

Effecten van netcongestie en mitigerende maatregelen op de adoptie van elektrische vrachtwagens

TNO-2026-17724 – 28 augustus 2026

Effecten van netcongestie en mitigerende maatregelen op de adoptie van elektrische vrachtwagens

Auteurs	M.J. Zult, M.M.J.F. Verbeek, A.R.A. Eijk
Rubricering rapport	2026-STL-RAP-100362584
Aantal pagina's	39 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	PBL
Projectnaam	PBL Sustainable Mobility
Projectnummer	060.65609

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.

© 2026 TNO

Samenvatting

PBL heeft TNO gevraagd om inzicht te verschaffen in de invloed van netcongestie en mitigerende maatregelen op de adoptiesnelheid van elektrische vrachtwagens in Nederland tussen nu en 2040. Dit is een vervolg op een eerdere studie die TNO heeft uitgevoerd in het kader van de KEV 2024. Hiervoor is gebruik gemaakt van een door TNO ontwikkeld wagenparkmodel. Met dit model wordt voor elk individueel voertuig bepaald op welk moment het wordt vervangen door een nieuw voertuig en of het nieuwe voertuig is uitgerust met een diesilverbrandingsmotor of met een batterij-elektrische aandrijving.

De modelanalyses zijn bedoeld om de impact van netcongestie op de adoptiesnelheid van elektrische trucks te verkennen. De modeluitkomsten in dit rapport zijn niet integraal overgenomen in de KEV 2026, maar als input gebruikt in het gebruikte rekeninstrumentarium van de KEV 2026.

De adoptiesnelheid is bepaald voor verschillende scenario's.

Deze zijn in te delen in vijf typen, te weten:

- Het referentiescenario waarin is bepaald hoe de adoptie zich zou ontwikkelen indien netcongestie geen beperkende factor zou zijn. Dit scenario is bedoeld om de relatieve impact van netcongestie en mitigerende maatregelen op de adoptiesnelheid inzichtelijk te maken;
- Een baselinescenario waarin logistieke partijen alleen de resterende capaciteit van hun bestaande gecontracteerde vermogen kunnen gebruiken voor het laden van de vrachtwagens. Uitbreiding van het bestaande contract is in dit scenario niet mogelijk. Dit geeft een beeld van de adoptie die minimaal mogelijk is;
- Scenario's waarin logistieke bedrijven hun bestaande gecontracteerde capaciteit maximaal benutten door het toepassen van mitigerende maatregelen om het opladen van elektrische vrachtwagens mogelijk te maken ('a'-scenario's);
- Een baseline+-scenario waarin logistieke bedrijven hun fysieke netaansluiting kunnen uitbreiden op het moment dat er structureel extra capaciteit beschikbaar is op het elektriciteitsnet, meestal pas na geplande netverzwaring;
- Scenario's waarin logistieke bedrijven hun fysieke netaansluiting uitbreiden wanneer mogelijk en bovendien mitigerende maatregelen toepassen om het opladen van elektrische vrachtwagens maximaal mogelijk te maken ('b'-scenario's).

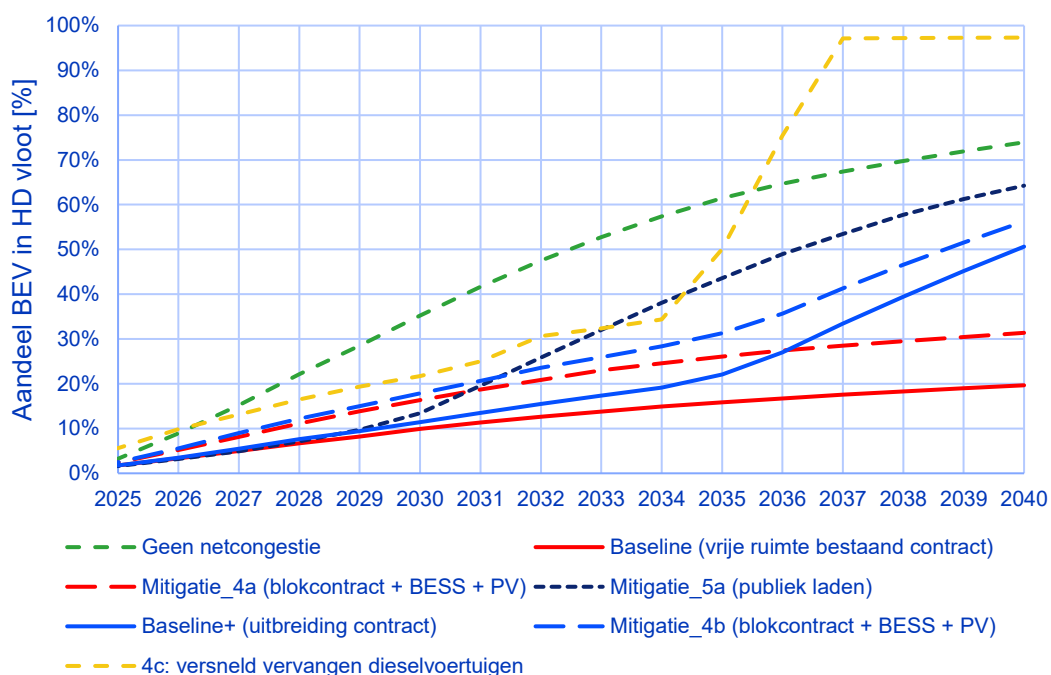
Er zijn vijf mitigerende maatregelen onderzocht, namelijk:

- Het installeren van stationaire batterijen (BESS) waardoor de binnen de aansluitcapaciteit beschikbare energie die overdag niet wordt gebruikt, wordt gebruikt om energie op te slaan en die 's nachts te gebruiken om de voertuigen op te laden;
- Het toevoegen van PV-panelen (in combinatie met BESS) wat in deze analyse niet leidt tot extra capaciteit omdat de opbrengst van PV in de herfst en winter zeer beperkt is terwijl de vrachtvoertuigen in deze seizoenen wel opgeladen moeten worden. Wel is met PV opgewekte elektriciteit goedkoper dan elektriciteit uit het elektriciteitsnet waardoor de gemiddelde elektriciteitskosten voor de logistieke bedrijven dalen;

- Blokcontracten waarbij logistieke partijen in de nacht meer dan hun gecontracteerde vermogen morgen gebruiken. In deze analyse is er van uitgegaan dat zij in de nachtelijke uren kunnen beschikken over het vermogen dat maximaal kan worden geleverd gegeven door de bestaande fysieke netaansluiting wat vaak hoger is dan het gecontracteerde vermogen;
- Alle laadsessies, waarvoor geen capaciteit beschikbaar is op het eigen depot, worden uitgevoerd bij publieke laadpunten. Hierdoor stijgt de benuttingsgraad van publieke laders (tot 8,5% in 2040 in deze analyse) waardoor de kosten per afgezette hoeveelheid energie afnemen, waardoor de publieke laadprijs kan dalen;
- Vervroegd afschrijven van dieselloortuigen op het moment dat er lokaal netcapaciteit beschikbaar is (typisch na verzwaren van het elektriciteitsnet).

Daarnaast is ook een combinatie van de eerste drie maatregelen onderzocht.

De resultaten van de analyses zijn weergegeven in onderstaande figuur. Hierin is voor een select aantal geanalyseerde scenario's de adoptie van elektrische vrachtwagens weergegeven in termen van het aandeel in de Nederlandse vloot voor alle jaren tussen 2025 en 2040. Omwille van de overzichtelijkheid zijn alleen scenario's waarin mitigerende maatregelen zijn gecombineerd opgenomen.



Figuur S.1: Resultaten m.b.t. het aandeel elektrische vrachtwagens in de Nederlandse vloot voor een selectie van de geanalyseerde scenario's. *) Scenario's m.b.t. publiek laden zijn aangegeven met een stippellijn, omdat netcongestie als belemmerende factor voor de uitrol van publieke laadinfrastructuur niet is meegenomen in deze scenario's.

Indien netcongestie geen beperkende factor (referentiescenario) zou zijn, zou in 2040 ongeveer 75% van de vloot kunnen bestaan uit elektrische vrachtwagens. In werkelijkheid zal netcongestie echter wel invloed hebben op de adoptie.

Indien logistieke bedrijven tot 2040 geen aanspraak kunnen maken op een uitbreiding van hun huidige gecontacteerde capaciteit en geen mitigerende maatregelen nemen om opladen mogelijk te maken (baseline scenario), zal de adoptie in 2040 een factor 3,5 lager zijn (20% in plaats van 75%). Dit kan worden gezien als een 'worst-case scenario'.

Mitigerende maatregelen bieden enige verlichting. Indien er bij de bestaande contractcapaciteiten BESS wordt toegepast, kan het aandeel elektrisch in de vloot toenemen tot maximaal 25% in 2040. Het toepassen van BESS én PV leidt wel tot iets lagere energiekosten, maar dit vertaalt zich niet in een snellere adoptie. Blokcontracten bieden wel wat soelaas. Indien het beschikbare vermogen in de nacht niet wordt gelimiteerd door het bestaande contract maar enkel door de fysieke aansluiting, kan de adoptie van elektrische vrachtwagens oplopen tot 27% in 2040. Een combinatie van BESS, PV en blokcontracten (scenario 4a in de figuur) leidt tot maximaal 31% elektrische vrachtwagens in 2040.

Indien wordt aangenomen dat logistieke partijen de gecontracteerde vermogens en eventueel de capaciteit van de fysieke aansluiting kunnen uitbreiden op het moment dat er in de regio geen netcongestie meer is, kunnen er meer laadsessies voor elektrische voertuigen worden gefaciliteerd, waardoor de adoptie sneller gaat dan wanneer zij geen aanspraak kunnen maken op uitbreiding. Zonder mitigerende maatregelen kan de vloot dan voor 51% bestaan uit elektrische vrachtwagens (scenario Baseline+). Bij het inventariseren van de extra benodigde netcapaciteit hebben netbeheerders ook rekening gehouden met de elektrificatie van vrachtwagens. Het is daarmee aannemelijk dat bedrijven met vrachtwagens aanspraak zullen kunnen maken op extra netcapaciteit. In werkelijkheid kan het wel zo zijn dat er tijd verstrijkt tussen het moment dat het elektriciteitsnet is verzaamd en het moment waarop een bedrijf meer capaciteit krijgt toegekend, mede vanwege de lage prioriteit die mobiliteit heeft in het prioriteringskader van de ACM. De eventuele vertraging zal afhangen van de extra capaciteitsvraag van andere energievragers die zijn aangesloten op dezelfde middenspanningsring en die een hogere prioriteit hebben. Het kwantificeren hiervan vereist een uitgebreidere analyse.

Een uitbreiding van de beschikbare capaciteit in combinatie met mitigerende maatregelen (BESS, PV en blokcontracten) leidt tot een maximaal aandeel elektrische vrachtwagens van 56% in 2040 (scenario Mitigatie_4b).

Publiek laden als mitigerende maatregel (scenario's 5a) kan in theorie leiden tot een aanzienlijk toename van de adoptie van elektrische vrachtwagens. Indien er voldoende publieke laadinfra kan worden gerealiseerd (inclusief de benodigde netcapaciteit) en de prijs voor publiek laden aanzienlijk daalt als gevolg van een hogere benutting van de laadinfra, kan dit leiden tot maximaal 67% elektrische vrachtwagens in 2040. Dit toont aan dat een competitieve TCO haalbaar is ten opzichte van diesel, ook wanneer er uitsluitend publiek wordt geladen. Echter, vanwege de sterke afhankelijkheid van publieke laders (onzekerheid voor gebruikers) in combinatie met beperkte netcapaciteit die beschikbaar is voor nieuwe en bestaande publieke laadpunten is de verwachting dat de potentie van deze mitigatiemaatregel maar voor een beperkt deel zal kunnen worden gerealiseerd.

De impact van netcongestie op de door elektrische vrachtwagens gereden kilometers is nog groter dan op de ontwikkeling van het aandeel elektrische voertuigen in de vloot. Dit komt doordat trucks die veel kilometers maken een hogere energievraag hebben en daarom vaker niet kunnen worden gefaciliteerd vanwege beperkte gecontracteerde capaciteit.

Bovenstaande resultaten beschrijven de technische potentie (= maximaal effect) van de verschillende scenario's. In de praktijk zal dit waarschijnlijk niet volledig kunnen worden gerealiseerd. Er mag worden verwacht dat een deel van de logistieke partijen (tijdelijk) gebruik zal maken van batterijsystemen en ook de potentie van blokcontracten zal gedeeltelijk worden benut. Ook zal netverzwaring voor sommige bedrijven leiden tot de mogelijkheid om de netaansluiting uit te breiden, zeker in de periode na 2035. Vanwege de lage prioriteit van elektrische logistiek in het ACM-prioriteringskader zal dit zeker niet voor alle bedrijven gelden. Rekening houdend met deze factoren verwachten we dat er 42.000 (25%) tot 94.000 (56%) Nederlandse elektrische vrachtwagens zullen zijn in 2040.

In theorie is een hogere adoptiegraad mogelijk. Zo kan er versnelde uitstroom plaatsvinden van dieselloortuigen zodra netcongestie in een gebied is opgelost. De potentie hiervan is weergegeven in scenario 4c: *'Versneld vervangen dieselloortuigen op alle locaties zonder netcongestie'*. Dit zou kunnen leiden tot een theoretische maximum van 97% elektrische vrachtwagens in 2040. Om dit maximum te bereiken zou in periode van ongeveer 6 jaar een zeer groot aantal trucks, in aantal vergelijkbaar met de gehele vloot in 2040, vervangen moeten worden. Het is niet duidelijk of een dergelijk grote tijdelijke vraag naar nieuwe voertuigen kan worden gefaciliteerd door voertuigfabrikanten. Hiervoor is meer inzicht nodig in de mate waarin Europese fabrikanten tijdelijk hun productie kunnen opschalen of er tijdelijk aanzienlijke hoeveelheden vrachtwagens van buiten de EU kunnen worden geïmporteerd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding.....	8
1.1 Aanleiding.....	8
1.2 Doelstelling.....	8
1.3 Scope	8
1.4 Relatie tot andere TNO-rapporten	9
1.5 Leeswijzer	9
2 Methodologie en aannames	10
2.1 Korte beschrijving van het wagenparkmodel	10
2.2 Beschikbare netcapaciteit.....	11
2.3 Mitigerende maatregelen.....	12
2.4 Geanalyseerde scenario's	15
3 Resultaten	17
3.1 Indicatie van de adoptie van BEV op basis van kosten en inzetbaarheid	17
3.2 Aantal voertuigen dat problemen ondervindt van netcongestie.....	18
3.3 Effect van mitigerende maatregelen	20
3.4 Versnelde vervanging van diesellootvoertuigen wanneer netcongestie lokaal is opgelost.....	24
3.5 Aandeel kilometers elektrisch	26
4 Conclusies	27
5 Discussie.....	29
Referenties.....	31
Ondertekening.....	32
Bijlage	
Bijlage A: Modelarchitectuur, voertuigconfiguraties en TCO	33

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

PBL heeft TNO gevraagd om ondersteuning te leveren bij het verkrijgen van inzicht in de adoptiesnelheid van elektrische vrachtwagens met extra aandacht voor de invloed van netcongestie hierop. Om dit in kaart te brengen is gebruik gemaakt van een keten van modellen waarmee de ontwikkeling van de vrachtwagenvloot kan worden geprognoseerd in termen van aantallen van verschillende voertuigtypen, hun inzet, leeftijd en de aandrijftechnologiekeuze.

In eerdere studies heeft TNO reeds vastgesteld dat netcongestie een belangrijke beperkende factor zal zijn voor de adoptie van elektrische vrachtwagens. Daarom is een aanvullende rekenmodule ontwikkeld om het effect van deze factor te kwantificeren. Naast het negatieve effect van netcongestie zijn ook de effecten van verschillende mitigerende maatregelen in kaart gebracht.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is het verschaffen van inzicht in de invloed van netcongestie en mitigerende maatregelen op de adoptiesnelheid van elektrische vrachtwagens in het Nederlandse wagenpark.

1.3 Scope

De adoptiesnelheid wordt in kaart gebracht voor in Nederland geregistreerde vrachtwagens in de periode tot 2040. Dit betreft vrachtwagens (inclusief trekker-opleggers) boven 3.500 kg.

Voor het bepalen of er op een bepaalde locatie in een bepaald jaar netcongestie is, wordt rekening gehouden met zowel het middenspanningsnet als het hoogspanningsnet.

Daarnaast wordt er rekening gehouden met de vrije ruimte op bestaande netaansluitingen van logistieke bedrijven.

Tot slot wordt van de volgende maatregelen, die kunnen worden aangewend om netcongestieproblemen te mitigeren, het effect ingeschat:

- BESS (battery energy storage system): dit betreft stationaire batterijen op de oplaadlocatie;
- PV: lokale opwek van elektriciteit middels zonnepanelen op het terrein van het logistieke bedrijf;
- Blokcontracten: de mogelijkheid om op vastgestelde momenten van de dag meer vermogen af te nemen dan vastgelegd in het energiecontract tussen het logistieke bedrijf en de netbeheerder;
- Publiek laden: resterende laadvraag of volledige laadvraag bij (semi-)publieke laadpleinen.

1.4 Relatie tot andere TNO-rapporten

Ter ondersteuning van de KEV 2024 heeft TNO eerder al een studie gedaan naar het effect van netcongestie op de adoptie van elektrische vrachtwagens [1]. Sinds 2024 is er veel gewijzigd in de verwachte ontwikkeling van netcapaciteit en de beschikbaarheid van data. Om die reden kan momenteel veel nauwkeuriger in kaart worden gebracht wat het effect van netcongestie zal zijn. Dit rapport mag worden gezien als een update van het rapport uit 2024.

Een uitgebreide beschrijving van het door TNO ontwikkelde wagenparkmodel zal worden opgenomen in een nog te publiceren rapport. Om die reden is ervoor gekozen om dit rapport beknopt te houden door de methodologie en het daarvoor ontwikkelde model enkel op hoofdlijnen te beschrijven.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de methodologie kort toegelicht en worden de aannames toegelicht ten aanzien van voertuigconfiguraties, voertuiginzet, kosten, beschikbare netcapaciteit en de onderzochte mitigerende maatregelen voor het omgaan met netcongestie. In hoofdstuk 3 volgen de resultaten in termen van adoptiesnelheden van elektrische vrachtvoertuigen tot 2040 in verschillende scenario's. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 conclusies getrokken uit de resultaten. Tot slot volgt in hoofdstuk 5 een discussie waarin onzekerheden worden toegelicht.

2 Methodologie en aannames

2.1 Korte beschrijving van het wagenparkmodel

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het effect van netcongestie op de adoptie van elektrische vrachtwagens is bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van een door TNO ontwikkeld wagenparkmodel dat kort is beschreven in 0. In dit 'bottom-up' model wordt de ontwikkeling van de vrachtwagenvloot gemodelleerd op individueel voertuigniveau.

Dit betekent dat per voertuig per zichtjaar de volgende kenmerken zijn bepaald:

- voertuigcategorie;
- jaarkilometrage;
- leeftijd;
- kilometerstand;
- aandrijftechnologie;
- standplaats van het voertuig;
- beschikbare netcapaciteit op de bedrijfslocatie / standplaats.

Vervolgens wordt per zichtjaar bepaald welke voertuigen het wagenpark verlaten (via export of sloop) en welke voertuigen instromen. Op basis van historische trends en de geprognoseerde vervoersbehoefte worden voor elk nieuw voertuig de voertuigcategorie en het jaarkilometrage toegekend. De leeftijd en kilometerstand van de nieuwe voertuigen zijn nul. Daarnaast wordt bepaald welke aandrijftechnologie elk nieuw voertuig zal hebben.

Dit gebeurt op basis van:

- TCO: de aandrijftechnologie met de laagste Total Cost of Ownership (TCO);
- Inzetbaarheid: het nieuwe voertuig kan alleen batterij-elektrisch zijn indien elektrische voertuigen voldoende actieradius hebben om 90% van de dagen toe te kunnen op één volle accu plus maximaal 45 minuten snelladen op 500 kW;
- Beschikbaarheid van netcapaciteit op de standplaats: het nieuwe voertuig kan alleen batterij-elektrisch zijn indien er voldoende netcapaciteit beschikbaar is op de standplaats om het voertuig 's nachts op te laden. Er bestaat wel de mogelijkheid om hiervan af te wijken in specifieke scenario's, zoals bij het toepassen van de mitigerende maatregel 'publiek laden' (zie paragraaf 2.3.4).

Hoe de TCO en inzetbaarheid precies worden bepaald, is beschreven in 0. In deze bijlage worden ook de verschillende combinaties van voertuigtypen en aandrijflijnen gespecificeerd, die in het model worden onderscheiden. De methode, die wordt gehanteerd om te bepalen of er voldoende netcapaciteit is om elektrische voertuigen te faciliteren, wordt hieronder beschreven.

2.2 Beschikbare netcapaciteit

Alle voertuigen in het wagenparkmodel worden toegekend aan bedrijven¹ die zijn gevestigd op een bepaalde locatie. Indien een bedrijf meerdere vestigingen heeft, worden voertuigen hierover verdeeld op basis van informatie verkregen van CBS. Per vestigingslocatie wordt bepaald hoeveel ruimte er nog bestaat binnen het bestaande energiecontract om voertuigen te kunnen laden. Dit gebeurt op basis van recent onderzoek van CBS [3]. Zo wordt bepaald voor hoeveel voertuigen, waarvoor een batterij-elektrische aandrijving het meest aantrekkelijk is, ook daadwerkelijk voldoende elektriciteit beschikbaar is om ze in de nacht op te laden binnen bestaande energiecontracten. Indien er geen ruimte is op het bestaande contract, wordt vastgesteld of een bedrijf in een gebied ligt waar netcapaciteit beschikbaar is, en er dus mogelijk een grotere aansluiting zou kunnen worden gerealiseerd. Wanneer beide opties geen ruimte bieden, wordt vervolgens berekend of voertuigen opgeladen kunnen worden indien logistieke bedrijven mitigerende maatregelen nemen (zie paragraaf 2.3).

2.2.1 Contractcapaciteit

De “contractcapaciteit” is het maximale vermogen dat de afnemer mag afnemen volgens het contract dat is afgesloten met de energieleverancier. In bijna alle bestaande energiecontracten heeft de afnemer 24 uur per dag en 365 dagen per jaar recht op dit vermogen. Vanwege netcongestieproblematiek is het voor veel afnemers niet mogelijk om de in bestaande contracten vastgelegde vermogens te verhogen. Aangezien verschillende typen elektriciteitsafnemers verschillende vermogensprofielen hebben over de dag en het jaar, zijn er wel momenten dat er veel ongebruikte capaciteit is. Netbeheerders onderzoeken momenteel hoeveel capaciteit waar en wanneer beschikbaar is. In het recent gepubliceerde ‘aansluitoffensief’ [4] heeft de rijksoverheid acht maatregelen geselecteerd om de bestaande capaciteit van het elektriciteitsnet beter te benutten. Een mogelijke manier waarop dit tot extra laadcapaciteit zou kunnen leiden voor logistieke bedrijven is het gebruik van blokcontracten. Dit zijn tijdsblok-gebonden transportrechten die afnemers de mogelijkheid geven om buiten de piekuren (bijvoorbeeld in de nacht) hogere vermogens te gebruiken dan vastgelegd in het reguliere contract. Dit kan logistieke bedrijven de mogelijkheid geven om ’s nachts voertuigen op te laden.

2.2.2 Fysieke capaciteit

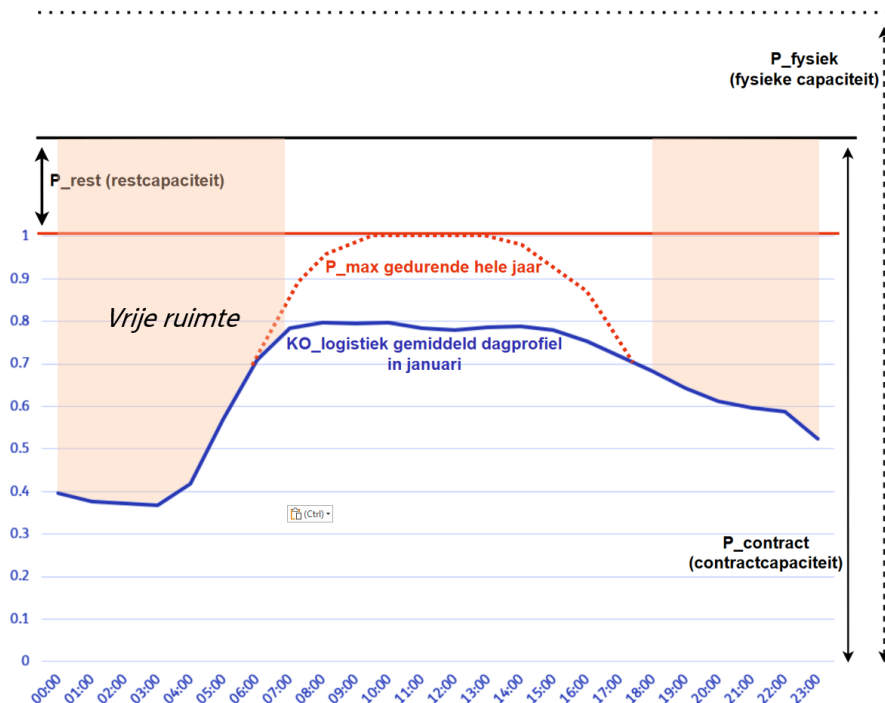
Met de “fysieke capaciteit” wordt bedoeld de capaciteit van de netaansluiting. Deze aansluitcapaciteit bepaalt daarmee het technisch maximale vermogen dat kan worden geleverd bij een gegeven fysieke aansluiting. Deze fysieke capaciteit is minimaal gelijk aan de contractcapaciteit, maar over het algemeen hoger. Indien een afnemer meer vermogen zou willen gebruiken dan de fysieke capaciteit, is een vervanging van fysieke elementen vereist, zoals kabels en transformatoren. Daarnaast moet de contractcapaciteit worden aangepast met bijbehorende kosten.

2.2.3 Vrije ruimte

CBS heeft recentelijk onderzoek gedaan naar de beschikbare vrije ruimte op bestaande contracten van logistieke bedrijven [3] en de fysieke capaciteit van de aansluitingen. De vrije ruimte is hierbij gedefinieerd als het beschikbare vermogen op het bestaande contract om te laden tussen 18:00 – 07:00. In Figuur 2.1 is gevisualiseerd hoe deze vrije ruimte er uitziet in een gemiddeld 24-uursprofiel van een logistiek bedrijf op een werkdag in januari.

¹ Hierbij wordt geen bedrijfsgevoelige informatie gebruikt.

Het 24-uursprofiel is afgeleid met behulp van het standaard verbruiksprofiel (jaarprofiel) voor logistiek zoals dat wordt gebruikt door Liander, ook bekend als KO_logistiek [5].



Figuur 2.1: Contractcapaciteit, fysieke capaciteit en vrije ruimte o.b.v. typisch profiel voor logistieke bedrijven (zonder inzet van elektrische voertuigen).

2.2.4 Uitbreiden van contractcapaciteit

Wanneer er in een gebied geen sprake is van netcongestie, is er de mogelijkheid om een groter contract af te sluiten. Hiervoor wordt in deze studie gebruik gemaakt van de capaciteitskaart van Netbeheer Nederland [6]. Deze dataset bevat op postcodeniveau informatie of er wel/geen sprake is van netcongestie en in welk jaar de netcongestie is opgelost, na netverzwaring. Dit is gebaseerd op zowel hoogspanningsniveau (TenneT) als middenspanningsniveau (regionale netbeheerder).

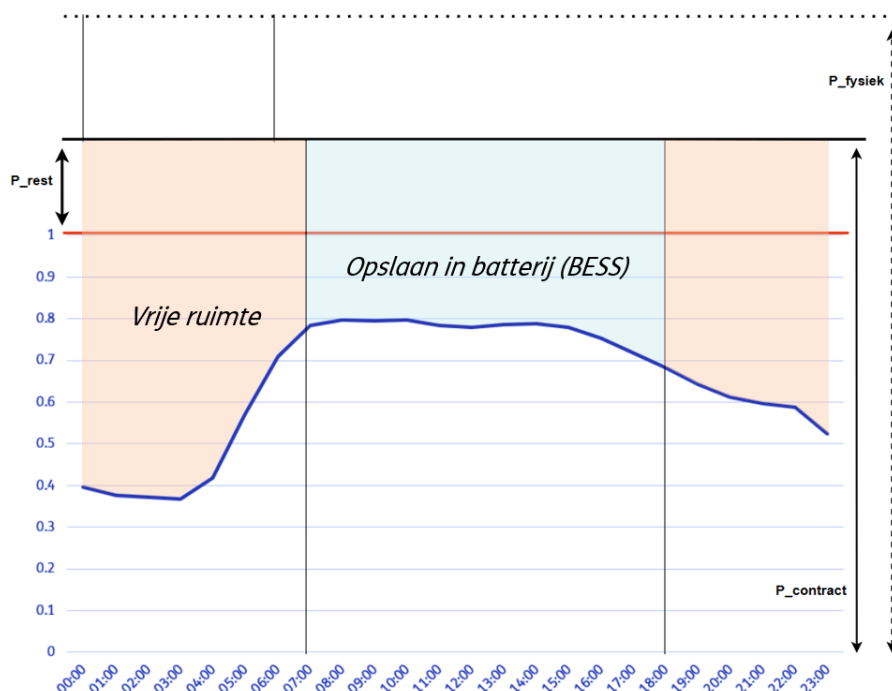
2.3 Mitigerende maatregelen

Naast het benutten van de vrije ruimte op bestaande contracten om te laden, kunnen bedrijven mitigerende maatregelen nemen om het effectieve laadvermogen te vergroten. De mitigatie-opties die we meenemen in deze analyse lopen we hier een voor een door. Een mitigerende maatregel kan effectief worden toegepast als er aan twee voorwaarden wordt voldaan: 1) De maatregel leidt tot voldoende capaciteit om het nieuwe voertuig te kunnen laden; 2) De resulterende LCOC (levelised cost of charging) is zodanig dat de TCO van elektrisch lager is dan diesel.

2.3.1 BESS

Naast de beschikbare vrije ruimte op bestaande contracten om 's nachts kunnen laden, is er binnen de contractcapaciteit vaak ook nog vermogen beschikbaar overdag.

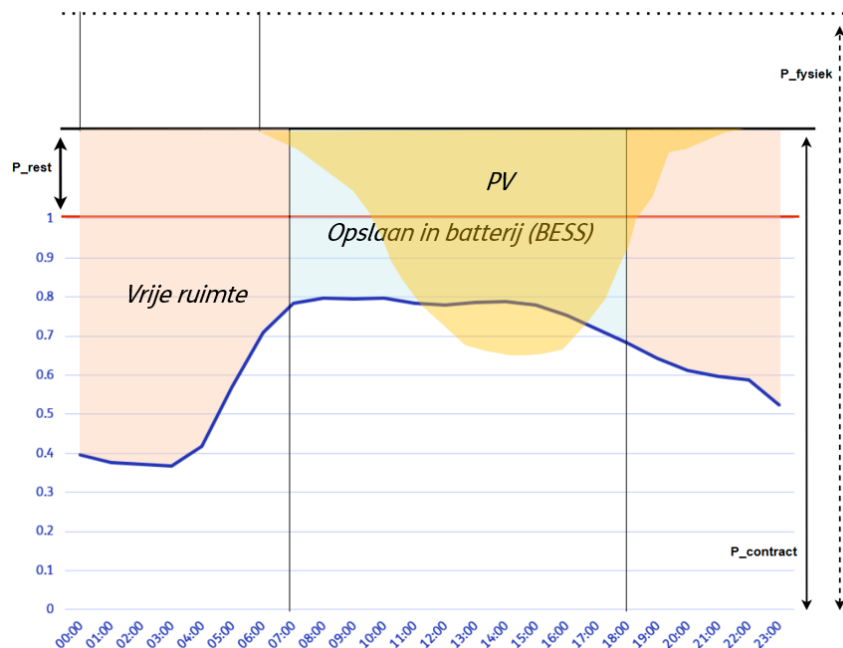
Door deze beschikbare energie op te slaan in een batterij en die 's nachts weer te ontladen om voertuigen te laden, kan het bestaande contract verder benut worden (gevisualiseerd in Figuur 2.2). Hierbij nemen we aan dat de energie die verloren gaat bij AC/DC omzetting (en vice versa) en het laden/ontladen van de batterij in totaal 10% is. Het toepassen van een batterij leidt tot een hogere LCOC. Wanneer de toevoeging van de batterij leidt tot voldoende capaciteit om het nieuwe voertuig te laden, kan dit nieuwe voertuig elektrisch zijn. De batterij hoeft niet de gehele vermogensvraag van het nieuwe voertuig op te vangen. Stel, een voertuig vereist een laadvermogen van 30 kW en er is 's nachts nog 20 kW beschikbaar, dan vangt de batterij het tekort van 10 kW op. De batterij wordt zodanig gedimensioneerd dat het voertuig op 90% van de werkdagen volledig op depot kan laden.



Figuur 2.2: Mitigatiemaatregel: BESS om bestaand contract meer te benutten.

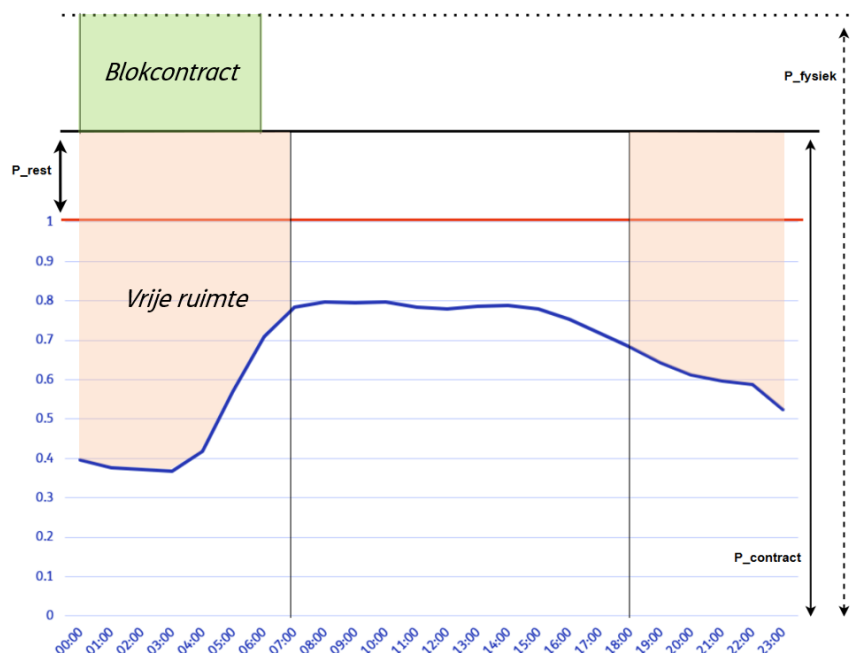
2.3.2 PV (in combinatie met BESS)

Het toepassen van PV als mitigerende maatregel leidt niet tot extra capaciteit om voertuigen te kunnen laden. Immers moeten voertuigen ook in de winter geladen kunnen worden en dan is de opbrengst van PV zeer beperkt. Waar PV wel voor kan zorgen, is een lagere LCOC (doordat er minder stroom hoeft te worden afgenomen uit het elektriciteitsnet). Daarmee wordt de TCO van elektrische vrachtwagens lager, en is de kans dus groter dat elektrisch goedkoper is dan diesel, waardoor de keuze op elektrisch valt. Deze maatregel leidt daarmee niet tot mitigatie van netcapaciteitstekort. Aangezien het wel interessant is om te bepalen welke invloed deze maatregel heeft op de adoptie van elektrische vrachtwagens, is deze wel meegenomen in de analyse. Het geïnstalleerde PV-vermogen wordt gedimensioneerd op de capaciteit van de stationaire batterij. Een simulatie buiten het model om laat zien dat een verhouding van circa 0,2 : 1 (kWp : kWh) tussen PV-vermogen en stationaire batterijcapaciteit leidt tot de laagste LCOC. Hierbij is een jaar gesimuleerd, waarbij de dagelijks afgenomen energie van een voertuig, de stationaire batterijcapaciteit en de dagelijkse opbrengst van PV is meegenomen en is voor verschillende PV-vermogens de LCOC vergeleken.



Figuur 2.3: Mitigatiemaatregel: PV (i.c.m. BES) om lagere LCOC te bewerkstelligen.

2.3.3 Blokcontract



Figuur 2.4: Mitigatiemaatregel: Blokcontract om fysieke capaciteit te benutten.

Het toepassen van een blokcontract biedt de mogelijkheid om extra vermogen af te nemen op een vastgesteld moment in de dag, buiten piekuren qua drukte op het stroomnet. In de praktijk gaat dit doorgaans om het tijdsblok tussen 00:00 – 06:00. We hebben gekozen om de ruimte voor blokcontracten te baseren op de bestaande fysieke capaciteit van de aansluiting (zie Figuur 2.4).

Een aanvullende verzwaring van de aansluiting lijkt op korte termijn namelijk niet realistisch, gezien de grote opgave aan netverzwaring die er reeds ligt voor netbeheerders. Een blokcontract is alleen mogelijk als er op het transformatorstation waarop het bedrijf is aangesloten ook daadwerkelijk ruimte is in de nacht. Doordat hier geen data van beschikbaar is, houden we geen rekening met deze mogelijke beperking. In de praktijk is de ruimte voor blokcontracten waarschijnlijk dus kleiner dan dat we bij het toepassen van deze mitigatiemaatregel aannemen.

2.3.4 Publiek laden

Wanneer een bedrijf niet over voldoende capaciteit beschikt om op eigen locatie te laden, bestaat er nog de mogelijkheid om voor een groot deel of volledig op (semi-)publieke laadpleinen te laden. Hierbij kan het zijn dat een voertuig deels op depot laadt en aanvullend publiek laadt, om aan de totale capaciteitsvraag te voldoen, of dat een voertuig uitsluitend publiek laadt. Dat leidt wel tot extra kosten voor het bedrijf. De kosten die we hierbij meenemen zijn de (hogere) laadtarieven bij een publiek laadplein, en de toegenomen loonkosten door extra tijd die nodig is voor de (aanvullende) publieke laadsessies.

2.4 Geanalyseerde scenario's

Tabel 2.1: Geanalyseerde scenario's.

Scenario	Vrije ruimte	Uitbreiden contract	BESS	PV	Blokcontract	(Semi-) publiek laden
Baseline	X					
Baseline+	X	X				
Mitigatie_1a	X		X			
Mitigatie_2a	X		X	X		
Mitigatie_3a	X				X	
Mitigatie_4a	X		X	X	X	
Mitigatie_5a	X					X
Mitigatie_1b	X	X	X			
Mitigatie_2b	X	X	X	X		
Mitigatie_3b	X	X			X	
Mitigatie_4b	X	X	X	X	X	
Mitigatie_5b	X	X				X

De geanalyseerde scenario's bestaan uit combinaties van verschillende mitigerende maatregelen en of er wel/niet de mogelijkheid is om het bestaande contract uit te breiden:

- Baseline: alleen gebruik van vrije ruimte binnen het bestaande contract (zie paragraaf 2.2.3);
- Baseline+: gebruik van vrije ruimte binnen het bestaande contract en uitbreiding van de gecontracteerde netcapaciteit wanneer het bedrijf in een gebied ligt waar netcapaciteit beschikbaar is of beschikbaar komt door netverzwaring (zie paragraaf 2.2.4);
- Mitigatie_1a: Baseline en BESS;
- Mitigatie_2a: Baseline en BESS + PV;
- Mitigatie_3a: Baseline en blokcontract;
- Mitigatie_4a: Baseline en BESS + PV en blokcontract;
- Mitigatie_5a: Baseline en de rest publiek laden;
- Mitigatie_1b: Baseline+ en BESS;

- Mitigatie_2b: Baseline+ en BESS + PV;
- Mitigatie_3b: Baseline+ en blokcontract;
- Mitigatie_4b: Baseline+ en BESS + PV en blokcontract;
- Mitigatie_5b: Baseline+ en de rest publiek laden.

Aanvullend is er nog ‘scenario 4c: versneld vervangen dieselloertuigen op locaties waar netcongestie is opgelost’ geanalyseerd. Hierbij wordt er gekeken naar het aandeel van de vloot dat geregistreerd staat op een locatie waar geen sprake is van netcongestie. Dit geeft de maximale potentie weer van het vervroegd/uitgesteld vervangen van dieselloertuigen.

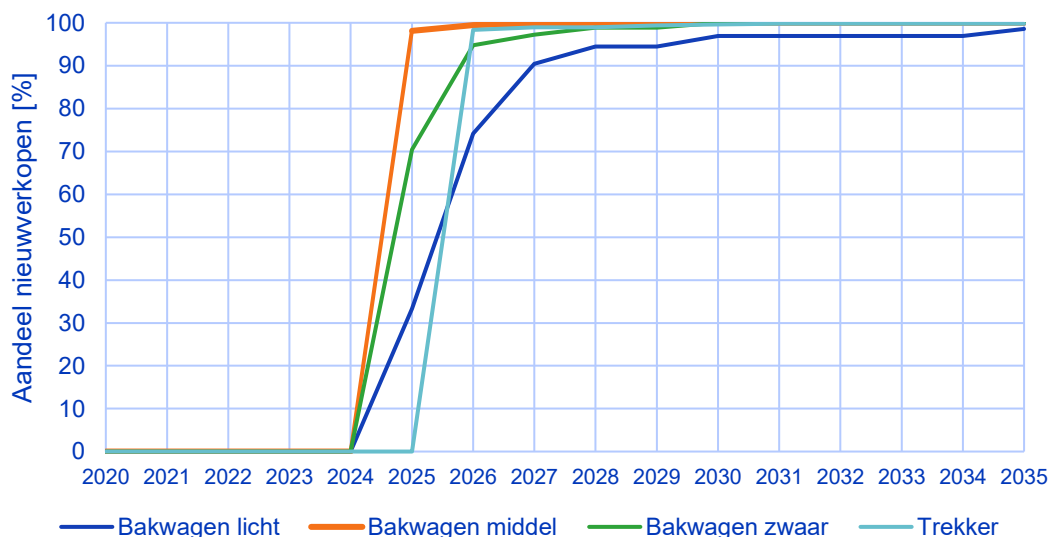
Daarnaast is er een gevoeligheidsanalyse gedaan op de kostenontwikkeling van stationaire batterijen. In bovenstaande scenario's wordt er gerekend met een prijs van 120 €/kWh in 2030 en 90 €/kWh in 2040, op basis van batterijkostenprojecties van BloombergNEF uit 2021 [7], gevalideerd met een recenter artikel van BloombergNEF uit december 2025 [8]. In het alternatieve scenario wordt gerekend met hogere kosten, dit naar aanleiding van de uitkomsten van recente studies naar de prijsontwikkeling van BESS-installaties [9]. De kosten in het gevoeligheidsscenario zijn daarom ook gebaseerd op deze studie, namelijk 244 €/kWh in 2030 en 194 €/kWh in 2040.

3 Resultaten

3.1 Indicatie van de adoptie van BEV op basis van kosten en inzetbaarheid

Zoals toegelicht in paragraaf 2.1 en 0, wordt eerst bepaald welke aandrijftechnologie de laagste TCO heeft voor elk voertuig dat instroomt in het wagenpark. Bovendien wordt voor elk voertuig bepaald of één van de geconfigureerde elektrisch aangedreven voertuigen (zie paragraaf 2.1) voldoende actieradius heeft om minimaal 90% van de dagen te kunnen rijden op één acculading plus één snellaadsessie van 45 minuten op 500 kW. Gegeven dat de logistieke sector sterk kostengedreven is, is dit een belangrijke indicator voor de keuze die logistieke bedrijven bij voorkeur zouden maken.

Het aandeel nieuwe voertuigen waarvoor een elektrisch aangedreven variant de meest geschikte is op basis van TCO en inzetbaarheid is weergegeven in Figuur 3.1. Hierin is te zien dat vanaf het jaar 2026 voor bijna alle nieuwe voertuigen elektrische aandrijving het meest wenselijk is op basis van de twee bovengenoemde criteria. Dit is het gevolg van afnemende voertuigprijzen (voornamelijk door lagere batterijkosten) en stijgende dieselprijzen. Daarnaast wordt de uitkomst ook sterk beïnvloed door de vrachtwagenheffing.



Figuur 3.1: Aandeel nieuwverkopen per voertuigtype per aankoopjaar waarvoor BEV de voorkeursvariant is op basis van TCO en inzetbaarheid.

Indien logistieke bedrijven inderdaad altijd de keuze zouden maken voor de aandrijftechnologie met de laagste TCO en die minimaal voldoende actieradius heeft voor 90% van de dagen op één acculading plus één snellaadsessie, dan zou in 2040 74% van de vloot bestaan uit batterij-elektrische vrachtwagens (zie Figuur 3.2).

Deze voertuigen zouden samen verantwoordelijk zijn voor 82% van de kilometers gereden door Nederlandse vrachtwagens. In 2040 zou de elektrische energiebehoefte van deze voertuigen 6,27 TWh bedragen.

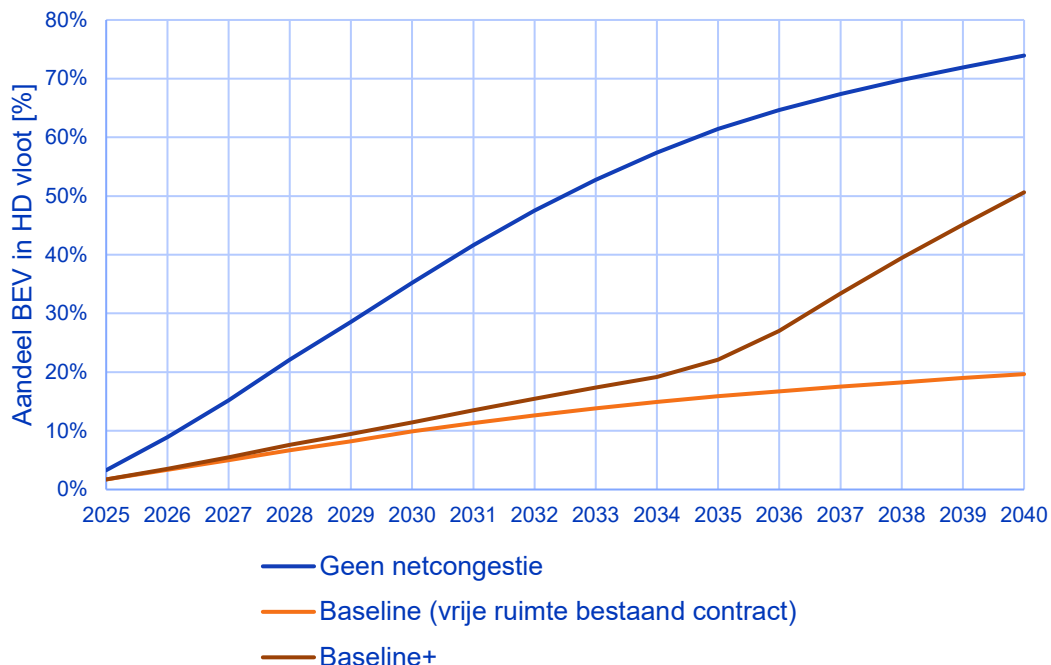
In werkelijkheid zal de adoptie van elektrische vrachtvoertuigen waarschijnlijk aanzienlijk lager zijn dan hierboven geschetst.

Redenen voor het toch niet aanschaffen van elektrische vrachtvoertuigen zijn onder andere:

- Hun relatief hoge aanschafprijs: deze weegt relatief zwaar mee in het keuzegedrag;
- Hun qua inzet beperktere flexibiliteit als gevolg van de relatief lange laadtijd;
- De beperkte beschikbaarheid van laadfaciliteiten als gevolg van netcongestie.

3.2 Aantal voertuigen dat problemen ondervindt van netcongestie

Aan de hand van de methode toegelicht in 0 is voor elk van de nieuw instromende voertuigen bepaald of er netcongestie is op de standplaats / locatie van het depot. Hierbij is rekening gehouden met netcongestie op zowel het hoogspanningsnet als het middenspanningsnet. Zo lang er lokaal sprake is van netcongestie is de kans op uitbreiding van het bestaande energiecontract zeer klein. Wel kunnen logistieke bedrijven resterende capaciteit op het bestaande contract gebruiken voor het opladen van elektrische vrachtwagens. De beschikbaarheid van capaciteit op het bestaande contract is bepaald zoals toegelicht in paragraaf 2.2.3.



Figuur 3.2: Aandeel BEV in HD vloot over tijd voor verschillende scenario's.

In Figuur 3.2 is weergegeven hoe de adoptie van elektrische zware voertuigen zich zou ontwikkelen voor verschillende scenario's, onder de voorwaarde dat:

- Er voldoende netcapaciteit beschikbaar is op de standplaats om de voertuigen 's nachts op te laden;
- Elektrische aandrijving voor de te vervangen voertuigen een lagere TCO heeft dan het diesequivalent;
- De elektrische voertuigen voldoende actieradius hebben om 90% van de dagen, zoals gereden door de te vervangen voertuigen, toe te kunnen op één volle accu.

Zoals te zien in Figuur 3.2 verloopt de adoptie van elektrische vrachtvoertuigen veel langzamer als gevolg van netcongestie dan in het scenario waarin verondersteld wordt dat er altijd voldoende netcapaciteit is op de eigen standplaats. Het baseline scenario, waarbij de beschikbare capaciteit voor het laden van elektrische vrachtwagens bestaat uit de vrije ruimte op huidige bestaande contracten, leidt tot een ongeveer 3,5 keer lager vlootaandeel in 2030 en 2040, vergeleken met het scenario waarin er geen netcongestie zou zijn.

Tussen nu en 2040 zal de capaciteit van het elektriciteitsnet nog aanzienlijk toenemen. De plannen hiervoor zijn door netbeheerders vastgelegd in hun investeringsplannen. Voor het hoogspanningsnet zijn deze plannen beschikbaar t/m 2040, voor de regionale netbeheerders t/m 2035. Door deze capaciteitsuitbreiding zullen nieuwe aansluitingen kunnen worden gerealiseerd en bestaande aansluitingen worden uitgebreid. Indien dit ertoe leidt dat logistieke bedrijven de mogelijkheid krijgen om hun contracten en eventueel ook hun aansluitcapaciteit uit te breiden en hier zelf ook niet handelen, stijgt het aantal voertuigen waarvoor voldoende netcapaciteit beschikbaar is in de nacht. De resulterende adoptie van elektrische vrachtwagens is eveneens weergegeven in Figuur 3.2 ("baseline+ scenario"). Tot 2030 is het verschil tussen het "baseline" en "baseline+"-scenario klein. Naarmate netcongestie wordt opgelost, lopen deze scenario's steeds verder uiteen. Echte grote verschillen hierin treden op vanaf 2035. Dan is netcongestie in de meeste gebieden in Nederland opgelost, mits de netverzwarringsplannen tijdig worden uitgevoerd.

In de netverzwarringsplannen van de netbeheerders is rekening gehouden met een toenemende elektriciteitsvraag van elektrische voertuigen. Daarom mag worden aangenomen dat er ook voldoende capaciteit zal komen voor het laden van elektrische vrachtwagens bij logistieke bedrijven. Echter, er zal wel tijd verstrijken tussen het moment dat extra netcapaciteit beschikbaar komt op regionale schaal en het moment dat een logistiek bedrijf meer vermogen mag afnemen.

De ACM heeft namelijk een prioriteringskader opgesteld [10] waarin is vastgelegd dat voorrang wordt gegeven aan:

- Congestieverzachters: projecten die direct ruimte op het elektriciteitsnet maken;
- Veiligheid: projecten die essentieel zijn voor de nationale veiligheid, zoals ziekenhuizen, noodhulpdiensten, defensie en politie;
- Basisbehoeften: projecten die voorzien in maatschappelijke basisbehoeften zoals woningbouw, onderwijs.

Het laden van voertuigen heeft in dit kader dus geen hoge prioriteit gekregen. Hierdoor is de toename van netcapaciteit voor logistieke bedrijven afhankelijk van ontwikkelingen in sectoren met een hogere prioriteit. Als gevolg hiervan zal de lijn van het Baseline+ scenario in werkelijkheid verder naar rechts liggen. Voor een gegeven jaar betekent dat een lagere adoptiegraad. Hoeveel dat zal zijn is niet nader in kaart gebracht.

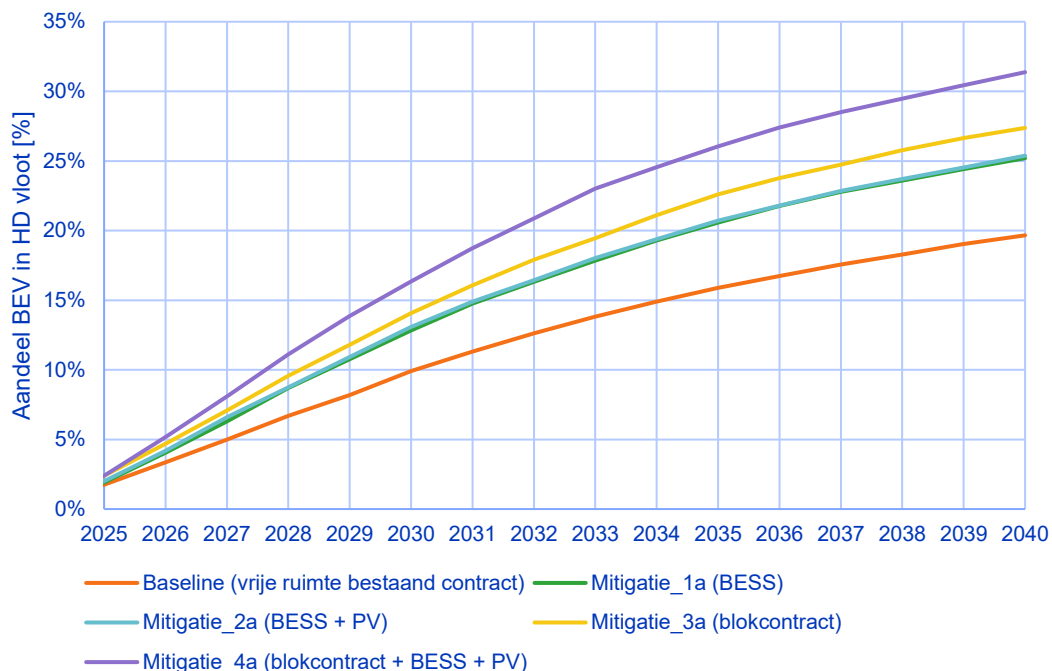
3.3 Effect van mitigerende maatregelen

Om het opladen van elektrische voertuigen in de nacht op de standplaats mogelijk te maken ondanks onvoldoende gecontracteerd vermogen, kunnen verschillende mitigerende maatregelen worden getroffen.

Zoals eerder toegelicht zijn de gevolgen van de volgende mitigerende maatregelen in kaart gebracht:

- BESS (battery energy storage system): dit betreft stationaire batterijen op de oplaadlocatie;
- PV in combinatie met BESS: lokale opwek van elektriciteit middels zonnepanelen op het terrein van het logistieke bedrijf;
- Blokcontracten: de mogelijkheid om op vastgestelde momenten van de dag meer vermogen te mogen vragen dan vastgelegd in het energiecontract tussen het logistieke bedrijf en de netbeheerder;
- Publiek laden: resterende laadvraag of volledige laadvraag bij (semi-)publieke laadpleinen.

Het toepassen van (combinaties van) mitigerende maatregelen leidt ertoe dat meer elektrische voertuigen kunnen worden opgeladen (zie overzicht scenario's in paragraaf 2.4). In Figuur 3.3 is te zien hoeveel het aandeel elektrische vrachtvoertuigen in de Nederlandse vloot zou kunnen toenemen als gevolg van de verschillende mitigerende maatregelen, vergeleken met het baseline-scenario waarin alleen gebruik kan worden gemaakt van vrije ruimte in het contract. Hieruit kan worden geconcludeerd dat BESS op een kosteneffectieve manier kan worden toegepast voor een aanzienlijk aantal voertuigen ("mitigatie 1a"). Op deze manier zou de vloot elektrische voertuigen met 5% kunnen toenemen ten opzichte van een situatie zonder mitigerende maatregelen in 2040. De lokale opwek van zonne-energie leidt slechts tot een zeer beperkte extra toename van het aantal voertuigen dat in de nacht kan worden opgeladen ("mitigatie 2a"). Dit komt doordat de opbrengst van PV niet gegarandeerd is en met name in de winter beperkt is. Dat geeft dus geen toename in capaciteit gedurende het gehele jaar om extra voertuigen te kunnen laden. Zonnepanelen leiden in deze analyse alleen tot extra elektrische voertuigen als gevolg van lagere energiekosten en daarom een lagere TCO. Het effect hiervan is in deze analyse zeer beperkt.



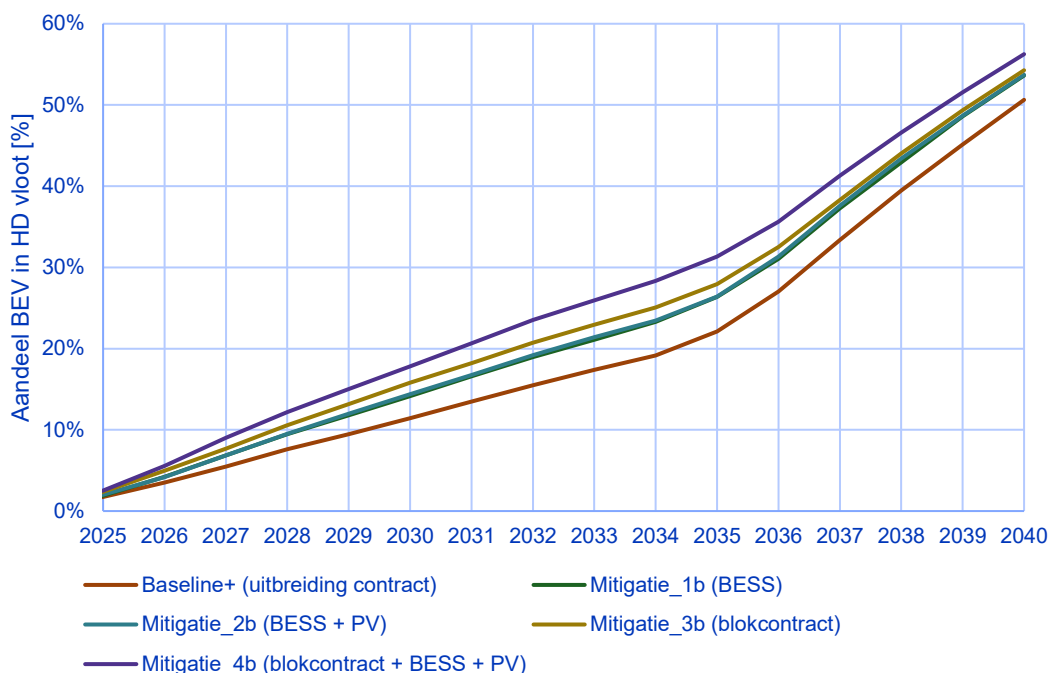
Figuur 3.3: Resultaten A-scenario's: baseline (waarbij alleen gebruik gemaakt kan worden van de vrije ruimte op bestaande contracten) + toepassing van mitigerende maatregelen.

Blokcontracten leiden wel tot aanzienlijke extra hoeveelheid oplaadcapaciteit ("mitigatie 3a") en daarmee tot een hogere instroom van elektrische voertuigen in de vloot. In het geval dat logistieke bedrijven in de nacht beschikken over een vermogen gelijk aan de capaciteit van de netaansluiting, zou er voor 27% van de voertuigen in de vloot elektrisch kunnen zijn in 2040. Ook voor deze mitigerende maatregel geldt dat dit een theoretisch maximum is.

In werkelijkheid zal de mate waarin logistieke bedrijven in de nacht gebruik zullen kunnen maken van een hoger vermogen dan vastgelegd in het bestaande contract sterk afhangen van:

- De energiegebruiksprofielen van andere gebruikers die op hetzelfde netvlak zitten;
- De hoeveelheid aandacht die netbeheerders kunnen besteden aan het analyseren van energiegebruiksprofielen en het bepalen van hoeveel extra vermogen er per aansluiting beschikbaar is op bepaalde momenten van de dag;
- De veiligheidsmarge die netbeheerders en toezichthouders in acht nemen, dus hoeveel redundante capaciteit er moet zijn boven op de optelsom van alle gecontracteerde capaciteit.

Door deze drie mitigerende maatregelen te combineren ("mitigatie 4a") ontstaat een beeld van de maximale extra laadmogelijkheden. Gezamenlijk leidt dit tot 11 procentpunt extra nieuwe elektrische voertuigen in 2040 ten opzichte van het baseline scenario.

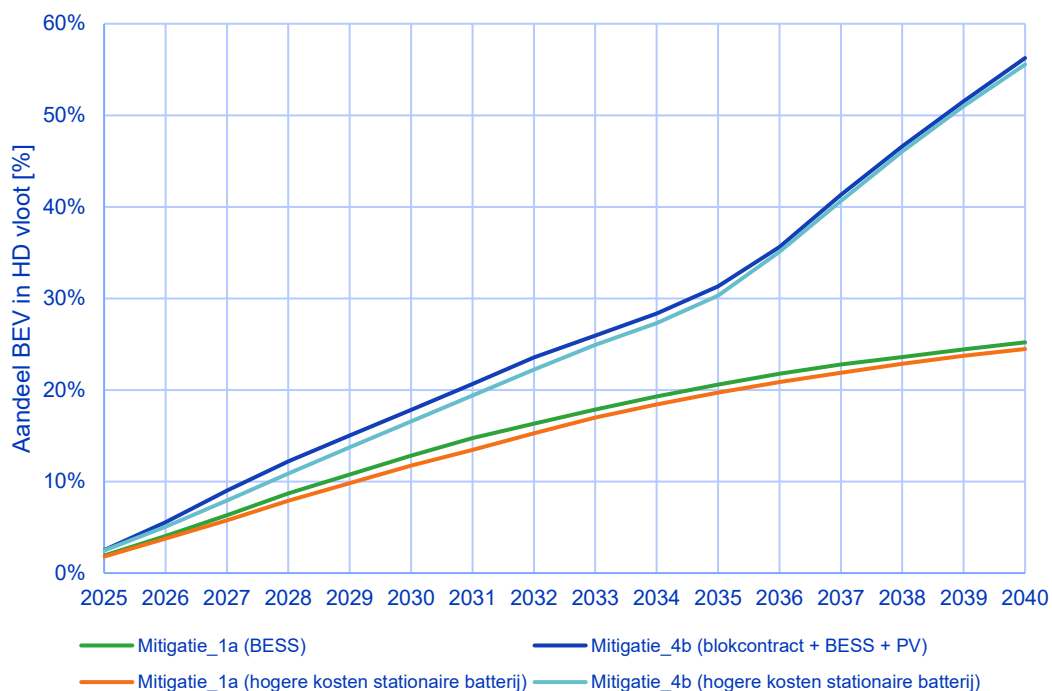


Figuur 3.4: Resultaten B-scenario's: baseline+ (waarbij het bestaande contract kan worden uitgebreid wanneer er op de locatie van een bedrijf geen sprake is van netcongestie) + toepassing van mitigerende maatregelen.

Indien de mitigerende maatregelen worden toegepast onder de aanname dat extra netinvesteringen ook maximaal zullen leiden tot extra netcapaciteit voor logistieke bedrijven, ontstaat een alternatief beeld van het aantal elektrische voertuigen dat kan instromen in de vloot en in de nacht kan opladen op het eigen depot ("mitigatie 1b, 2b, 3b en 4b"). Zoals te zien in Figuur 3.4 leidt dit tot maximaal 56% vlootaandeel elektrisch in 2040 ("mitigatie 4b"). Vanwege de onzekerheid in de snelheid waarmee blokcontracten en netverzwaring werkelijk zullen leiden tot extra capaciteit voor logistiek bedrijven moet dit worden gezien als een theoretisch maximum. In werkelijkheid zal er tijd verstrijken tussen het moment dat er regionaal meer netcapaciteit beschikbaar komt en het moment dat logistieke bedrijven hogere vermogens beschikbaar krijgen, waardoor het aantal elektrische voertuigen waarvoor voldoende netcapaciteit beschikbaar is op het eigen depot lager zal zijn dan dit theoretisch maximum.

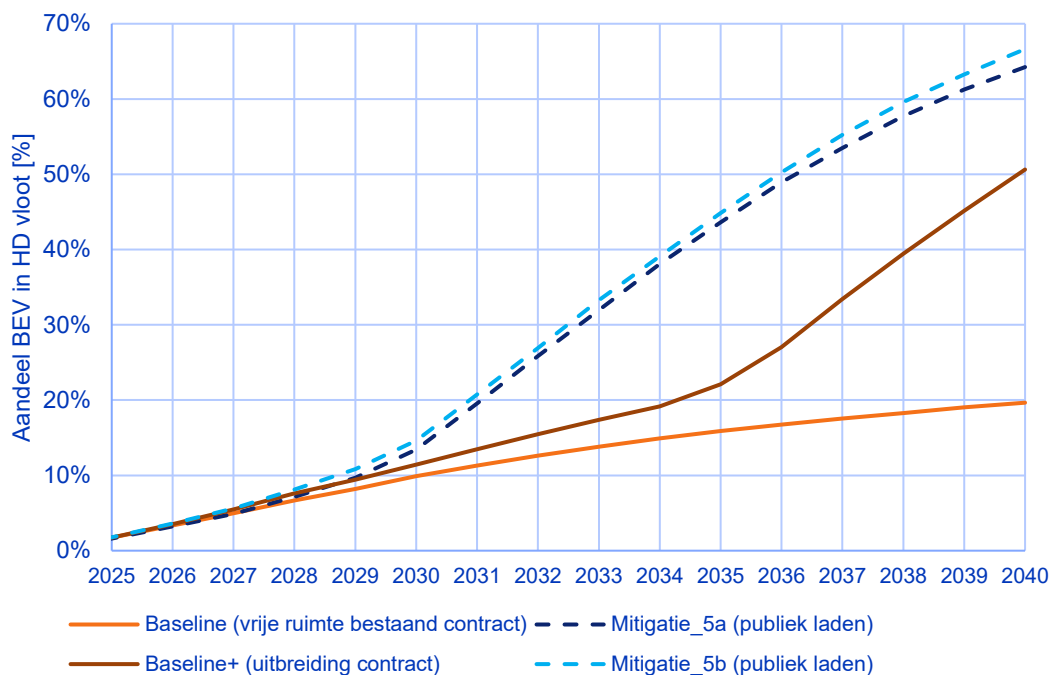
Om te bepalen hoe gevoelig de voertuigadoptie is voor de prijs van het stationaire batterijsysteem, is ook gerekend met een hogere batterijprijs.

Figuur 3.5 laat de vergelijking zien tussen mitigatiescenario's 1a en 4b met de varianten waarbij de kosten voor de stationaire batterijen ruim een factor twee hoger zijn dan in het centrale scenario, gebaseerd op een recente studie [9] (zie ook paragraaf 2.4). Het gevolg van deze hogere kosten is in 2030 een afname van 1% in het vlootaandeel elektrisch. Dit verschil neemt af richting 2040. Dit toont aan dat de adoptie van elektrische vrachtwagens niet erg gevoelig is voor de kosten van het stationaire batterijsysteem.



Figuur 3.5: Mitigatie-scenario's 1a en 4b vergeleken met varianten met factor twee hogere kosten voor stationaire batterijen (BESS).

De vierde mitigerende maatregel is, aanvullend op het baseline of baseline+ scenario, publiek laden ("mitigatie 5a en 5b"). Onder de aanname dat de benuttingsgraad van publieke laadpunten aanzienlijk zal toenemen tot 2040 (onderbouwd in Bijlage A.3.1.1) kan de prijs voor publiek laden in 2040 dalen tot een niveau dat 'slechts' €0,12 per kWh hoger is dan die van depotladen. Ondanks de aangenomen extra arbeidskosten voor de chauffeur tijdens laadsessies, leidt het gebruik van elektrische vrachtoertuigen in combinatie met publiek laden in veel gevallen toch tot een lagere TCO dan van equivalente dieselveertuigen. Indien de juiste hoeveelheid publieke laadinfrastructuur kan worden gerealiseerd (voldoende om te laden, maar niet zoveel dat de benuttingsgraad laag blijft), kan 65% van de vloot in 2040 uit elektrische vrachtoertuigen bestaan (zie Figuur 3.6). Echter, gegeven de beperkte netcapaciteit en beperkte capaciteit van bestaande aansluitingen op verzorgingsplaatsen en truckparkings en hun lage prioriteit in het prioriteringskader van de ACM [10], is het zeer onzeker of er voor deze scenario's wel tijdig voldoende publieke laadinfrastructuur kan worden gerealiseerd. Bovendien zijn logistieke bedrijven in dit geval zeer sterk afhankelijk van publieke laadinfrastructuur. Deze afhankelijkheid kan logistieke partijen een onzeker gevoel geven omdat er minder terugvalopties zijn. Bovendien bemoeilijkt enkel of aanvullend publiek laden de logistieke planning omdat er veel meer zal moeten worden geladen tijdens de operationele uren van de chauffeur en het voertuig. Ook bestaat de mogelijkheid dat dalende kosten per afgezette kWh niet of maar beperkt leiden tot een lagere laadprijs bij publieke laadpunten. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als CPO's meer kapitaal nodig hebben voor verdere uitbreiding van hun laadnetwerk. In het geval dat de laadprijs op het huidige niveau van rond €0,70 per kWh blijft hangen, is de TCO voor elektrische voertuigen niet lager dan die van dieselveertuigen en zal publiek laden geen kosteneffectieve mitigerende maatregel zijn.

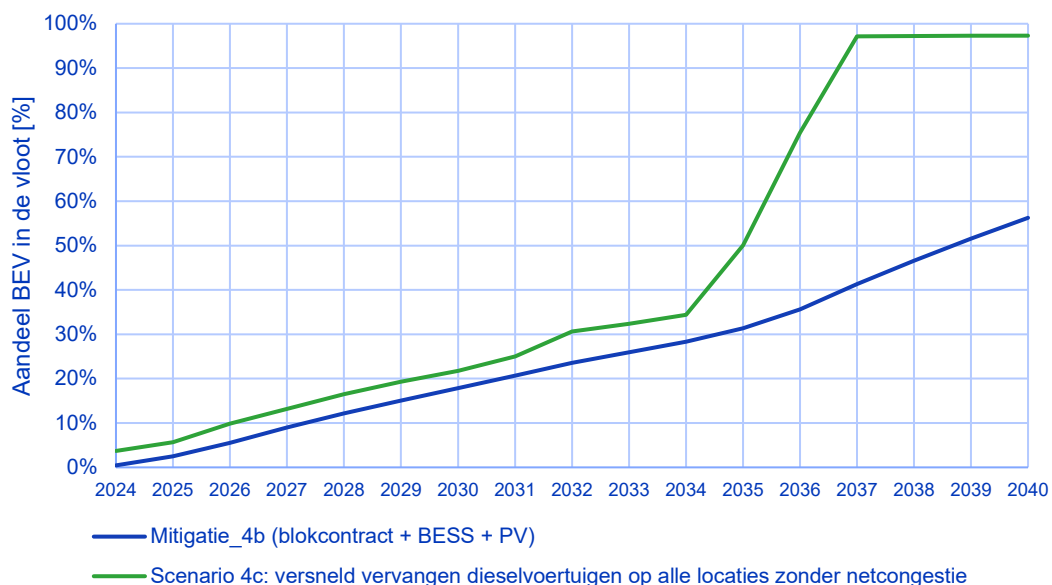


Figuur 3.6: Resultaten voor de scenario's 5a en 5b "baseline(+) en de rest publiek laden" vergeleken met baseline en baseline+. *) Scenario's m.b.t. publiek laden zijn aangegeven met een stippellijn, omdat netcongestie als belemmerende factor voor de uitrol van publieke laadinfrastructuur niet is meegenomen in deze scenario's.

De afhankelijkheid van publieke laders, onzekerheid over de laadprijsontwikkeling van publiek laden en de beperkte netcapaciteit die beschikbaar is voor (nieuwe) publieke laadpunten maakt dat de technische potentie van deze mitigatiemaatregel maar voor een beperkt deel zal kunnen worden gerealiseerd.

3.4 Versnelde vervanging van diesellovertuigen wanneer netcongestie lokaal is opgelost

Een hogere adoptiegraad dan hierboven beschreven, is mogelijk door het vervoegen of juist uitstellen van de vervanging van voertuigen. De uitstroom van voertuigen, die leidt tot de instroom van nieuwe voertuigen, is in het model gebaseerd op historische trends. In de praktijk is het echter mogelijk dat er na netverzwaring een versnelde uitstroom van diesellovertuigen plaatsvindt, doordat de vervanging van een diesellovertuig in afwachting op netverzwaring is uitgesteld, of doordat een diesellovertuig nadat netverzwaring heeft plaatsgevonden vervroegd wordt vervangen door een BEV.



Figuur 3.7: Resultaat scenario 4c vergeleken met mitigatie scenario 4b.

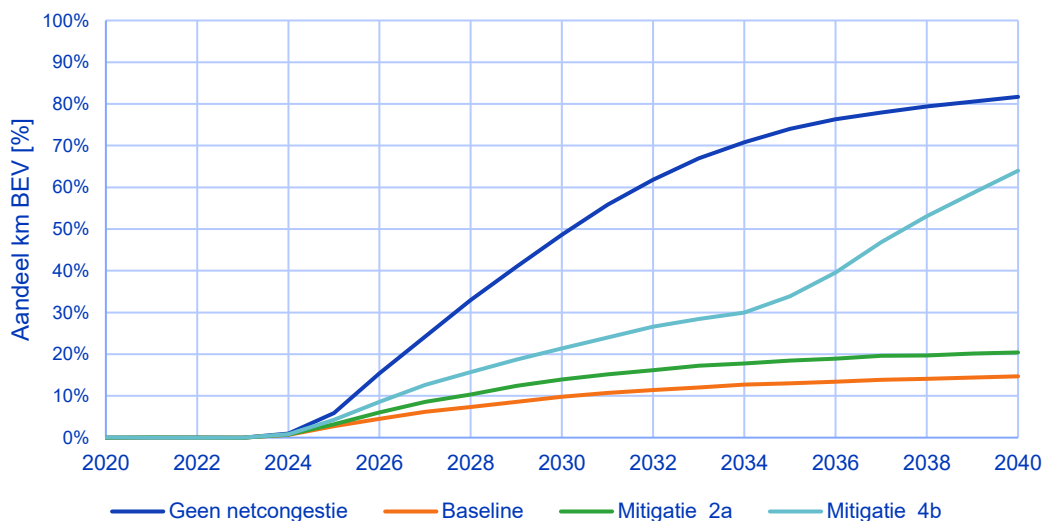
Specifiek voor het vervroegd vervangen zou dan gelden dat de TCO van een nieuw voertuig lager moet zijn dan dat van het huidige (diesel)voertuig inclusief de extra afschrijvingskosten. Kosteneffectiviteit als randvoorwaarde voor vervroegd vervangen is in dit scenario niet meegenomen en vereist verder onderzoek. De maximale potentie van het vervroegd vervangen van dieselveertuigen (scenario 4c) is weergegeven in Figuur 3.7. De maximale potentie is, aanvullend op scenario 'Mitigatie_4b', het aandeel van de diesel vloot dat staat geregistreerd op een locatie waar op dat moment geen sprake is van netcongestie. Mits onbeperkt vervroegd vervangen van dieselveertuigen mogelijk is, is de theoretisch maximale adoptiegraad dan 97%.

Om deze adoptiegraad van 97% in 2040 te bereiken zou binnen zes jaar bijna de gehele resterende dieselvloot vervangen moeten worden, wat in 2034 ongeveer 70% van de vloot is. In diezelfde periode worden ook eerder gekochte en nieuw gekochte elektrische voertuigen vervangen, in lijn met de historische trend. In totaal wordt over zes jaar een aantal voertuigen vervangen gelijk aan 102% van de totale vlootomvang in 2040. In een gangbaar scenario wordt in diezelfde periode een aantal voertuigen vervangen gelijk aan 57% van de totale vloot in 2040.

Deze extra vervanging betekent dat er veel meer nieuwe voertuigen nodig zullen zijn. Aan deze extra vraag kan worden voldaan door het tijdelijk vergroten van de productiecapaciteit voor elektrische trucks. Slechts een paar procent van de vrachtwagens die in de EU worden geproduceerd is bestemd voor de Nederlandse markt. Indien de tijdelijke extra behoefte aan productiecapaciteit in andere EU-landen beperkt is, is deze extra tijdelijke vraag vanuit Nederland wellicht te faciliteren binnen de bestaande productiefaciliteiten. Echter, in andere EU-landen loopt de adoptie van elektrische vrachtwagens momenteel achter bij die in Nederland. Ook in andere EU-landen zijn nog barrières te slechten om de adoptie te versnellen. Dit betreft barrières als netcongestie, maar ook benodigde investeringskosten. Indien de extra benodigde capaciteit niet kan worden gefaciliteerd met de huidige productiefaciliteiten, dient tijdelijk extra capaciteit te worden gerealiseerd. Dit vereist grote investeringen en tijd.

Aangezien het tijdelijk verhogen van de productiecapaciteit zal leiden tot relatief hoge productiekosten, zal dit in de praktijk waarschijnlijk maar beperkt plaatsvinden en mogelijk leiden tot hogere (of in ieder geval minder snel afnemende) voertuigprijzen. Naast extra productiecapaciteit in de EU is het ook mogelijk om extra voertuigen te importeren van buiten de EU.

3.5 Aandeel kilometers elektrisch



Figuur 3.8: Aandeel elektrisch in de gereden kilometers voor een selectie van scenario's.

Het aandeel elektrisch gereden kilometers in de totaal door Nederlandse vrachtwagens afgelegde kilometers, en daarmee ook de impact van elektrische trucks op de CO₂-emissies van goederenvervoer over de weg, is niet gelijk aan het aandeel elektrische trucks in de vloot.

In de 'a'-scenario's is de mate waarin netcongestie het aandeel kilometers elektrisch beperkt groter dan de mate waarin netcongestie het vlootaandeel elektrisch beperkt. In de 'a'-scenario's kan er alleen gebruik gemaakt worden van de vrije ruimte op de bestaande contractcapaciteit (evt. aangevuld met een blokcontract). In veel gevallen zorgt dit er voor dat voertuigen die veel kilometers maken, en dus een hoger laadvermogen zouden vragen, niet elektrisch kunnen zijn, omdat daar geen ruimte voor is binnen de bestaande energiecontracten. Hierdoor ligt in het baseline scenario het aandeel kilometers elektrisch lager dan het vlootaandeel elektrisch (20% vlootaandeel elektrisch vs. 15% kilometers elektrisch, zie Figuur 3.8 vergeleken met Figuur 3.2). Normaal gesproken is dit juist andersom, doordat de elektrische vloot relatief jonger zal zijn en meer kilometers maakt dan de oudere resterende diesel vloot.

Voor de 'b'-scenario's geldt dit effect op termijn niet. Daar ontstaat, omdat de contractcapaciteit wordt opgehoogd nadat de netcongestie is opgelost, meer ruimte voor voertuigen die veel kilometers maken. In 2040, voor scenario 'mitigatie-4b', is 64% van de kilometers elektrisch vs. 56% van het vlootaandeel.

4 Conclusies

Deze studie laat zien dat een tekort aan netcapaciteit leidt tot een lagere adoptie van elektrische vrachtwagens dan wat financieel aantrekkelijk zou zijn voor logistieke bedrijven. De analyses tonen aan dat mitigerende maatregelen (voornamelijk blokcontracten en BESS) een aanzienlijk positief effect kunnen hebben, maar dat het tekort aan netcapaciteit hiermee slechts gedeeltelijk kan worden opgevangen. Onder de aanname dat logistieke bedrijven alleen elektrische voertuigen zullen aanschaffen indien ze voldoende netcapaciteit hebben om de voertuigbatterijen éénmaal per dag op te laden, zal netcongestie een aanzienlijke barrière zijn voor de adoptie van elektrische vrachtvoertuigen.

Wanneer bedrijven enkel zijn aangewezen op de bestaande contractcapaciteit, blijft het vlootaandeel van elektrische vrachtwagens steken op 10% in 2030 en 20% in 2040, wat ongeveer een factor 3,5 lager is dan in het scenario zonder netcongestie. De beperkende impact op het aandeel elektrisch gereden kilometers is nog groter, doordat voertuigen met een hoog kilometrage vaker als gevolg van netcapaciteitsgebrek niet door elektrische voertuigen kunnen worden vervangen omdat daarvoor een hoger laadvermogen nodig is.

Onder de aanname dat er bij logistieke bedrijven grotere netaansluitingen kunnen worden gerealiseerd op het moment dat er lokaal netverzwaring heeft plaatsgevonden, neemt de adoptie toe tot maximaal 11% in 2030 en 51% in 2040. In werkelijkheid zal de adoptie waarschijnlijk lager uitpakken, omdat mobiliteit geen hoge prioriteit heeft in het prioriteringskader van het ACM. Hierdoor heeft een aantal andere vragers (zoals 'congestieverzachtters', ziekenhuizen, defensie, woningen, scholen en OV) voorrang bij capaciteitsuitbreiding.

De onderzochte mitigerende maatregelen zijn effectief, maar zijn niet voldoende om het de gevolgen van netcongestie teniet te doen. Met name stationaire batterijen (eventueel in combinatie met PV) en blokcontracten vergroten het adoptiepotentieel. Een combinatie van deze maatregelen bij de huidige netaansluitingen leidt tot een vlootaandeel van maximaal 16% in 2030 en 31% in 2040. Onder de aanname dat er bij logistieke bedrijven grotere netaansluitingen kunnen worden gerealiseerd op het moment dat er lokaal netverzwaring heeft plaatsgevonden, neemt de adoptie door mitigerende maatregelen toe tot maximaal 18% in 2030 en 56% in 2040.

De mitigerende maatregel waarbij elektrische vrachtvoertuigen voor een groot deel of volledig worden opgeladen bij publieke laadpunten, leidt tot een theoretisch adoptiepotentieel van maximaal 13% in 2030 en 64% in 2040. Echter, vanwege afhankelijkheid van publieke laders (onzekerheid voor gebruikers) in combinatie met de eveneens beperkte netcapaciteit voor nieuwe publieke laadpunten, is de werkelijke potentie van de maatregel 'publiek laden' waarschijnlijk zeer beperkt.

De ingeschatte technische potentie (= maximaal effect) van de verschillende scenario's zal de praktijk waarschijnlijk niet volledig benut (kunnen) worden. Waarschijnlijk zal slechts een deel van de logistieke partijen (tijdelijk) gebruikmaken van batterijsystemen en zal de potentie van blokcontracten maar gedeeltelijk kunnen worden benut. Ook zal meer netcapaciteit in de regio niet meteen leiden tot grotere aansluitingen en contracten voor logistieke bedrijven in de periode na 2035 vanwege de lage prioriteit in het prioriteringskader van het ACM.

De verwachting is dat de vrije ruimte op bestaande contracten in elk geval benut zal worden. Indien daarbovenop de potentie van stationaire batterijen, blokcontracten en netverzwaring voor 20% à 80% zal worden benut, leidt dit respectievelijk tot 45.000 (27% vlootaandeel) à 82.000 (49% vlootaandeel) elektrische vrachtwagens in 2040.

Een hogere adoptiegraad kan ook nog worden gerealiseerd door een versnelde vervanging van dieselloortuigen nadat netcongestie lokaal is opgelost. Vanaf 2037 staat namelijk 97% van de voertuigen geregistreerd op een locatie waar dan geen sprake meer zou moeten zijn van netcongestie. Om in 2040 de theoretisch maximale adoptiegraad van 97% te halen zou binnen zes jaar een aantal voertuigen moeten worden vervangen gelijk aan ongeveer de gehele vlootomvang in 2040. Dit zou tijdelijke verhoging van de Europese productiecapaciteit behoeven of extra import van voertuigen van buiten de EU. De mate waarin dit kan worden gerealiseerd en wat hiervan de (externe) effect zijn, zou moeten worden bepaald in additioneel onderzoek.

5 Discussie

De uitgevoerde analyse is een simplificering van de werkelijkheid.

Hieronder volgt een overzicht en discussie van enkele simplificaties en onzekerheden in aannames die kunnen leiden tot andere resultaten dan zoals in de voorgaande hoofdstukken gepresenteerd:

- De ontwikkeling prijsontwikkeling van elektrische vrachtwagens heeft een sterke invloed op de aantrekkelijkheid. Deze ontwikkeling is erg onzeker en wordt bepaald door de onder andere de prijsontwikkeling van batterijen en een opslagfactor (verschil tussen productiekosten en verkoopprijs). Voor deze analyse is één kostenontwikkelingspad per aandrijftechnologie opgesteld. Indien de werkelijke prijs hoger uitvalt, zal de adoptie waarschijnlijk minder snel gaan, als de prijs lager uitvalt, zal de adoptie mogelijk juist sneller gaan.
- Het bestaande model gaat uit van een standaard inzetprofiel voor alle vrachtvoertuigen, namelijk dat ze overdag rijden en 's-nachts stilstaan op eigen depot, waar de batterij opgeladen kan worden. In werkelijkheid komt een deel van de voertuigen in de middag ook (tijdelijk) terug op het eigen depot. Aangezien logistieke bedrijven typisch de hoogste vermogensvraag overdag hebben, is er dan relatief weinig vermogen beschikbaar op bestaande contracten om voertuigen op te laden. Daar staat tegenover dat een deel van de vloot 's nachts niet op het eigen depot komt. Dit deel zal juist moeilijker te vervangen zijn door elektrische voertuigen.
- De adoptie van elektrische aandrijvingen onder buitenlandse voertuigen wordt niet gemodelleerd. Indien het aandeel nieuw verkochte nulemissievoertuigen in Nederland lager is dan wat voertuigfabrikanten Europa-breed moeten realiseren om de CO₂-normen te halen, zullen ze in andere EU lidstaten extra nulemissievoertuigen moeten verkopen. Aangezien netcongestie niet in alle landen een even groot probleem is als in Nederland, zou dit in theorie kunnen. In dat geval zou het aandeel elektrische voertuigen in de buitenlandse vloot groter kunnen zijn dan in de Nederlandse vloot. Hierdoor zouden buitenlandse voertuigen ook een extra beslag leggen op de beschikbare capaciteit bij publieke laadpleinen en truckparkings. Indien de mogelijkheden voor het realiseren of uitbreiden van publieke laadinfra beperkt zijn, zal hierdoor de potentie van de mitigatiemaatregel "publiek laden" afnemen voor Nederlandse voertuigen.
- Mogelijke inkomsten door te handelen op de energiemarkt zijn niet meegenomen in het model. Dit is niet de kernactiviteit van een logistiek bedrijf en de verwachting is dat deze markt op termijn verzadigd zal raken door energieopslag in grootschalige batterijen.
- De kans dat een voertuig wegvalt uit het wagenpark wordt bepaald op basis van de leeftijd en kilometerstand. Op termijn zou TCO hierbij eveneens een rol kunnen spelen, indien het economisch voordeliger is een dieselloot vervroegd te vervangen door een EV dan ermee door te rijden. In de huidige vorm van het model wordt de TCO alleen bepaald bij nieuwe voertuigen na 'natuurlijke vervanging'. Daardoor kan het effect van 'vervroegde vervanging' nog niet nauwkeurig worden bepaald met het model. Wel is op een versimpelde manier in kaart gebracht wat het maximale effect zou zijn zonder de voorwaarde dat de TCO van EV gelijk of lager moet zijn dan die van equivalente dieselloot. In de toekomst zal het integraal opnemen van vervroegde vervanging een nauwkeuriger beeld geven van het potentiële effect.

- ZE-zones dwingen vlooteigenaren ertoe om nulmissievrachtwagens aan te schaffen, wat bij voorkeur vaak elektrische vrachtwagens zullen zijn. Hierdoor zou er ook adoptie van elektrische vrachtwagens kunnen zijn als de TCO ervan hoger is dan die van dieselveertuigen. Dit zou vooral op korte termijn kunnen spelen wanneer de TCO voor elektrisch nog niet gunstig is voor bepaalde toepassingen. Het effect hiervan zal waarschijnlijk beperkt zijn en daarom is dit niet meegenomen in de analyse.
- Het effect van de vrachtwagenheffing is alleen meegenomen op de kosten per gereden kilometer in de TCO berekeningen. De vrachtwagenheffing kan ook stimulerend werken voor de logistieke efficiëntie, doordat de kostendruk verder naar variabele kosten verschuift. Met een verhoogde efficiëntie kan het relatieve kostenverschil tussen elektrisch en diesel kleiner zijn, wat de elektrificatie marginaal kan vertragen.
- Het technisch adoptiepotentieel van elektrische vrachtwagens is gebaseerd op TCO (lager dan van diesel), voldoende netcapaciteit om te laden en voldoende actieradius. Bij de aankoopbeslissing spelen ook andere factoren een rol, zoals financierbaarheid van de (hogere) aankoopprijs of de wens voor meer flexibiliteit om ad-hoc nog een extra lange rit te kunnen doen.
- Belangrijk voor de TCO van elektrische vrachtwagens zijn de voertuigprijsontwikkelingen. Deze kunnen in de praktijk anders zijn dan in deze studie aangenomen waardoor de elektrificatie langzamer of sneller kan verlopen. De gevoeligheid hiervoor is niet meegenomen in dit onderzoek. In de KEV 2026 wordt wel een bandbreedte gehanteerd om recht te doen aan de verschillende onzekerheden waaronder TCO-ontwikkelingen.

Referenties

- [1] TNO, TNO Kennisinbreng Mobiliteit voor Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2024, 2024.
- [2] TNO, Methode voor het bepalen van vlootontwikkeling van Nederlandse bedrijfsvoertuigen (TEHUP), 2026.
- [3] CBS, „Elektriciteit op bedrijfsadressen met bedrijfsvoertuigen deel 1, 2022,” 19 01 2026. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2026/04/elektriciteit-op-bedrijfsadressen-met-bedrijfsvoertuigen-deel-1-2022>. [Geopend 20 01 2026].
- [4] Ministerie van Klimaat en Groene Groei, Aansluitoffensief - acht doorbraken voor betere benutting van het elektriciteitsnet, 2026.
- [5] Liander, „Verbruiksprofielen grootverbruikaansluitingen elektriciteit,” 2023. [Online]. Available: <https://www.liander.nl/over-ons/open-data#verbruiksprofielen-gv-elektriciteit>. [Geopend 01 11 2025].
- [6] Netbeheer Nederland, „Capaciteitskaart elektriciteitsnet,” 2026. [Online]. Available: <https://data.partnersinenergie.nl/capaciteitskaart/totaal/afname>. [Geopend 24 02 2026].
- [7] TNO, „Techno-economic uptake potential of zero emission trucks in Europe,” 2022.
- [8] BloombergNEF, december 2025. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/insights/clean-transport/lithium-ion-battery-pack-prices-fall-to-108-per-kilowatt-hour-despite-rising-metal-prices-bloombergnef/>.
- [9] NREL, „NREL, Cost Projections for utility-Scale Battery Storage: 2025 Update, 2025,” 2025.
- [10] ACM, „Besluit van de Autoriteit Consument en Markt van 2 december 2025, kenmerk ACM/UIT/652233 tot wijziging van de tariefstructuren en voorwaarden als bedoeld in artikel 31 van de Elektriciteitswet 1998 betreffende prioriteringsruimte bij transportverzoeken,” 2025.
- [11] Liander, „Tarieven Grootzakelijk,” 2026. [Online]. Available: <https://www.liander.nl/grootzakelijk/tarieven>. [Geopend 05 01 2026].
- [12] ACM, „Ontwikkeling netkosten tot 2050 en de kostenverdeling over groepen gebruikers,” 2024.
- [13] ICCT, „Total cost of ownership for tractor-trailers in Europe: Battery Electric versus Diesel,” 2021.

Ondertekening

TNO) Mobility & Built Environment) Den Haag, 28 augustus 2026

F. Beemster
Research Manager

M.J. Zult
Auteur

Bijlage A

Modelarchitectuur, voertuigconfiguraties en TCO

A.1 Modelarchitectuur

Keuze aandrijftechnologie op basis van TCO en inzetbaarheid

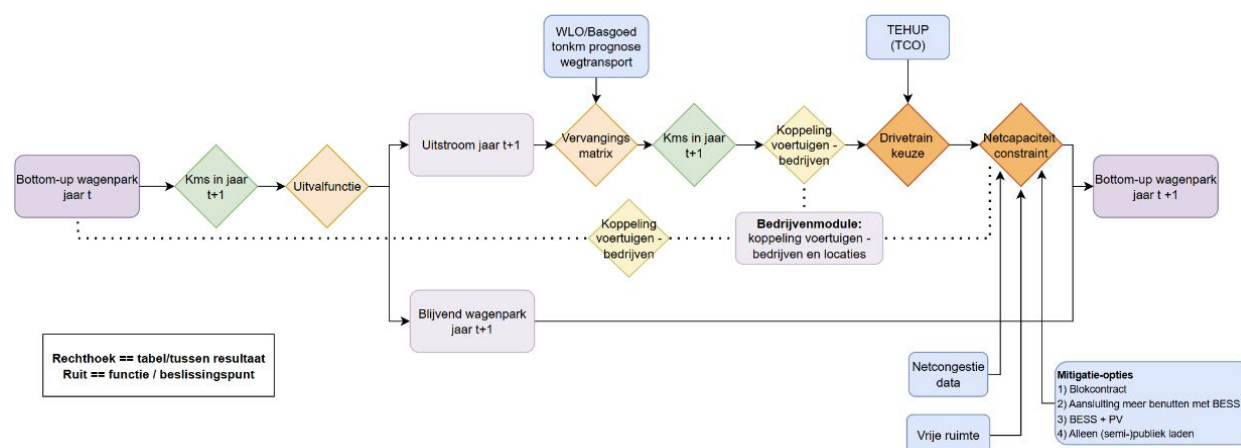
TNO heeft een 'bottom-up' wagenparkmodel ontwikkeld. Dit betekent dat de ontwikkeling van het wagenpark wordt bepaald aan de hand van keuzes op individueel voertuigniveau. Voor het eerste jaar (nu) is voor elk voertuig de leeftijd en aandrijftechnologie bekend en is van 82% van de bestaande vloot het werkelijk jaarkilometrage achterhaald. Voor voertuigen waarvan dit niet bekend is, wordt een jaarkilometrage getrokken uit een kansverdeling die afhankelijk is van leeftijd en kilometerstand. Deze kansverdeling is afgeleid uit historische data en wordt ook gebruikt voor het bepalen van de jaarkilometrages in opvolgende jaren. Zo wordt met het model voor elk voertuig in de vloot in elk zichtjaar de voertuigleeftijd en de kilometerstand en jaarkilometrage bepaald.

Voor elk jaar wordt per individueel voertuig op basis van leeftijd en gereden kilometers de kans bepaald dat het voertuig uit het wagenpark zal verdwijnen. Indien een voertuig het wagenpark verlaat, wordt bepaald of en door welk voertuigtype het wordt vervangen en hoeveel kilometers dit voertuig zal rijden. Dit gebeurt op basis van historische trends in de ontwikkeling van aandelen van verschillende voertuigcategorieën en de ontwikkeling van de vraag naar logistiek. Vervolgens wordt per individueel voertuig bepaald wat de meest aantrekkelijke aandrijftechnologie zal zijn op basis van een uitgebreide TCO-analyse en de inzetbaarheid van voertuigen (voldoende actieradius). Hierbij wordt ook rekening gehouden met beleidsontwikkelingen zoals subsidies, belastingen en de vrachtwagenheffing.

Voldoende netcapaciteit randvoorwaarde voor keuze elektrisch

Alle voertuigen worden toegekend aan bedrijven² die zijn gevestigd op een bepaalde locatie. Indien een bedrijf meerdere vestigingen heeft, worden voertuigen hierover verdeeld op basis van informatie verkregen van CBS. Per vestigingslocatie wordt bepaald hoeveel ruimte er nog bestaat binnen het bestaande energiecontract om voertuigen te kunnen laden. Dit gebeurt op basis van recent onderzoek van CBS [3]. Zo wordt bepaald voor hoeveel voertuigen, waarvoor een batterij-elektrische aandrijving economisch het meest aantrekkelijk is, ook daadwerkelijk voldoende elektriciteit beschikbaar is om ze in de nacht op te laden binnen bestaande energiecontracten. Indien er geen ruimte is op het bestaande contract, wordt vastgesteld of een bedrijf in een gebied ligt waar netcapaciteit beschikbaar is, en er dus mogelijk een grotere aansluiting zou kunnen worden gerealiseerd. Wanneer beide opties geen ruimte bieden, wordt vervolgens berekend of voertuigen opgeladen kunnen worden indien logistieke bedrijven mitigerende maatregelen nemen (zie paragraaf 2.3).

² Hierbij wordt geen bedrijfsgevoelige informatie gebruikt.



Figuur A.1: Versimpeld overzicht van het TNO 'bottom-up' wagenparkmodel.

Gegeven dat de doelstelling van dit project is om inzicht te verschaffen in (effecten van netcongestie op) de adoptiesnelheid van elektrische vrachtwagens, wordt verder in deze bijlage voornamelijk aandacht besteed aan de aannames en methodologische aspecten die bepalend zijn voor aandrijftechnologiekeuze. Die omvatten de voertuigconfiguraties, TCO, beschikbare netcapaciteit en mitigerende maatregelen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van aannames en methodologische aspecten met betrekking tot de uitval van voertuigen en de instroom in termen van voertuigaantallen en voertuigtypen, alsook de voertuiginzet, wordt verwezen naar de eerder genoemde uitgebreide modelbeschrijving in een apart TNO rapport [2].

A.2 Voertuigconfiguraties

De voertuigen worden geclassificeerd aan de hand van vier voertuigtypen: lichte bakwagen, middelzware bakwagen, zware bakwagen en trekker-oplegger. De eigenschappen per voertuigtype, van zowel de diesel- als de elektrische variant, staan in Tabel A.1. Per elektrische variant bestaan er 3 configuraties met een variërende batterijcapaciteit. Voor de actieradius is de verwachte verbetering in energiegebruik per kilometer meegenomen. De ondergrens van de bandbreedte representeert de actieradius in 2025 en de bovengrens de actieradius in 2035.

Tabel A.1: Eigenschappen per voertuigtype van de diesel- en elektrische varianten.

Voertuigtype	GVW range	Aandrijf-technologie	Batterij-capaciteit	Actieradius	Motorvermogen [kW]
Lichte bakwagen	3,5 – 10 ton	Diesel	n.v.t.	n.v.t.	150
Lichte bakwagen	3,5 – 10 ton	Elektrisch	100 kWh 150 kWh 200 kWh	201 – 233 km 304 – 347 km 405 – 463 km	158
Middelzware bakwagen	10 – 20 ton	Diesel	n.v.t.	n.v.t.	197
Middelzware bakwagen	10 – 20 ton	Elektrisch	125 kWh 200 kWh 300 kWh	183 – 211 km 296 – 340 km 444 – 509 km	208
Zware bakwagen	20+ ton	Diesel	n.v.t.	n.v.t.	318

Voertuigtype	GVW range	Aandrijf-technologie	Batterij-capaciteit	Actieradius	Motorvermogen [kW]
Zware bakwagen	20+ ton	Elektrisch	350 kWh 569 kWh 750 kWh	386 – 431 km 614 – 692 km 810 – 912 km	336
Trekker- oplegger	3,5 – 50 ton ³	Diesel	n.v.t.	n.v.t.	330
Trekker- oplegger	3,5 – 50 ton	Elektrisch	440 kWh 715 kWh 915 kWh	345 – 386 km 560 – 631 km 717 – 808 km	348

A.3 TCO

Zoals benoemd in paragraaf A.1 wordt per individueel voertuig bepaald wat de meest aantrekkelijke aandrijftechnologie is op basis van een uitgebreide TCO-analyse. De belangrijkste kostenonderdelen worden in deze paragraaf uitgelegd. De methode voor het bepalen van de TCO is gelijk aan hetgeen uitgebreid is toegelicht in [7].

A.3.1 Energieprijzen

Zeer bepalend voor de TCO zijn de energieprijzen waarmee gerekend wordt. In deze sectie leggen we uit hoe de laadtarieven (voor depot en publiek laden) en de dieselprijzen tot stand zijn gekomen.

A.3.1.1 Laadtarieven

Depotladen

De kosten voor depotladen worden bij ieder nieuw individueel voertuig bottom-up bepaald. Voor het bepalen van de Levelised cost of charging (LCOC) is onderstaande functie opgesteld:

$$LCOC = \frac{\sum_{i=0}^N (C_{equipment_i} \cdot CRF_i + C_{O\&M,i})}{E_{charging,annual}} + \frac{C_{electricity} \cdot (100 - \%_{solar})}{\eta_{charging}}$$

Kosten van laadinfra + MM
Jaarlijks energiegebruik nieuwe truck

De functie voor de LCOC bevat de volgende kostenonderdelen:

1) Kosten voor laadinfrastructuur en evt. andere apparatuur

De jaarlijkse kosten van de voor het laden gebruikte apparatuur zijn een som van aanschafkosten (equipment, CAPEX) en operationele- en onderhoudskosten (O&M, OPEX):

$$\sum_{i=0}^N (C_{equipment_i} \cdot CRF_i + C_{O\&M,i})$$

N = aantal apparaten, i = apparaat

³ Bij trekker oplegger gaat het om de maximum massa van de samenstelling. De specificaties zijn representatief voor de bovenkant van de bandbreedte (40-50 ton), wat representatief is voor 90% van de trekker-opleggers.

Ieder voertuig heeft een bepaald inzetprofiel (jaarkilometrage) en een gemiddeld energiegebruik per kilometer (op basis van voertuigtype). Hieruit wordt afgeleid hoeveel energie (kWh) er typisch geladen moet worden in de nacht. Gecombineerd met de beschikbare tijd om te laden leidt dat tot een bepaalde vermogensvraag voor het laden, op basis waarvan de meest geschikte lader wordt uitgekozen. Indien van toepassing, worden ook de kosten voor een batterij en/of PV meegenomen in deze berekening.

De Capital Recovery Factor (CRF) wordt gebruikt om de CAPEX om te rekenen naar jaarlijkse kosten:

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1},$$

r = rentevoet, n = levensduur in jaren

Deze verschilt per apparaat afhankelijk van de levensduur waarmee gerekend wordt.

2) Elektriciteitskosten

De elektriciteitskosten ($C_{electricity}$) zijn opgebouwd uit de volgende onderdelen:

➤ Eindgebruiker-elektriciteitsprijs

De aangenomen elektriciteitsprijs is hetzelfde bij iedere voertuigkeuze. De ontwikkeling van de kale elektriciteitsprijs is aangeleverd door PBL (in lijn met de KEV 2026).

➤ Energiebelasting

Bij de energiebelasting is er sprake van staffelkorting, dat wil zeggen hoe hoger de afgenomen energie, hoe lager de energiebelasting per afgenomen kWh. In onderstaande tabel staan de energiebelasting-schijven in 2026. Bepalend hierbij is de totaal afgenomen energie op de vestigingslocatie van het bedrijf waaraan het voertuig gekoppeld is. De totale energievraag van het bedrijf bestaat uit een factor (op basis van typisch verbruiksprofiel logistiek bedrijf [5]) vermenigvuldigd met de bestaande contractcapaciteit (uitleg hierover in paragraaf 2.2.1) plus de jaarlijkse energievraag van de elektrische voertuigen van het bedrijf (incl. het nieuwe voertuig).

Energiebelasting in 2026	€/kWh
2.901 t/m 10.000 kWh	0,09161
10.001 t/m 50.000 kWh	0,0667
50.001 t/m 10 miljoen kWh	0,0374
Meer dan 10 miljoen kWh	0,00310

➤ Aansluit- en transportkosten

De aansluit- en transportkosten zijn gebaseerd op kostenoverzichten van Liander [11]. Daarnaast zijn de verwachte kostenstijgingen van de nettarieven meegenomen, gebaseerd op een rapport van de ACM [12]. Deze studie heeft vier kostenscenario's doorgerekend, wij hebben het gemiddelde genomen van de vier scenario's.

Daarnaast is de laadefficiëntie meegenomen als toeslag op de elektriciteitskosten ($\frac{C_{electricity}}{\eta_{charging}}$).

3) Vermeden kosten voor elektriciteitsafname uit het net dankzij PV

Wanneer PV onderdeel is van het systeem (in combinatie met een stationaire batterij), worden de vermeden kosten dankzij PV (als gevolg van minder elektriciteitsafname uit het net voor het laden van het voertuig) afgetrokken van de balans.

De aanschaffkosten en de operationele – en onderhoudskosten voor de PV + BESS worden meegenomen in de apparatuurkosten van de laadinfrastructuur op het depot. Het per voertuig ingezette PV-vermogen wordt geschaald met de stationaire batterijcapaciteit om tot de laagste LCOC te komen, zoals toegelicht in paragraaf 2.3.2.

Mediane kostenontwikkeling voor het laden

Zoals eerder vermeld, worden per individueel voertuig de kosten voor het laden bepaald. In de modellering is er dus sprake van een bepaalde spreiding in kosten voor depotladen, omdat de omstandigheden variëren bij verschillende individuele voertuigen en bedrijven. Gegeven bovenstaande methode, staat de mediane kostenontwikkeling voor laden op depot (excl. batterij/PV) weergegeven in A.2. De toename van de kosten voor depotladen komt door de verwachte stijging van de nettarieven.

Publiek laden

De kostprijs van laden op (semi-)publieke laadpleinen hangt sterk af van de elektriciteitsprijs en de benutting van de laadinfra. De energieprijs is in deze studie een gegeven, waardoor de benutting bepalend is voor de kostprijs.

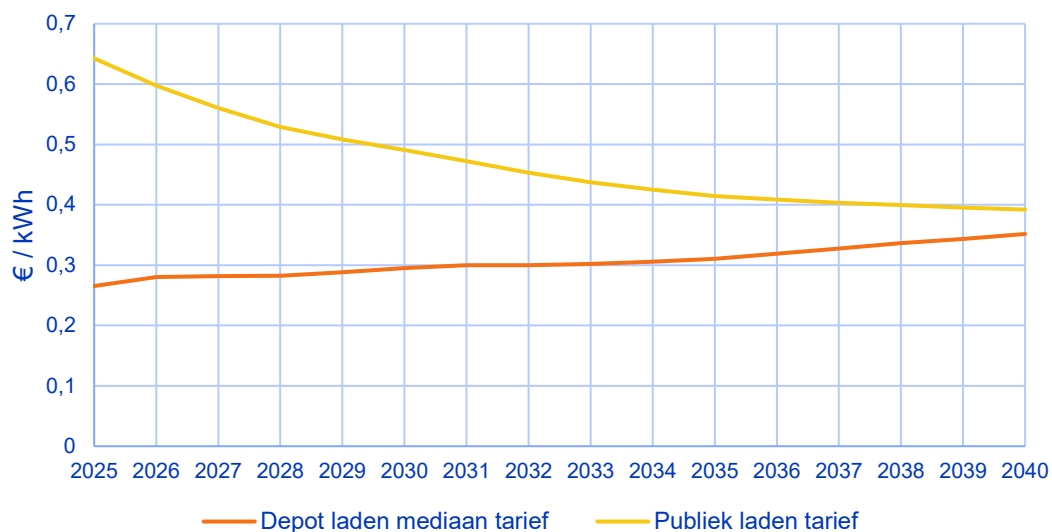
Buitenlandse voertuigen zullen voor een groot deel afhankelijk zijn van publieke laadinfra. Daarom is bepaald welke combinatie van benuttingsgraad en laadprijs mogelijk is door laadsessies van deze buitenlandse voertuigen. Indien naast deze buitenlandse vrachtwagens ook Nederlandse vrachtwagens gaan snelladen, zal de benuttingsgraad omhoog gaan of zal er meer publieke laadinfra worden ontwikkeld bij een vergelijkbare bezetting. In ieder geval kan op basis van de benutting als gevolg van het gebruik door buitenlandse vrachtwagens een indicatie worden afgeleid van de ontwikkeling van de kostprijs van snelladen.

In 2024 werd volgens CBS ongeveer 24% van de kilometers op het Nederlandse wegennet afgelegd met buitenlandse vrachtwagens. Onder de aannames weergegeven in A.2 zal er in 2040 ongeveer 265 GWh nodig zijn en zal dit leiden tot een behoefte van ongeveer 990 snellaadpunten $((1 \text{ mld km} * 1,1 \text{ kWh/km} * 39\% \text{ EV} * 50\% \text{ laden in NL}) / (500 \text{ kW} * 7\% \text{ bezetting}))$. Gegeven dat er ongeveer 325 verzorgingsplaatsen en truckparkings zijn, zullen er in 2040 ongeveer drie snellaadpunten nodig zijn per locatie om de buitenlandse voertuigen te faciliteren.

Tabel A.2: Aannames ten aanzien van de elektrische energievraag van buitenlandse elektrische vrachtoertuigen in 2025 en 2040.

	2025	2040
Gemiddeld snellaadvermogen [kW]	350	500
Gemiddelde benuttingsgraad van (semi)publieke laadpunten	2,5%	7,0%
Gemiddeld energiegebruik van vrachtwagens [kWh/km]	1,4	1,1
Aandeel elektrisch in buitenlandse voertuigen	0%	39%
Aandeel van energie dat buitenlandse voertuigen in Nederland laden	50%	50%

De ontwikkeling van kosten voor publiek laden, onder de aangenomen ontwikkeling van de bezettingsgraad door buitenlandse voertuigen, staat weergegeven in Figuur A.2.



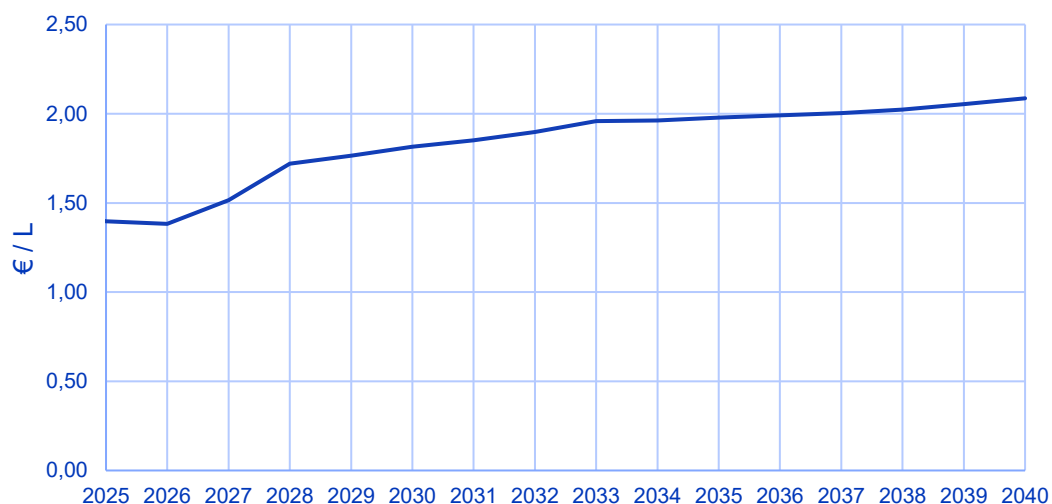
Figuur A.2: Kostenontwikkeling laden op depot en publiek laden.

A.3.1.2 Dieselprijzen

De dieselprijsontwikkeling is aangeleverd door PBL (in lijn met de KEV 2026) en is weergegeven in Figuur A.3. Het gaat om de dieselprijs aan de pomp, exclusief BTW.

Deze bevat de volgende componenten:

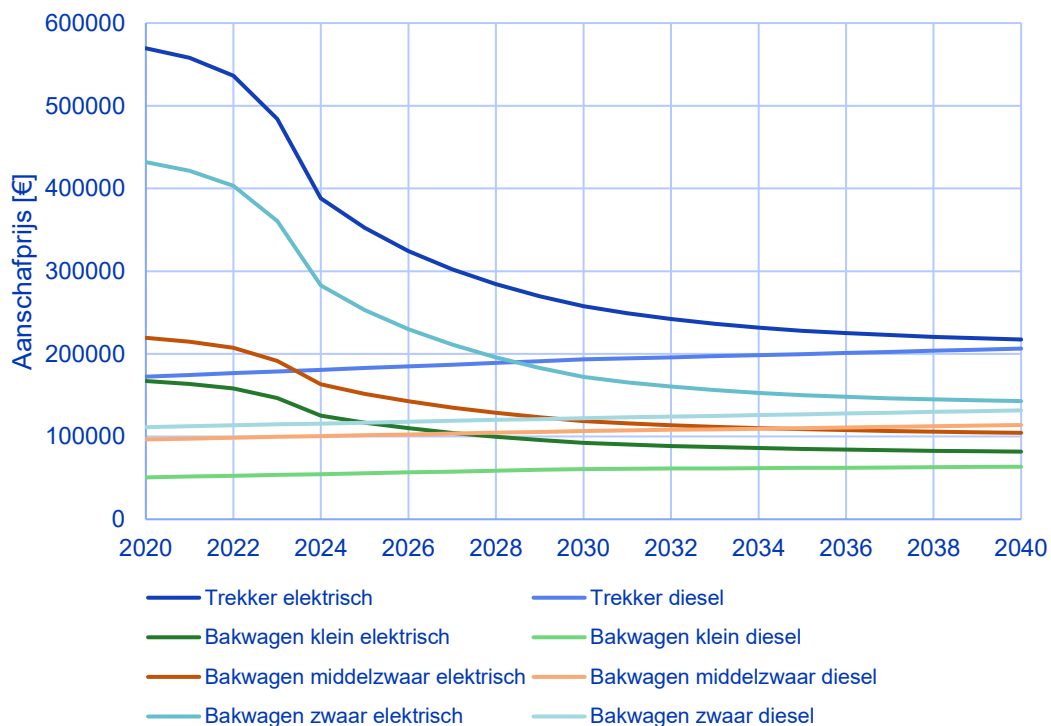
- kale dieselprijs;
- effect RED III;
- effect ETS 2 (vanaf 2028);
- accijnzen.



Figuur A.3: Ontwikkeling van de dieselprijs, excl. BTW (pompprijs, in prijspeil 2025).

A.3.1.3 Voertuigprijzen

De voertuigprijzen zijn bottom-up gemodelleerd met een methode die uitgebreid beschreven staat in een eerder rapport van TNO [7]. De resulterende voertuigprijzprojecties (in pp2025) staan in Figuur A.4.



Figuur A.4: Voertuigprijzprojecties in prijspeil 2025, exclusief aanschafsubsidies

A.3.2 Effecten van beleid op TCO

Beleid dat significant impact heeft op de TCO is meegenomen. ETS-2 en RED III zorgen voor een hogere dieselprijs. Ook het effect van de vrachtwagenheffing op de TCO is meegenomen. Eventuele effecten van de vrachtwagenheffing op de inzet van vrachtwagens, bijvoorbeeld als gevolg van een lagere vraag naar goederen, wijziging van productielocaties of hogere beladingsgraden is niet meegenomen in de analyse. Daarnaast is het effect van AanZET-subsidies (Aanschafsubsidie Zero-Emissie Trucks) en ERE's (Emissiereductie-eenheden) meegenomen.

A.3.3 Overige kosten

De overige kosten die een rol spelen in de uitgebreide TCO-vergelijking zijn:

- Onderhoud: Onderhoudskosten zijn gebaseerd op een studie van ICCT [13]: €22,54 / 100km (diesel) en €16,13 / 100km (elektrisch), beide in pp2025.
- Chauffeurskosten voor laden: Loonkosten voor de chauffeur zijn meegenomen in monetarisering van de tijd die verloren gaat, wanneer er publiek geladen dient te worden. Dit komt neer op €34 per uur in prijspeil 2025.

Mobility & Built Environment

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
www.tno.nl