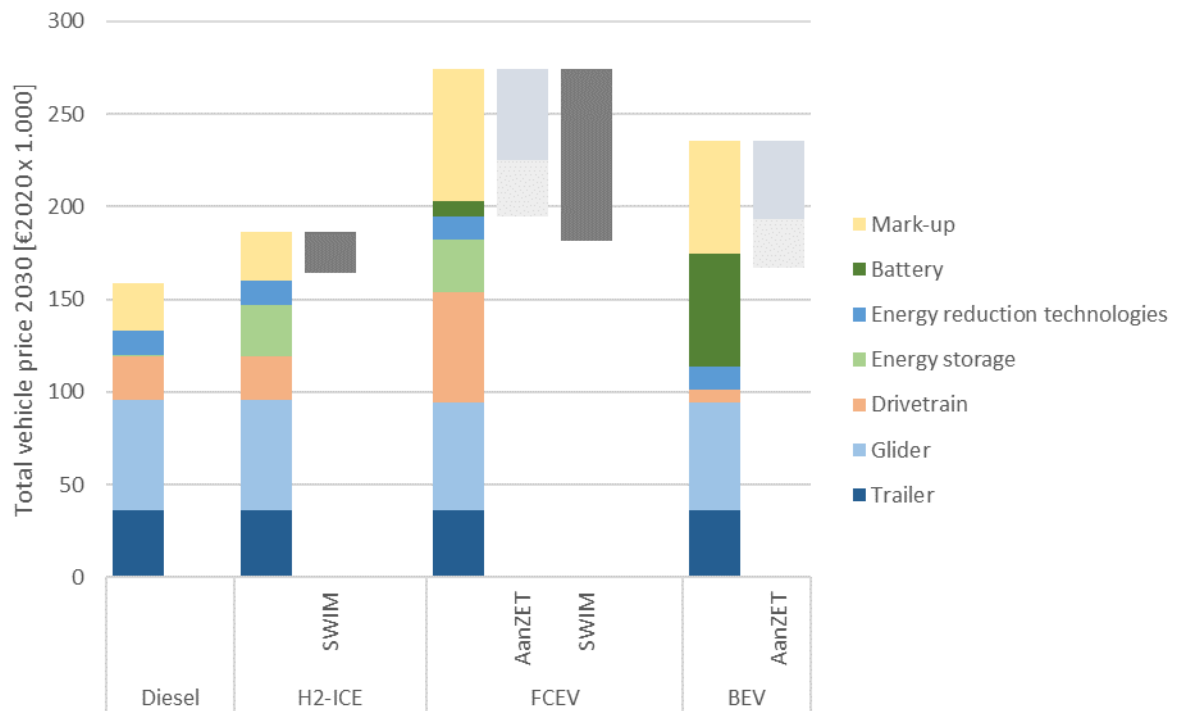
Voor het waterstofverbrandingsconcept is uitgegaan van een zelfde voertuigdefinitie (vermogen, etc.) als voor diesel, voor de prijs is uitgegaan van een dieselveertuig met als aanpassing dat het voertuig in plaats van met een dieseltank met een waterstoftank uitgerust is. Dit is naar verwachting een 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.

⁵⁹ [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 zijn⁶⁰. 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%⁶¹. Dit is lager dan de zuiverheid die in de AFIR wordt geëist, namelijk 99,97% zoals vastgelegd in EN 17124:2022⁶². 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 andere kant is rijden op waterstof minder energie-efficiënt waardoor er meer elektriciteit

⁶⁰ [Final STRIVE Report 2023 SmartPort TNO.pdf](#)

⁶¹ Indicative quality and temperature specification for Hydrogen Network Netherlands

⁶² 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.

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 vertragen⁶³.

2.6.5 Waterstofprijs

Gegeven de hogere voertuigkosten en de relatief gelijkaardige aandrijflijnefficiëncy 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 2050⁶⁴(groene waterstof).

In 2022 is onderzoek door TNO gepubliceerd met een bandbreedte voor de productiekosten van groene waterstof⁶⁵ (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/kg⁶⁶ geeft dit een bandbreedte voor de prijs aan de pomp van ruim €6-7/kg in 2030. Meer recent is onderzoek door TNO gepubliceerd⁶⁷ 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 productiefaciliteit⁶⁸. Deze kosten zijn significant hoger dan de eerder gebruikte projecties uit 2022⁶³. 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 nodig om robuuste uitspraken te kunnen doen over de ontwikkeling van waterstofprijzen en de impact daarvan op de ingroeipotentie van voertuigen met waterstof als energiedrager.

⁶³ [TNO 2019 R11705 Rapport behoefte alternatieve energiedragers.docx](#)

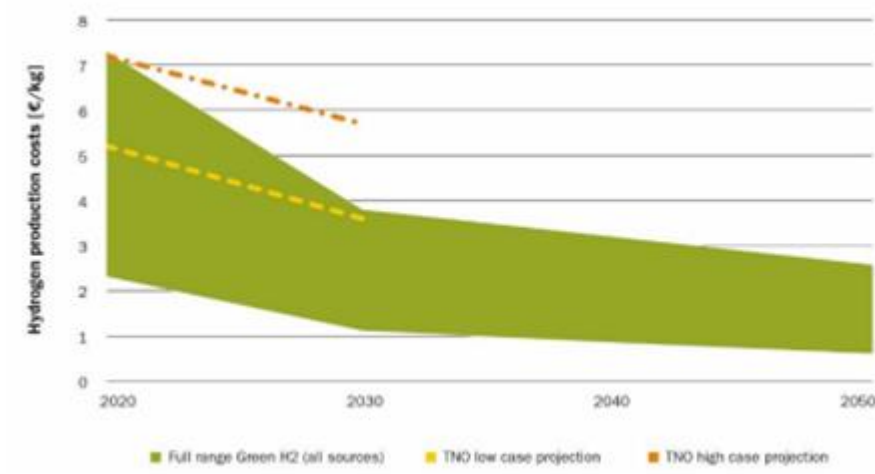
⁶⁴ [tno_2022_r11862 techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in europe.pdf](#) & [Final STRIVE Report 2023 SmartPort TNO.pdf](#)

⁶⁵ [TNO-2022-P10332.pdf](#)

⁶⁶ [Final STRIVE Report 2023 SmartPort TNO.pdf](#)

⁶⁷ [Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in The Netherlands: Renewable Hydrogen Cost Element Evaluation Tool \(RH₂CEET\) \(tno.nl\)](#)

⁶⁸ [Evaluation of the levelized cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands \(tno.nl\)](#)



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 getankt⁶⁹, 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').

Aankondigingen 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.

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

⁶⁹ [Overzicht Waterstoftankstations H2BeNeLux \(waterstofnet.eu\)](https://waterstofnet.eu)

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

Auteurs: Pim van Mensch, Annette Rondaij

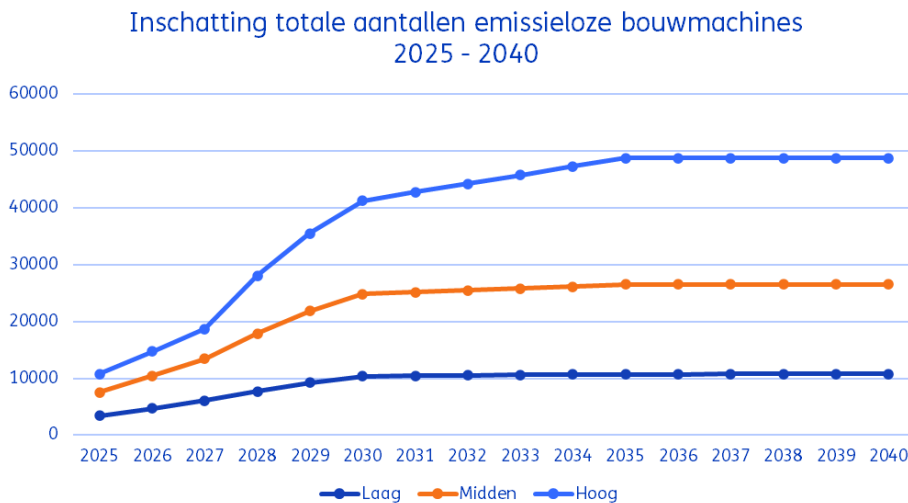
3.1 Samenvatting

PBL heeft TNO gevraagd om voor de KEV 2024 een inschatting te geven van de ingroei van emissieloze machines 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 worden door PBL tot vastgesteld beleid gerekend. Concreet gaat het om:

- De SEB subsidieregelingen, bedoeld om een deel van de meerkosten van emissieloze bouwmachines te dekken (Subsidierегeling 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.

Figuur 3.1 geeft de inschatting van het aantal emissieloze bouwmachines in de periode 2025 – 2040 als gevolg van de hierboven genoemde beleidsmaatregelen. In 2030 wordt het aantal emissieloze bouwmachines geschat op 10.000 – 41.000. De bandbreedte geeft een grote onzekerheid aan. Dit is 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. Het minimumniveau van de Routekaart is bedoeld als invulling daarvan. 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 hoe toezicht en handhaving gaat plaatsvinden.



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

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 vliegtuigen⁷⁰. NRMM is een relevante bron van zowel CO₂ als luchtverontreinigende stoffen. Het doel van dit hoofdstuk is om de belangrijkste inzichten en beleidseffecten in de sector NRMM en de invloed hiervan op de groei van emissieloos materieel te duiden. De scope van dit hoofdstuk is echter specifiek dan de algemene definitie van NRMM en richt zich uitsluitend op de emissies van mobiele werktuigen in de bouw (bouwmachines). Voor deze categorie mobiele werktuigen 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 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 Routekaart⁷² en een Convenant⁷³ 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 een onderdeel van SEB de Subsidieregeling Schoon en Emissieloos Bouwmaterieel (SSEB)⁷⁴. SSEB is bedoeld om de aanschaf van en ombouw naar emissieloos⁷⁵

⁷⁰ 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.

⁷¹ De veel gebruikte Nederlandse term “mobiele werktuigen” beslaat slechts een deel van het NRMM park, namelijk alle NRMM machines, maar dan zonder schepen, treinen en vliegtuigen (Ligterink et al., 2018).

⁷² <https://cdn.opwegnaarseb.nl/media/Routekaart%20SEB%20-%20definitief.pdf>

⁷³ <https://www.opwegnaarseb.nl/convenant>

⁷⁴ <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sseb>

⁷⁵ 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.

en emissiearm⁷⁶ bouwmaterieel (bouwwerktuigen, 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)⁷⁷ en de “SEB-middelen Aanbestedende rijkdiensten”⁷⁸.

PBL heeft TNO gevraagd om voor de KEV 2024 een inschatting te maken van de ingroei van 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 Bouwmaterieel (SSEB)
 - Specifieke uitkering Schoon Emissieloos Bouwen medeoverheden (SPUK SEB)
 - SEB-middelen aanbestedende rijkdiensten.

Al deze beleidsmaatregelen worden in de KEV2024 tot het vastgestelde beleid gerekend. 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.

Dit hoofdstuk draagt bij aan de onderbouwing van de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV 2024). Begin 2025 wordt dit hoofdstuk uitgebreid met een sectie over luchtverontreinigende stoffen, ter onderbouwing van de dan door PBL te publiceren emissieramingen voor luchtverontreinigende stoffen (ERL25).

Toegepaste modellen

Om de effecten van de subsidieregelingen en de Routekaart te berekenen zijn het Emissiemodel mobiele machines (EMMA-model⁷⁹) en het prognosemodel MEPHISTO (Dellaert, 2023, Hulskotte, 2016) gebruikt. Het EMMA-model wordt gebruikt voor de modellering van de landelijke emissiecijfers voor mobiele werktuigen⁸⁰). MEPHISTO⁸¹ raamt toekomstige emissies en sluit naadloos aan op EMMA. PBL gebruikt dit model ook voor de emissieramingen voor mobiele werktuigen.

Leeswijzer

Paragraaf 3.3 en 3.4 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 3.5 de totale geschatte ingroei van emissieloos materieel.

⁷⁶ In de regeling gaat het om de installatie van een SCR-systeem (een nabehandelingssysteem voor selectieve katalytische reductie) op een motor van een bouwwerktuig 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>

⁷⁷ <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/spuk-seb>

⁷⁸ <https://www.opwegnaarseb.nl/instrumenten>

⁷⁹ 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.

⁸⁰ <https://www.emmissieregistratie.nl/>

⁸¹ Dellaert et al. (2023). EMMA – MEPHISTO model Calculating emissions for Dutch NRMM fleet

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-katalysator⁸² of een emissieloze aandrijflijn. De Innovatieregeling is een kennisprogramma voor haalbaarheidsstudies en experimentele projecten op het gebied van praktijkervaring of technische ontwikkelingen van emissieloze bouwmachines en de benodigde infrastructuur. SSEB Innovatie ondersteunt daarmee indirect SSEB Aanschaf en SSEB Retrofit, omdat het aanbod van machines en de toepasbaarheid daarvan (bijvoorbeeld door verbeterde infrastructuur) potentieel verbeterd wordt. 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 beschikbaar gesteld om die meerkosten (deels) te kunnen dekken.

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 KEV2024. 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

⁸² Een SCR (Selective Catalytic Reduction) katalysator verlaagt de uitstoot van stikstofoxiden.

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.

Tabel 3.1: Aangehouden SSEB-budgetten van 2024 t/m 2030 voor bouwwerktuigen en hulpfuncties op basis van Factsheet Stikstofmonitor Maatregelen Bouw⁸³ (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

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 2023⁸⁴ 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. 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

⁸³ 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>

⁸⁴ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-04/Realisatiegegevens%20SSEB%20regeling%202023.pdf>

de beginjaren is de meerprijs van elektrisch materieel hoog vanwege relatief kleine oplages en de relatief hoge kosten van het accupakket. Ervanuit gaande dat de meerprijs van elektrisch materieel in 2030 alleen bestaat uit de accukosten, wordt ingeschat dat de aanschafkosten van elektrisch materieel met ca. 6% per jaar daalt. 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 was⁸⁵, en het in 2023 ook volledig is besteed, is de aannahme gedaan dat het SSEB budget ook in de komende jaren volledig benut wordt. Een extra onderbouwing voor deze aannahme is dat de druk op de bouwsector om te verduurzamen momenteel 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 Calculator⁸⁶ 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.⁸⁷ 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 meerjarenstappenplan 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

⁸⁵ <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2023D00713>

⁸⁶ Een rekeninstrument dat de toestemmingsverlening onder de Omgevingswet ondersteunt, zie www.aeriusproducten.nl

⁸⁷ Bron: <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/technische-bouwactiviteit/emissiereductieplicht-bouwen-slopen/emissiereductieplicht/>

SSEB verdubbeld vanuit de budgetten voor Aanbestedende diensten en SPUK (terwijl de 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 V⁸⁸) 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.

Ingroei ZE na 2030

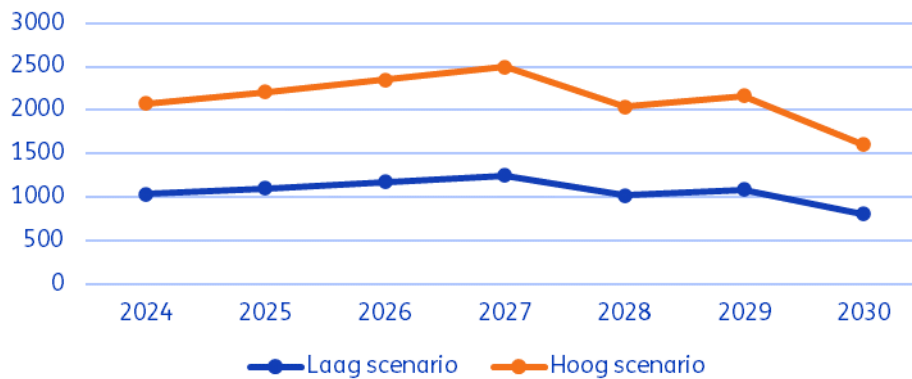
Er is op dit moment geen goed beeld van wat er in de markt gebeurt als er na 2030 geen aanschafondersteuning meer zou zijn voor emissieloos materieel. De markt is daarvoor op dit moment nog te pril. Vaak wordt de eerste marktintroductie van schone technologie gesubsidieerd en worden uiteindelijk wettelijke normen ingevoerd, die op termijn de inzet van schone technologie verplicht stellen of afdwingen (zoals bij elektrische personenauto's het geval is), waarna subsidies na verloop van tijd worden afgebouwd. Voor zover bij ons bekend zijn er op dit moment in de EU of in Nederland geen plannen in voorbereiding voor dergelijke wettelijk vastgestelde normering. Daarnaast lopen bijvoorbeeld de afspraken in het SEB Convenant tot en met 2030. Dit maakt dan ook geen onderdeel uit van het vastgestelde en voorgenomen beleid in de KEV2024. 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 groei 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.

3.3.2 Ingroei aantal emissieloze bouwmaschinen

In Figuur 3.2 staat de inschatting van de jaarlijkse groei van het aantal emissieloze machines dat vanuit de subsidiebudgetten wordt aangeschaft. Dit is gebaseerd op de subsidiebudgetten in Tabel 3.1 en de hierboven omgeschreven uitgangspunten. De vloot groeit hierdoor met ca. 7.500 – 15.000 emissieloze werktuigen t/m eind 2030.

⁸⁸ [Verordening \(EU\) 2016/1628](#)

Inschatting jaarlijkse ingroei van het aantal emissieloze bouwmachines vanuit de SEB subsidieregelingen



Figuur 3.2 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 machinetypes en motorvermogens in volgende jaren hetzelfde zijn. De daadwerkelijke aantallen kunnen daarom afwijken van de getallen die in Figuur 3.2 worden getoond.

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 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 voor NRMM is 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. Details rondom de emissie-eisen worden in de betreffende paragraaf verder toegelicht.

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 3.4.1 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 3.4.1 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%
Percentage ZE verricht arbeid in een project, draaluren 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 is momenteel nog niet gespecificeerd in de wettekst. Ook is het beoordelingskader momenteel 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”*.⁸⁹

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 convenanten juridisch moeilijk kan worden afgedwongen en belangen van niet-deelnemende partijen niet worden behartigd, is de effectiviteit van het Convenant onzeker.

⁸⁹ <https://vastgoed-advocaten.nl/2023/11/een-nieuwe-stikstofreductieplicht-voor-projectontwikkelaars-onder-de-omgevingswet-2/>

Het juridisch kader lijkt daarom beperkt tot vergunningsplichtige activiteiten en eisen in nieuwe openbare aanbestedingen.

Voor een deel van de bouwsector worden de eisen mogelijk pas later van kracht. Het is 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 inwerkingtreding van de Routekaart al lopend of reeds vergund waren. Hoe groot dit aandeel op dit moment is, is niet bekend.

3.4.2 Uitgangspunten voor de berekeningen

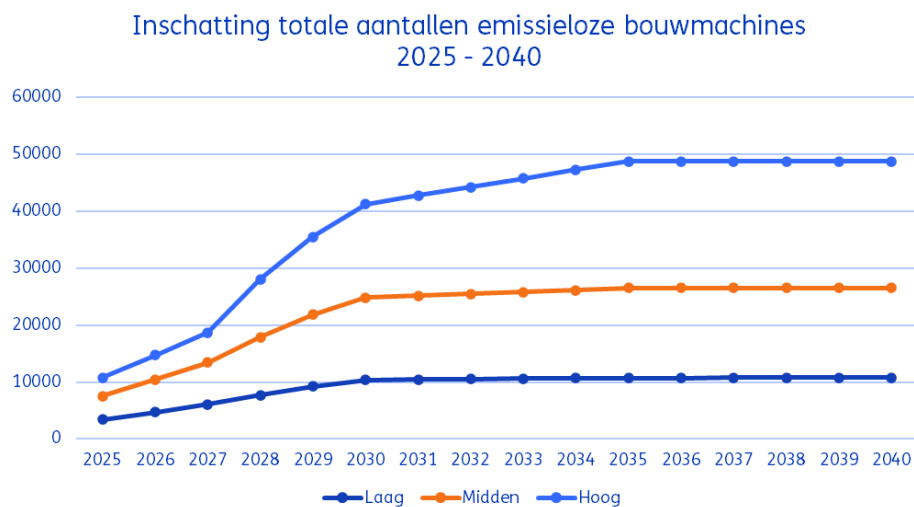
Voor het inschatten van het effect van de Routekaart is eerst een inschatting gemaakt van het aantal benodigde emissieloze machines om aan de maatregelen uit de Routekaart te voldoen. Vervolgens is geschat wat de mate van opvolging is van de maatregelen uit de Routekaart. Deze paragraaf beschrijft enkele belangrijke uitgangspunten die zijn meegenomen in de inschatting van het effect van de Routekaart SEB op de ingroei van 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 bouwmaschinen.
- Er wordt voor het ambitieuze niveau geen extra ingroei van emissieloos materieel berekend. Dit is vanuit de aanname dat hier de middelen vanuit de subsidieregelingen voor de Aanbestedende diensten en SPUK voor worden gebruikt.
- Het basisniveau is, zoals in paragraaf 3.4 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.
- De mate van toezicht en handhaving op de eisen van de routekaart 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.
- Gegeven de hierboven genoemde onzekerheden is een bandbreedte aangenomen over het additionele effect van de Routekaart ten opzichte van de subsidieregelingen. In deze bandbreedte draagt de Routekaart SEB, bovenop 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 bouwmaschinen en in 2035 tussen circa 25% en 70%.

3.5 Uitkomsten

Figuur 3.3 laat voor drie scenario's de inschatting zien van het 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 emissieloze bouwmachines geschat op 10.000 – 41.000.

De finale ramingen van het effect van de beleidsontwikkelingen op de CO₂-uitstoot worden door PBL uitgevoerd.



Figuur 3.3 Inschatting van de totale aantallen emissieloze bouwmachines als gevolg van de beleidsontwikkelingen vanuit het programma SEB in de periode 2025 – 2040.

3.5.1 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 groei 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 is⁹⁰.

De ingangsdatum van de eerste periode van de Routekaart SEB was 2023. Partijen krijgen implementatietijd om de eisen uit de Routekaart toe te passen. Momenteel is niet bekend hoeveel tijd hiervoor nodig is. Wel zal op relatief korte termijn een hoog aandeel van de

⁹⁰ Bron: TNO. (2023) Transitiepaden Schoon en Emissieloos Bouwen (SEB). TNO 2023 R11035.

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. Daarnaast is het van belang dat er voldoende tank- en laadinfrastructuur beschikbaar is (op uiteenlopende bouwplaatsen en bouwlocaties) en dat het Nederlandse stroomnet is berekend op de energie- en vermogensvraag. Gezien de knelpunten die nu al optreden in het elektriciteitsnet op verschillende plekken in Nederland is dat niet vanzelfsprekend, 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.

Tot slot, strenge eisen vragen om een goede handhaving en daarmee een goede registratie (wat er momenteel niet is). Hoe (en door wie) wordt dat opgepakt? En binnen welk wettelijk kader kan dit verplicht gesteld worden? Omdat deze vragen nog niet beantwoord worden zijn in de Routekaart SEB, is er door deze vrijblijvendheid een onzekerheid over de haalbaarheid van de emissiereductiedoelen. Deze onzekerheid is in de uitgangspunten voor de berekeningen meegenomen in een bandbreedte.

Energy & Materials Transition

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam
www.tno.nl

TNO innovation
for life