



# Analyse kosteneffectiviteit Electric Road Systems (ERS) voor Nederland

Maart 2022

**TITEL**

Analyse kosteneffectiviteit Electric Road Systems (ERS) voor Nederland

**DATUM**

Maart 2022

**STATUS RAPPORT**

Eindrapport

**OPDRACHTGEVER**

Ministerie van IenW

**PROJECTTEAM DECISIO**

Kees van Ommeren

Peter Haanen

Martijn Lelieveld

**EV CONSULT**

Michiel Aldenkamp

Thijs van der Woude

Ruud van Sloten

**SWECO**

Jeroen Quee

Walther Ploos van Amstel

Foto omslag: Siemens

**CONTACTGEGEVENS DECISIO | ECONOMISCH ONDERZOEK EN ADVIES**

Valkenburgerstraat 212

1011 ND Amsterdam

T 020 - 67 00 562

E [info@decisio.nl](mailto:info@decisio.nl)

I [www.decisio.nl](http://www.decisio.nl)

# Inhoudsopgave

Samenvatting	0
Antwoorden op de onderzoeksvragen	6
Gebruikte termen en afkortingen	11
1.    Inleiding	13
1.1    Aanleiding en vraagstelling	13
1.2    Aanpak onderzoek	14
1.3    Leeswijzer	15
2.    Analyse wegvervoerstromen	16
2.1    Wegvervoer in Nederland, veel binnenlands vervoer, grote verschillen in dagafstanden	16
2.2    Distributienetwerken liggen in en rond de Randstad	18
2.3    Verdeling over het netwerk	21
2.4    Conclusies	23
3.    Kostenvergelijking van zero emissie vrachtvervoer	24
3.1    TCO zero emissie vervoer wordt concurrerend	24
3.2    Business case vervoerders: meer dan TCO	28
3.3    Voor welke ritten is ERS interessant?	29
4.    ERS-netwerkalternatieven	31
4.1    Drie netwerkalternatieven	31
4.2    De potentiële vraag per alternatief	32
4.3    Resulterende TCO	36
4.4    ERS kan vraag rendabel accommoderen	39
4.5    Conclusie: Variant 1 niet rendabel, varianten 2 en 3 onder voorwaarden wel	40
5.    Maatschappelijke effecten	41
5.1    Investerings- en operationele kosten van het netwerk	41
5.2    Aanloopverliezen van ERS	42
5.3    TCO's inclusief aanloopverliezen nog steeds aantrekkelijk	43
5.4    Hinder van aanleg ERS valt mee	45

5.5	Nog onduidelijkheid over investeringskosten in het diepe elektriciteitsnetwerk	45
5.6	CO <sub>2</sub> -emissiereductie tot een derde mogelijk	47
5.6.1	ERS kan CO <sub>2</sub> -emissies fors terugbrengen	47
5.6.2	O-BEV of BEV: kleine verschillen in well to wheel	48
5.6.3	ERS of batterijen: Vanuit Life cycle analyse is ERS gunstiger	48
5.6.4	Slijtage rijdraad en pantograaf	50
5.7	Veiligheidsrisico's lijken beheersbaar	50
5.8	Effect op landschap varieert per locatie	51
5.9	Arbeidsmarkt: waar is schaarse menskracht het meest nodig?	52
5.10	Omrijden: bij beperkt ERS netwerk kan het effect fors zijn	53
5.11	Grondstoffenschaarste niet doorslaggevend	54
5.12	Conclusie	55
6.	Gevoeligheidsanalyses	57
6.1	Gevoeligheid: ERS vraag -30% en -50%	57
6.2	Drie jaar langere aanlegperiode	58
6.3	BEV's worden alleen 's nachts geladen (niet onderweg)	59
6.4	Hogere discontovoet: van 1,6% naar 4,1%	60
6.5	50% hogere of 50% lagere investeringskosten	60
6.6	Kosten batterij lager of hoger	61
6.7	Minder vaste patronen dan ingeschat	62
6.8	Conclusie	63
7.	Te monitoren of onderzoeken onzekerheden	64
	Bijlage 1 TCO's WLO L/H met/zonder ingroei-effecten	66
	Bijlage 2 Interviewpartners	73
	Bijlage 3 Geraadpleegde literatuur	74
	Bijlage 4 Uitgangspunten TCO berekening	76

### *ERS kan een kosteneffectieve manier zijn voor Zero Emissie wegvervoer*

Uit dit onderzoek blijkt dat een ERS-netwerk op de belangrijkste snelwegen in Nederland onder voorwaarden rendabel kan zijn. Ook blijkt dat ERS een kosteneffectieve manier kan zijn om CO<sub>2</sub> te besparen. Uitgaande van kostendekkende tarieven voor het gebruik van het ERS netwerk kan het voor een voldoende groot volume vervoerders interessant zijn om te investeren in ERS-vrachtwagens in plaats van alleen batterij-elektrische vrachtwagens (BEV's), en ook in plaats van diesel of waterstof vrachtwagens. Dit geldt voor wegvervoer met een middellange dagafstand (van 180 tot 300 km), maar nog sterker voor lange afstand vervoer (boven 300 km per dag). Voor een groot deel van dit vervoer is de beschikbaarheid van een internationaal netwerk uiteraard van belang. Het onderzoek heeft ook duidelijk laten zien dat een ERS-netwerk op een enkele corridor niet rendabel te maken is.

Het grote nadeel van ERS is dat er meteen een omvangrijk netwerk moet worden aangelegd, en dat dit alleen rendabel wordt als er voldoende gebruik van wordt gemaakt. Dit gebeurt alleen als ERS vrachtwagens (O-BEV's) voordelen hebben ten opzichte van BEV's. De belangrijkste bedreigingen voor het succes van een ERS netwerk zijn sneller dan verwachte verbeteringen van batterijen (actieradius en gewicht), sneller dan verwachte daling van batterijkosten en van oplaadkosten van BEV's, en mede daardoor een lager dan verwacht gebruik van het ERS systeem. Gelet op de vele onzekerheden die nog spelen, benadrukken we dat deze conclusies afhankelijk zijn van verscheidene ontwikkelingen, die dus goed gemonitord moeten worden en dat op een aantal punten aanvullend onderzoek nodig is.

## Samenvatting

### *Vervolgonderzoek op technische studie*

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) stimuleert de transitie naar duurzaam, Zero Emissie (ZE) wegvervoer. In dat kader is een verkenning gestart naar de potentie van Electric Road Systems (ERS) voor zwaar goederenwegtransport.

Met de ERS technologie worden voertuigen van elektriciteit voorzien tijdens het rijden. Het meest voor de hand liggende systeem hiervoor (op basis van de huidige inzichten) is een bovenleiding boven de rechterijstrook van snelwegen waar vrachtwagens met een elektromotor via een pantograaf (vergelijkbaar met een trolleybus) van elektriciteit worden voorzien. In dit rapport gaan we uit van deze techniek. Daardoor kunnen de vrachtwagens met veel kleinere batterijen toe dan volledig batterij-elektrische trucks. Buiten het ERS-netwerk kunnen de vrachtwagens verder rijden op de accu (of eventueel waterstof of fossiele brandstoffen).

Op basis van een eerder door Movares uitgevoerd onderzoek<sup>1</sup> lijkt ERS een potentieel interessante techniek om het Nederlandse wegtransport te verduurzamen. Dat was reden voor IenW om dit verdiepende onderzoek te laten uitvoeren naar de kosteneffectiviteit van ERS voor het realiseren van Nederlandse beleidsdoelen. Het onderzoek is uitgevoerd gebruik makend van bestaande data en informatie, waarbij we hebben voortgebouwd op het onderzoek van Movares.

---

<sup>1</sup> Movares (2020), *Verkenning Electric Road Systems*

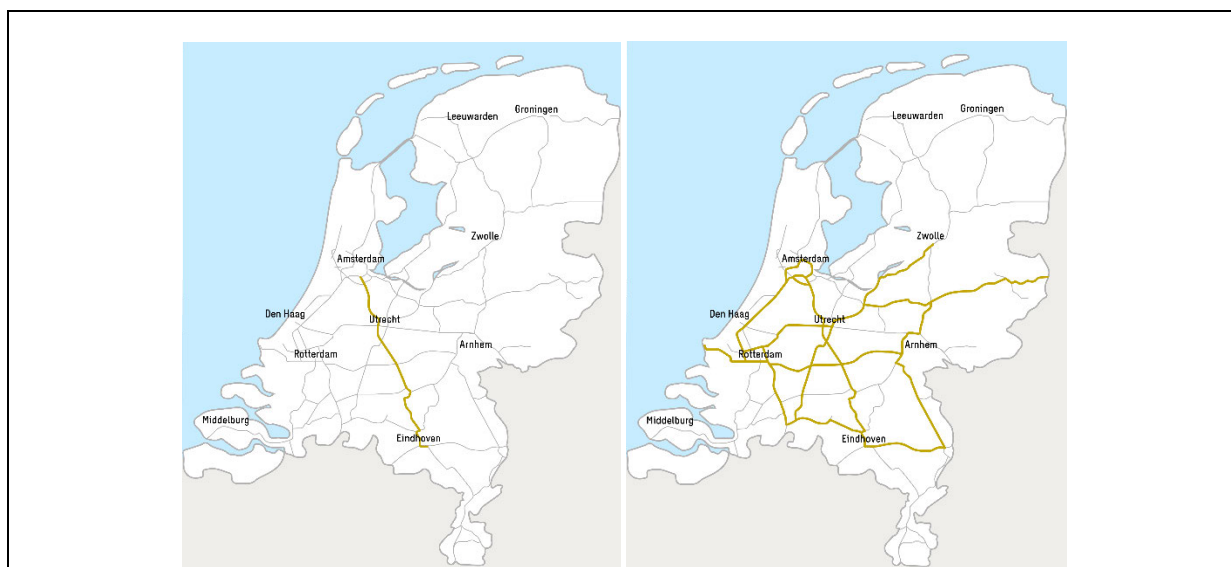
### Drie ERS-netwerkvarianten doorgerekend

De belangrijkste meerwaarde is dat we in dit onderzoek hebben gekeken naar ERS vanuit het bedrijfseconomisch perspectief (kosteneffectiviteit) van vervoerders en verladers. We hebben voor verschillende netwerkvarianten gekeken hoe de Total Cost of Ownership (TCO<sup>2</sup>) van de vrachtwagens die van ERS gebruik maken (Overhead catenary Battery Elektrical Vehicles, in het vervolg kortweg O-BEV's) zich verhoudt tot volledig batterij elektrische vrachtwagens (Battery Elektrical Vehicles, BEV's). Op basis hiervan is een schatting gemaakt van het gebruik van ERS en van de externe effecten zoals de impact op de klimaatdoelen.

In het onderzoek stonden de volgende drie ERS netwerkvarianten centraal:

- Variant 1: ERS op de A2 tussen Amsterdam en Eindhoven (125 kilometer keer 2 richtingen). Dit is een stuk snelweg met relatief veel vrachtverkeer.
- Variant 2: Een 'kernnet' met ERS op de A-wegen waar de vrachtwagenintensiteiten het hoogst zijn (980 kilometer keer twee richtingen).
- Variant 3: waarin het gehele A-wegennet van ERS wordt voorzien (ongeveer 2500 kilometer keer twee richtingen).

Figuur S.1: ERS netwerkvarianten 1 (links) en 2 (rechts)



<sup>2</sup> Dit zijn de totale kosten over de gehele levensduur van de vrachtwagen, dus zowel de investerings- als de onderhouds- en energiekosten.

Figuur S.2 ERS netwerkvariant 3



Voor deze netwerkvarianten zijn de TCO's bepaald van vrachtwagens die van ERS gebruik maken. Deze zijn vergeleken met volledig batterij elektrische vrachtwagens omdat deze in de toekomst aantrekkelijker zijn dan bijvoorbeeld diesel en waterstof vrachtwagens. Logischerwijze wordt de TCO van de O-BEV aantrekkelijker wanneer meer vrachtwagens van het systeem gebruik maken. Dan zijn de systeemkosten per voertuigkilometer immers lager. Daarnaast geldt dat voor vrachtwagens met lange dagafstanden het voordeel van een O-BEV groter is dan voor vrachtwagens met kortere dagafstanden<sup>3</sup>. Daarom hebben we berekeningen gemaakt voor verschillende dagafstanden.

#### *Grotere ERS-netwerken kunnen kosteneffectief zijn in Nederland*

De conclusie is dat variant 1 in alle gevallen leidt tot hogere O-BEV-TCO kosten dan de BEV- alternatieven. Voor de varianten 2 en 3 geldt dat de O-BEV-TCO's in de basisanalyses lager liggen dan de BEV- TCO's. Voor de vervoerder is een O-BEV dan dus goedkoper dan een BEV.

Het duurt een aantal jaar om een ERS netwerk aan te leggen (naar schatting drie tot zeven jaar voor de onderzochte varianten). Bovendien duurt het daarna nog een aantal jaar voordat het systeem optimaal wordt benut. Gedurende deze 'ingroeiperiode' zijn de kosten voor infrastructuur en elektriciteit relatief hoog. Als deze kosten worden meegerekend, blijven de TCO's voor O-BEV's (voor de varianten 2 en 3) concurrerend indien vrachtwagens met dagstanden vanaf 150 kilometer van het systeem gebruik maken.

<sup>3</sup> Naarmate de dagafstand groter is, heeft een BEV immers een zwaardere (en dus duurder) accu nodig. Dit geldt niet voor de O-BEV.

Het is belangrijk om te beseffen dat we er bij deze berekeningen van zijn uit gegaan dat de ERS-infrastructuur zichzelf moet terug verdienen via een opslag op de elektriciteit die de gebruikers afnemen. De terugsluis van de vrachtwagenheffing biedt daarbovenop wellicht nog mogelijkheden om de infrastructuur (deels) te bekostigen, of ERS op een andere manier financieel aantrekkelijker te maken. Dit kan ERS indien nodig voor grotere aantallen vrachtauto's aantrekkelijk maken.

Kosteneffectiviteit betekent nog niet per definitie dat ERS meteen een succes wordt, want een vervoerder kijkt uiteraard naar meer dan alleen de TCO als hij een aandrijftechniek kiest. De betrouwbaarheid van het systeem, een voldoende groot netwerk en een concurrerend aanbod van trucks zijn daar voorbeelden van. Andere belangrijke partijen die daarom belangrijk zijn om ERS tot een succes te maken zijn de verladers (door te vragen om duurzaam vervoer, zekerheid bieden via lange termijn-contracten), vrachtwagenfabrikanten/OEM's (zorgen voor voldoende aanbod) en leasebedrijven (aantrekkelijke leaseconstructies).

#### *ERS is een kosteneffectieve manier om CO<sub>2</sub>uitstoot te reduceren*

Kijkend naar de maatschappelijke effecten is een andere belangrijke conclusie dat een ERS-netwerk, kan helpen met het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het wegvervoer. Zeker als het een internationaal netwerk is dat relatief snel wordt aangelegd. Naar schatting kan in variant 3 ongeveer een derde van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het gehele goederenwegvervoer (uitgezonderd van bestelwagens) in 2030 worden voorkomen, verondersteld dat het systeem dan al volledig gebruikt wordt. Voor variant 2 ligt dit net onder 20 procent en variant 1 op 0,2 procent.

Daarbij is het uitgangspunt dat O-BEV's dieselvrachtwagens (of combinaties) vervangen die voor de langere ritten worden ingezet. De batterij-elektrische voertuigen die tot 2040 op de markt worden verwacht in recente studies van TNO en EV Consult zijn met name lichtere bakwagens die relatief korte afstanden rijden. ERS is vooral interessant voor vrachtwagens die langere afstanden afleggen. De twee technieken zijn voorlopig dus eerder complementair dan kannibaliserend. Een belangrijke kanttekening hierbij is wel dat autofabrikanten wellicht sneller dan nu wordt verwacht aantrekkelijke BEV vrachtwagens op de markt zullen brengen. Zo heeft Tesla aangekondigd dit jaar een in prijs concurrerende vrachtwagen op de markt te brengen die ruim 36 ton kan vervoeren over 700 kilometer zonder bij te laden<sup>4</sup>. Als Tesla (of een andere fabrikant) dit waarmaakt en deze ook in grote aantallen kan leveren, kan dit een flinke versnelling betekenen van de gemaakte BEV-prognoses en kan het fundament onder ERS (deels) wegvallen. Het is dus zaak om dit goed te monitoren.

#### *Andere maatschappelijke effecten*

Andere mogelijk belangrijke maatschappelijke effecten zijn:

- het effect op de verkeersveiligheid. Het systeem moet uiteraard veilig zijn. Hierover bestaan nog wel vragen, maar het lijkt technisch mogelijk om dit aspect te borgen.
- krapte (verdringing) op de arbeidsmarkt. De vaklieden die nodig zijn om ERS aan te leggen zijn schaars en ook nodig voor andere projecten in de energietransitie. Ditzelfde geldt voor het aanleggen van laadpunten voor BEV's. Een afweging is dus nodig.

---

<sup>4</sup> Zie bijvoorbeeld [https://www.tesla.com/nl\\_NL/semi](https://www.tesla.com/nl_NL/semi)



- de benodigde investeringskosten in het diepere elektriciteitsnet (het midden- en hoogspanningsnetwerk), en hoe deze zich verhouden tot een scenario met meer (snel-) laadpunten voor BEV's.
- het milieu- en gezondheidseffect van de slijtage van koper en andere milieu-effecten.
- en de landschappelijke effecten.

De overlast als gevolg van de aanlegwerkzaamheden van ERS lijkt beperkt te zijn. Dit is geen doorslaggevende factor als de werkzaamheden 's nachts kunnen worden uitgevoerd waarbij maar één rijstrook hoeft te worden afgesloten, zeker als ze kunnen worden gecombineerd met regulier onderhoud van de rechterijstrook. Andere effecten die van minder belang lijken voor de afweging tussen ERS of batterij-elektrische voertuigen, zijn de schaarste aan grondstoffen<sup>5</sup> die nodig zijn voor batterijen en ERS en de uitstoot van andere emissies.

#### *Resultaten gevoelig voor flink andere aannames*

Vanwege de grote onzekerheden is ook een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze laten zien dat de TCO van de O-BEV's, met name die gericht zijn op de middellange afstand (180-300 kilometer dagafstand)<sup>6</sup>, gevoelig zijn voor andere uitgangspunten. De belangrijkste gevoeligheid is gevonden in de kosten van het laden van BEV's. Deze kosten zijn aanzienlijk lager op depot (bij het bedrijf, veelal 's nachts) dan onderweg. Indien BEV's volledig op depot zouden kunnen laden is de TCO van BEV's vrijwel altijd gunstiger dan die van een O-BEV. Daarnaast is de vraag naar ERS vanuit de logistieke sector uiteraard van belang. Met een halvering van de vervoersvraag is er onvoldoende volume om ERS rendabel te krijgen. ERS is dan geen kosteneffectief alternatief meer voor een BEV. Een daling van de verwachte vraag met 30 procent, een 2,5 procent hogere discontovoet en een verdubbeling van de ERS investeringskosten zorgt ervoor dat een BEV met name voor de vrachtwagens met dagafstanden tot 150 kilometer aantrekkelijker is.

#### *Samenvatting uitgevoerde gevoeligheidsanalyses*

Gevoeligheidsanalyse	Effect
ERS gebruik 50% lager dan geschat	TCO van O-BEV wordt ongunstiger dan van BEV
Onderweg laden is BEV's niet meer nodig	TCO van O-BEV wordt ongunstiger dan van BEV
ERS gebruik 30% lager dan geschat	TCO van O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
Drie jaar langere aanlegperiode	TCO van O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken

<sup>5</sup> Dit wil niet overigens niet zeggen dat deze grondstoffen niet schaars worden. Toegang tot deze grondstoffen wordt ook steeds meer geopolitiek, wat tot prijschommelingen kan leiden.

<sup>6</sup> En dus concurreren met een relatief goedkope BEV omdat het accupakket beperkt kan zijn.

Discontovoet 4,1%	TCO van O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
50% hogere investeringskosten	TCO van O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
Minder vaste jaarpatronen vrachtwagens	TCO van O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken

Batterijkosten 50% lager	TCO van O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 150 kilometer ERS gebruiken
--------------------------	---

#### *Onzekerheden monitoren en nader onderzoek*

De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek is dat een ERS-netwerk in Nederland onder voorwaarden een kosteneffectieve manier kan zijn om een significante CO<sub>2</sub>-reductie van het wegvervoer te realiseren. Gelet op de vele onzekerheden die nog spelen, benadrukken we dat deze conclusies afhankelijk zijn van verscheidene ontwikkelingen, die dus goed moeten worden gevolgd en dat op een aantal punten aanvullend onderzoek nodig is.

De volgende ontwikkelingen zijn belangrijk voor ERS en moeten goed worden gemonitord:

- Een specifiek belangrijk punt om te monitoren is de ontwikkeling en marktintroductie van nieuwe batterij-elektrische vrachtwagens met lage kosten en hoge actieradius, zoals de Tesla Semi.
- De ontwikkeling van de batterijprijzen, het aantal laadcycli, de actieradius en andere kwaliteiten kunnen forse impact hebben op de TCO van BEV's en dus ook op de verhouding met de TCO van O-BEV's.
- De kosten van statisch onderweg laden en op depot laden zijn van belang. Als statisch onderweg laden goedkoper wordt, of minder nodig is, daalt de TCO van BEV's.
- OEM's<sup>7</sup>: Voor een succesvol ERS-netwerk moet er voldoende en concurrerend aanbod komen van O-BEV's. Op dit moment is daar geen sprake van, en het aantal fabrikanten dat hier serieus mee bezig is, is vooralsnog beperkt. Uiteraard zou dit aanbod hand in hand moeten gaan met de ontwikkeling van het ERS netwerk.
- De ontwikkeling van andere ERS-technieken dan bovenleiding. In Duitsland is bijvoorbeeld een ERS-pilot gestart met inductieladen.
- Ontwikkelingen rond waterstof. Op dit moment is waterstof nog geen concurrerende optie voor wegvervoer, vanwege hogere kosten en een lagere energie-efficiëntie, maar de ontwikkelingen kunnen misschien snel gaan.
- Hoe buurlanden staan tegenover ERS. Overleg hierover en gezamenlijk optrekken ligt daarbij voor de hand.
- Daarbij zouden ook een aantal technische elementen die voor elk land gelijk zijn, gezamenlijk kunnen worden onderzocht:

<sup>7</sup> Original Equipment Manufacturers. Hiermee worden de vrachtautofabrikanten bedoeld, inclusief de toeleveranciers van onderdelen.

- het risico op en gevolg van een kabelbreuk en hoe dit effect te minimaliseren is
- slijtage van koper van de bovenleiding en de impact hiervan op de omgeving
- regie op het gebruik van ERS. Indien er teveel O-BEV's tegelijk (dicht bij elkaar) van de ERS-infrastructuur gebruik maken, kan het gebeuren dat er onvoldoende vermogen is.

Aspecten die specifiek voor Nederland om nader onderzoek vragen, zijn:

- Huidige en toekomstige logistieke patronen van vrachtwagens in Nederland, met name hoe vast de patronen zijn die vrachtauto's gedurende het jaar rijden. In deze studie zijn hiervoor aannames gedaan op basis van expert judgement.
- De benodigde investeringen in het elektriciteitsnet. Hierbij gaat het zowel om de specifieke investeringen nodig voor een uitgebreid ERS netwerk, maar ook om de benodigde investeringen in het hoog- en middenspanningsnet in Nederland om het ERS-net overal van voldoende piekvermogen te kunnen voorzien. En dat afgezet tegen diezelfde investeringen die nodig zijn zonder ERS, als BEV's dus via gewone laadpunten en snelladers moeten worden geladen.
- Arbeidsmarktschaarste en de energietransitie. Dieper onderzoeken welke beroepen (en in welke mate) relevant zijn voor ERS en elektrisch laden, wat de te verwachten schaarste is in deze beroepen en voor welke projecten deze schaarse capaciteit dan het best kan worden benut. Dit onderzoek zou breed moeten kijken naar verschillende mogelijke ontwikkelingen/investeringen die voor de energietransitie nodig zijn en waarvoor de schaarse menskracht nodig is.

## Antwoorden op de onderzoeksvragen

Onderstaand zijn de onderzoeksvragen van het ministerie successievelijk beantwoord. We wijzen er op dat we in dit onderzoek een aantal belangrijke aannames hebben moeten doen omdat punten nog onbekend zijn en omdat belangrijke toekomstige ontwikkelingen nog onzeker zijn.

### *Wagenpark*

Vraag:

Hoe groot moet de overgang van het (vracht)wagenpark (RDW-Categorie N3) op ERS-oplossingen minimaal zijn om:

- voldoende interessant te zijn voor verladers en vervoerder om er op over te stappen
- een substantiële bijdrage te kunnen leveren aan het reduceren van de CO<sub>2</sub>-uitstoot door zwaar vrachtverkeer.

Uit de analyse is duidelijk gebleken dat ERS staat en valt met de kritische massa aan vrachtwagens die van het systeem gebruik maken. Het aanleggen van ERS op een enkele corridor is voor onvoldoende vervoerders interessant om op O-BEV's over te stappen. Een netwerk van de belangrijkste of alle snelwegen kan dit wel zijn. Er is naast de TCO en een voldoende groot netwerk wel een aantal andere belangrijke voorwaarden om een kritische massa vervoerders te interesseren. Dit zit onder meer in voldoende aanbod van geschikte vrachtauto's, betrouwbaarheid en veiligheid van het systeem en betrouwbaarheid van concurrerende tarieven.

Hoewel het vanwege de vele onzekerheden en afhankelijkheden in dit onderzoek moeilijk te berekenen is, verwachten we dat een derde tot de helft van het vrachtverkeer van ERS gebruik moet maken om een O-BEV qua kosten aantrekkelijker te maken dan een BEV.

Onderzoek van TNO<sup>8</sup> en EV Consult<sup>9</sup> laat zien wat de verwachte ontwikkelingen in BEV vrachtauto's zijn in een scenario dat uitgaat van vastgesteld beleid en een scenario dat daarbovenop ook uitgaat van voorgenomen beleid.

TNO (en de verwachtingen van EV Consult zijn vergelijkbaar) verwacht dat voor de verschillende typen vrachtauto's BEV's ergens de komende acht jaar voor een deel van de vloot betaalbaar en toepasbaar worden als vervanging van een dieselvrachtauto<sup>10</sup>:

	Omslagpunt BEV/diesel voor eerste deel vloot	Op basis van vastgesteld beleid groeit aandeel in		Op basis van voorgenomen beleid groeit aandeel in 2030 tot
		In 2030 tot	In 2040 tot	
Lichte bakwagens	2026	30%	70%	65%
Middelzware bakwagens	2029	5%	35%	30%
Zware bakwagens	2026	20%	45%	40%
Trekker-oplegger combinaties	2027	5%	15%	10%

Uit het onderzoek en bovenstaand overzicht wordt duidelijk dat met name in het lichte segment en voor de voertuigen die relatief korte afstanden afleggen, er in 2030 en 2040 al marktaandeelen van 30 tot 70 procent voor de BEV's worden verwacht. De lichte bakwagens zijn het segment dat relatief korte dagafstanden rijdt. In dit onderzoek is geconstateerd dat ERS vooral interessant is voor vrachtauto's met langere dagafstanden, in elk geval vanaf 250 kilometer. Dit is precies het segment waar TNO nog geen grote groei verwacht tot 2040. Een ERS-netwerk, mits dat snel wordt aangelegd en bij voorkeur als onderdeel van een internationaal netwerk zal dus naar verwachting (zie ook voorwaarden vervoerders) kunnen leiden tot een eerdere en grotere besparing van CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Een belangrijke kanttekening bij de studies van TNO en EV Consult is de aankondiging van Tesla dat zij dit jaar een in prijs sterk concurrerende vrachtwagen (basisprijs €150.000<sup>11</sup>) op de markt gaan brengen die ruim 36 ton kan vervoeren over 700 kilometer zonder bij te laden. Als Tesla (of een andere fabrikant) dit waar maakt en deze ook in grote aantallen kan leveren, kan dit een flinke versnelling betekenen van de gemaakte prognoses en in feite een ERS-systeem overbodig maken.

<sup>8</sup> TNO, 2021, Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel en vrachtoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040

<sup>9</sup> EV Consult, 2020, Transitiestudie verduurzaming wegtransport

<sup>10</sup> In de kolom 'voorgenomen beleid' is ook uitgegaan van terugsluis van de vrachtwagenheffing.

<sup>11</sup> Ter vergelijking: de aanschafprijs van de BEV 400 in het TCO-model is rond €220.000 en heeft een actieradius van 400 kilometer en de BEV 800 een aanschafprijs van €340.000 met een actieradius van 800 kilometer.

Vraag: Wanneer wordt ERS voor verschillende categorieën verladers/vervoerders interessant (bijv. internationale transporteurs, bouwverkeer, detailhandeltransporteurs, busbedrijven, enz.).

ERS kan vooral interessant zijn voor verladers/vervoerders die relatief vaste patronen hebben (dus het hele jaar dezelfde trajecten rijden), niet te korte dagafstanden afleggen en hun bestemming niet te ver van de snelweg afhebben. Voor (onderdelen) van alle belangrijke deelsectoren, zoals levensmiddelen, agro/food, bouw, distributievervoer kan ERS interessant zijn, omdat er veel vaste patronen zijn. Naarmate het ERS-netwerk groter en beter ingebed in een internationaal netwerk wordt, worden de vaste patronen minder bepalend en kan ERS ook voor zeer lange afstandsvervoer interessant worden<sup>12</sup>. Het onderzoek laat zien dat vooral een grote vraag naar ERS belangrijk is voor de kosteneffectiviteit. Het is daarom van belang om niet op een enkele sector te mikken, maar op zoveel mogelijk sectoren.

### *Wegennet*

Vraag:

Maak inzichtelijk hoe het voorzien van gedeeltes van het hoofwegennet zich verhoudt tot de hoeveelheid vervoerders die ervoor kiezen om de overstap naar ERS te maken. In andere woorden: welk gedeelte van het hoofwegennet moet minimaal voorzien worden van bovenleiding om ERS tot een aantrekkelijke optie te maken voor vervoerders? En bij welke toevoegingen aan deze minimale omvang zullen hoeveel extra vervoerders tevens gebruik gaan maken van ERS?

Dit onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat het aanleggen van ERS op een enkele corridor geen interessante TCO oplevert omdat ERS dan voor te weinig vervoerders aantrekkelijk is. Een netwerk op het niveau van de Randstad en de belangrijkste wegen in Noord-Brabant, Gelderland, zuidelijk Overijssel en Noord-Limburg kwam (qua rentabiliteit) als meest aantrekkelijk uit de analyse. Maar ook een netwerk waarin het gehele snelwegennet wordt voorzien van ERS scoort gunstig .

De factoren die van invloed zijn op het gebruik van ERS zijn in het rapport beschreven. Naast de TCO en karakteristieken van het vervoer spelen hierbij nog een aantal belangrijke factoren, zoals de betrouwbaarheid, marktorganisatie, veiligheid, het aanbod van vrachtauto's etc.

Op dit moment is daardoor niet precies vast te stellen wat precies het minimumnetwerk is voor ERS en hoeveel extra vervoerders een uitbreiding van het systeem precies oplevert. De drie onderzochte netwerkalternatieven geven hiervan wel een indicatie.

Vraag: Welke trajecten zouden, gezien o.a. het opgestelde gebruikersprofiel, sowieso van ERS voorzien moeten worden? Dit wordt zo mogelijk gebaseerd op inzicht in wie welke trajecten rijdt en waarom.

In het onderzoek is duidelijk geworden dat een netwerk op het niveau van de Randstad en de belangrijkste wegen in Noord-Brabant, Gelderland, zuidelijk Overijssel en Noord-Limburg, uiteraard (of zo mogelijk)

<sup>12</sup> In dit onderzoek gaan we, op basis van expert judgement, uit van de verwachting dat in variant 1 25 procent van de vrachtauto's voldoende vaste patronen rijden om te worden vervangen door een O-BEV. In variant 2 loopt dit op tot 65 procent en in variant 3 zelfs naar 80%.

aangetakt op het ERS net van Duitsland en België al kosteneffectief is. En dat geldt ook voor een ERS op alle autosnelwegen in Nederland. ERS op een enkel tracé is echter niet kosteneffectief te krijgen.

### CO<sub>2</sub>-reductie

Maak inzichtelijk hoe de uitrol van ERS bijdraagt aan de klimaatdoelstellingen. Hoeveel gebruikers en hoeveel kilometers wegennet met ERS leidt tot welke CO<sub>2</sub>-reductie?

De CO<sub>2</sub>-reductie van een eventueel ERS-netwerk hangt sterk af van de ontwikkeling van de uitstoot door het wegvervoer indien er geen ERS-netwerk wordt aangelegd. Hier zitten uiteraard flinke onzekerheden in. Uit onderzoek van TNO en EV Consult blijkt dat tot 2030 en ook 2040 de grootste groei van batterij-elektrische voertuigen op de kortere afstanden wordt verwacht. Omdat ERS vooral interessant is voor lange afstandsvervoer verwachten we dat de twee systemen voorlopig complementair zijn. Rekening houdend met de verwachte emissies van vrachtwagens in 2030 en het feit dat in 2030 de elektriciteitsmix in Nederland nog niet fossielvrij zal zijn, zal de reductie van de CO<sub>2</sub> uitstoot van het goederenwegvervoer in Nederland in variant 3 kunnen oplopen tot ongeveer een derde kunnen (uitgaande van volle bezetting van ERS en de elektriciteitsmix in 2030). In variant 2 zou dit 16 tot 18 procent zijn, en in variant 1 0,2 procent. Wat betreft de ontwikkeling van de CO<sub>2</sub> besparing geldt dat deze na 2030 groter wordt, omdat de elektriciteitsmix steeds minder fossiel wordt. Daar staat tegenover dat de verwachting is dat er ook voor de langere afstanden steeds aantrekkelijkere BEV trucks op de markt worden verwacht, met name na 2040. Een groeiend deel van de CO<sub>2</sub> besparing zou dus ook zonder ERS zijn gerealiseerd.

CO<sub>2</sub>-besparing in 2030 in de twee WLO-scenario's (gesteld dat ERS dan al volledig operationeel is en benut wordt)

	Hoog		Laag	
	Bespaarde CO <sub>2</sub> (ton*1000)	Als percentage van emissies goederenwegvervoer	Bespaarde CO <sub>2</sub> (ton*1000)	Als percentage van emissies goederenwegvervoer
Variant 1	11	0,2%	9	0,2%
Variant 2	937	18%	820	16%
Variant 3	1.734	33%	1.544	31%

### Kosteneffectiviteit

Vraag:

Hoe verhouden de kosten per bespaarde ton CO<sub>2</sub> zich ten opzichte van de kosten per bespaarde ton CO<sub>2</sub> van eventuele andere maatregelen die het Rijk kan inzetten om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van vrachtwagens uit de N3 categorie te reduceren?

ERS kan leiden tot een reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot zonder dat het Rijk dit geld kost omdat ERS een sluitende business case kan zijn. En ook de vervoerders zijn niet duurder uit. Het is dus een zeer kosteneffectieve manier om CO<sub>2</sub> te besparen.

Uit de analyse blijkt dat een uitgebreid ERS-netwerk (variant 2 of 3) tot een TCO kan leiden die concurrerend kan zijn met batterij-elektrisch rijden. Zelfs als rekening wordt gehouden met de aanloopverliezen. Deze aanloopverliezen kunnen naar verwachting gedurende de levensduur van het netwerk worden terugverdiend. De verwachting is dat BEV's (en dus ook O-BEV's) binnen enkele jaren (hetzij door marktontwikkelingen, hetzij door vrachtwagenheffingen, of heffingen op diesel of CO<sub>2</sub>-uitstoot) concurrerend zijn met dieselvrachtauto's, betekent dit dat de benodigde investeringen van het Rijk zeer beperkt zijn. Hooguit is een overbruggingsfinanciering nodig voor de periode vanaf de start van de aanleg totdat het netwerk volledig wordt gebruikt.

## Gebruikte termen en afkortingen

- BEV Battery Electrical Vehicle; volledig batterij elektrisch voertuig
- BEV-400 Een batterij elektrisch voertuig met een actieradius van 400 km
- BEV-800 Een batterij elektrisch voertuig met een actieradius van 800 km
- CAPEX Capital Expenditures; investeringskosten
- ERS Electric Road Systems; wegen waarop voertuigen tijdens het rijden kunnen laden tijdens het rijden
- FCEV Een brandstofcel elektrisch voertuig met een actieradius van 800 km
- L2 Categorie vrachtautoverkeer met een lengte tot 12,8 meter (veelal bakwagens)
- L3 Categorie vrachtautoverkeer met een lengte langer dan 12,8 meter (veelal trekker-oplegger combinaties)
- LCA Life Cycle Analysis; methode om de totale milieubelasting te bepalen van een product gedurende de hele levenscyclus
- LMS Landelijk model systeem; strategisch verkeers- en vervoersmodel dat wordt gebruikt bij de besluitvorming over infrastructuur. Hiermee zijn voor het hoge en lage scenario prognoses gemaakt voor 2030 en 2040.
- MKEA Maatschappelijke Kosteneffectiviteitsanalyse
- N2 Categorie vrachtwagens met een gewicht van meer dan 3,5 ton, maar niet meer dan 12 ton
- N3 Categorie vrachtwagens met een gewicht van meer dan 12 ton.
- O-BEV Overhead catenary Battery Elektrical Vehicle;
- O-BEV 100 Batterij elektrisch voertuig geschikt voor het dynamisch laden via een pantograaf aan de bovenleiding. Daarnaast een 100 km actieradius batterij elektrisch
- O-BEV 250 Batterij elektrisch voertuig geschikt voor het dynamisch laden via een pantograaf aan de bovenleiding. Daarnaast een 250 km actieradius batterij elektrisch
- OEM Original Equipment Manufacturer
- O-HEV Diesel-hybride elektrisch voertuig geschikt voor het dynamisch laden via een pantograaf aan de bovenleiding. Daarnaast een 2 km actieradius batterij elektrisch. Buiten het ERS-systeem wordt er op diesel gereden.
- OPEX Operating Expenses; operationele kosten
- TCO Total Cost of Ownership; de totale kosten over de gehele levensduur van de vrachtwagen, dus zowel de investerings- als de onderhouds- en energiekosten
- TTW Tank To Wheel; deel energieketen van brandstoftank tot de wielen
- WLO Hoog Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving; scenario opgesteld door het Planbureau voor de Leefomgeving en het Centraal Planbureau. Scenario Hoog combineert een relatief hoge bevolkingsgroei met een hoge economische groei. De WLO scenario's zijn doorgerekend met het LMS.
- WLO Laag Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving; scenario opgesteld door het Planbureau voor de Leefomgeving en het Centraal Planbureau. Scenario Laag combineert een beperkte demografische groei met een gematigde economische groei.
- WTW Well To Wheel; deel energieketen van brandstofwinning tot de wielen



- WTT Well To Tank; deel energieketen van brandstofwinning tot de tank
- ZE-vervoer Zero Emissie-vervoer; vormen van vervoer waarbij geen CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding en vraagstelling

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) stimuleert de transitie naar duurzaam, Zero Emissie (ZE) wegvervoer. In dat kader is een verkenning gestart naar de potentie van ERS (Electric Road Systems) voor goederenwegtransport.

Met de zogeheten Electric Road Systems (ERS) worden voertuigen van elektriciteit voorzien tijdens het rijden. Het meest voor de hand liggende systeem hiervoor (waar in dit rapport ook vanuit wordt gegaan) is een bovenleiding boven de rechterstrook van snelwegen, waar vrachtwagens met een elektromotor via een pantograaf (vergelijkbaar met een trolleybus) van elektriciteit worden voorzien. Daardoor kunnen de vrachtwagens met kleinere batterijen met minder capaciteit toe. Als ze buiten het ERS-netwerk komen kunnen de vrachtwagens verder rijden met in het voertuig opgeslagen energie: in een batterij, in waterstof of in hernieuwbare of fossiele brandstoffen.

Op basis van een eerder door Movares uitgevoerd onderzoek<sup>13</sup> lijkt ERS een potentieel interessante techniek om het Nederlandse wegtransport te helpen verduurzamen. Dat was reden voor IenW om dit verdiepende onderzoek te laten uitvoeren naar de kosteneffectiviteit van ERS voor het realiseren van Nederlandse beleidsdoelen.

### *Vraagstelling*

De vragen die in dit onderzoek centraal staan zijn<sup>14</sup>:

### **Wagenpark**

1. Hoe groot moet de overgang van het (vracht)wagenpark (RDW-Categorie N3) op ERS-oplossingen minimaal zijn om:
  - voldoende interessant te zijn voor verladers en vervoerder om er op over te stappen
  - een substantiële bijdrage te kunnen leveren aan het reduceren van de CO<sub>2</sub>-uitstoot door zwaar vrachtverkeer.
2. Wanneer wordt ERS voor verschillende categorieën verladers/vervoerders interessant (bijv. internationale transporteurs, bouwverkeer, detailhandeltransporteurs, busbedrijven, enz.).

### **Wegennet**

3. Maak inzichtelijk hoe het voorzien van gedeeltes van het hoofwegennet zich verhoudt tot het aantal vervoerders die ervoor kiezen om de overstap naar ERS te maken. In andere woorden: welk gedeelte van het hoofwegennet moet minimaal voorzien worden van bovenleiding om ERS tot een aantrekkelijke optie te maken voor vervoerders? En bij welke toevoegingen aan deze minimale omvang zal welk aantal extra vervoerders ook gebruik gaan maken van ERS?
4. Welke trajecten zouden, gezien o.a. het opgestelde gebruikersprofiel, sowieso van ERS voorzien moeten worden? Dit wordt zo mogelijk gebaseerd op inzicht in wie welke trajecten rijdt en waarom.

---

<sup>13</sup> Movares (2020). Verkenning Electric Road Systems

<sup>14</sup> Letterlijke formulering uit opdrachtomschrijving

**CO<sub>2</sub>-reductie**

5. Maak inzichtelijk hoe de uitrol van ERS bijdraagt aan de klimaatdoelstellingen. Hoeveel kilometers wegnen met ERS leidt tot hoeveel gebruikers en welke CO<sub>2</sub>-reductie wordt hierdoor gerealiseerd?

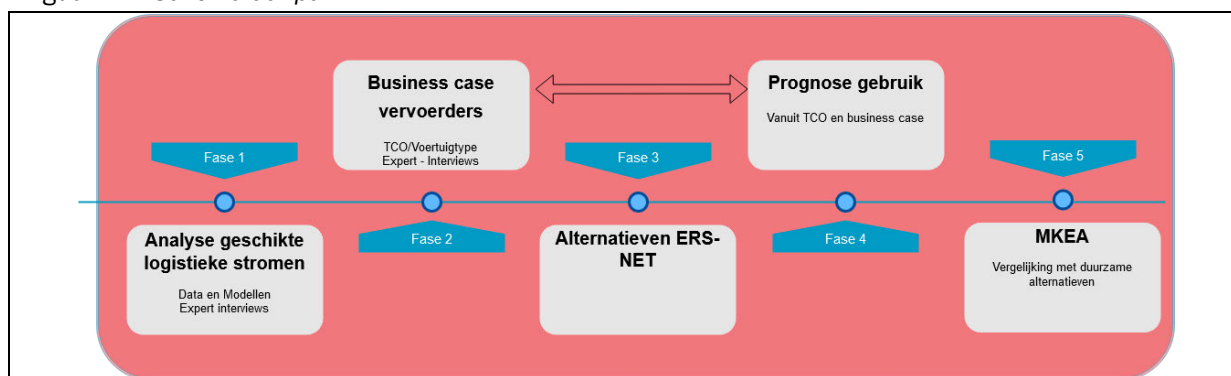
**Kosteneffectiviteit**

6. Hoe verhouden de kosten per bespaarde ton CO<sub>2</sub> zich tot de kosten per bespaarde ton CO<sub>2</sub> van eventuele andere maatregelen die het Rijk kan inzetten om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van vrachtwagens uit de N3 categorie te reduceren?
7. Welke overige baten en kosten voor gebruikers en samenleving (naast de reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot) kunnen worden onderscheiden en gekwantificeerd die de minimale omvang aan investeringen in ERS kan opleveren? Denk hierbij aan kosten zoals: horizonvervuiling, verkeersveiligheid en fijnstof door slijtage van de bovenleiding. Baten zoals: minder piekbelasting op het energienet, meer logistieke flexibiliteit door dynamisch laden, besparing van grondstoffen vanwege de kleinere benodigde batterij.

## 1.2 Aanpak onderzoek

Dit onderzoek bestond uit vijf fasen. Het belang van de vervoerders en een goed inzicht in de wegvervoerstromen vormen het vertrekpunt voor de ERS-net alternatieven en de uiteindelijke maatschappelijke effectenanalyse. Een implementatie van het ERS-net kan immers alleen succesvol zijn op trajecten met voldoende vrachtautobewegingen en als vervoerders dit bedrijfseconomisch interessant vinden. In elk geval ten opzichte van andere opties voor duurzaam vervoer.

Figuur 1.1. Schema aanpak

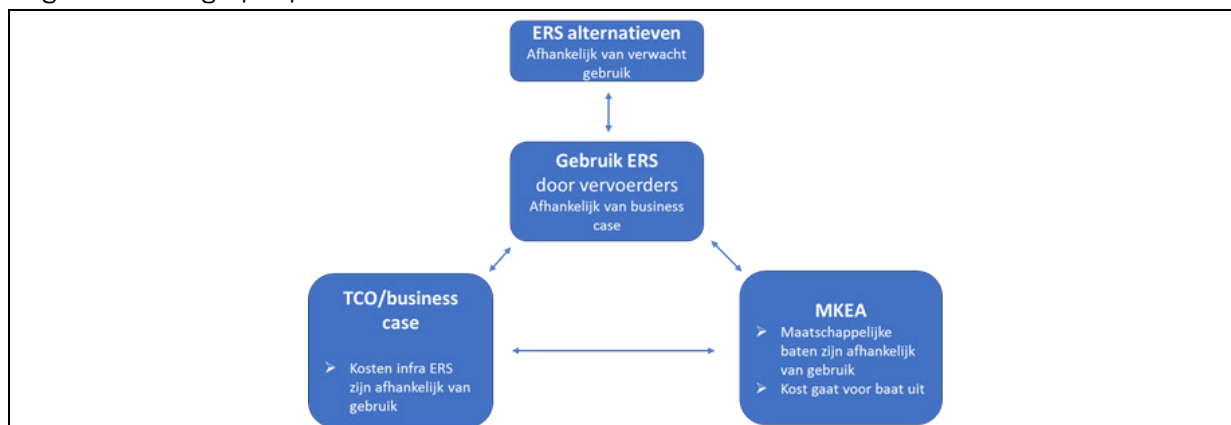


Daarom stonden de analyse van geschikte logistieke stromen en de TCO (Total Cost of Ownership) en business case van de vervoerders centraal in de eerste twee fasen van het onderzoek.

Na het bepalen van de ERS-net alternatieven (fase 3) hebben we met LMS-berekeningen (landelijk model systeem) opnieuw gekeken voor welke vervoerders en vervoersstromen de ERS-alternatieven interessant zijn en berekend wat de verwachte vraag is en de daaruit voortvloeiende kosten van het gebruik van ERS.

Door de hieruit voortkomende TCO te vergelijken met de TCO van batterij elektrische alternatieven is bepaald of ERS concurrerend is en de investering in ERS kosteneffectief<sup>15</sup>.

Figuur 1.2. Uitleg kip-ei probleem



Er zit dus een noodzakelijke iteratieslag in het onderzoek: de kosten van het gebruik van ERS zijn bepalend voor de TCO en de aantrekkelijkheid voor wegvervoerders. Tegelijkertijd zijn die kosten afhankelijk van het gebruik van de ERS: hoe meer auto's er gebruik van maken, hoe goedkoper het gebruik.

Het onderzoek is gebaseerd op literatuurstudie, expert interviews, data-analyse en LMS-berekeningen. Op basis daarvan is een model gebouwd. De studie is begeleid door een begeleidingsgroep vanuit het Ministerie van IenW.

### 1.3 Leeswijzer

Dit kip-ei probleem is terug te vinden in de analyselijn van het rapport: We starten in hoofdstuk 2 met een analyse van de logistieke stromen om te bepalen voor welke stromen ERS interessant kan zijn. In hoofdstuk 3 kijken we naar de TCO van ERS in vergelijking met andere Zero Emissie alternatieven en we kijken naar andere factoren dan de TCO die voor vervoerders relevant zijn. Op basis van hoofdstuk 2 en 3 hebben we drie netwerkalternatieven gedefinieerd die we in hoofdstuk 4 beschrijven, waarbij we meteen de resulterende vraag en de bijbehorende TCO's laten zien. In hoofdstuk 5 beschrijven we de relevante maatschappelijke effecten. Waarna we in hoofdstuk 6 een aantal gevoeligheidsanalyses presenteren van de belangrijkste gevoeligheden en onzekerheden. Uiteindelijk sluiten we in hoofdstuk 7 af met een beschrijving van de te monitoren of te onderzoeken onzekerheden .

<sup>15</sup> We geven een beeld van de maatschappelijke kosteneffectiviteit, maar een echte maatschappelijke kosteneffectiviteitsanalyse (MKEA) is het niet, omdat teveel onzeker is over het 'nulalternatief' oftewel de situatie zoals die zich ontwikkelt zonder ERS.

## 2. Analyse wegvervoerstromen

Op basis van internationaal onderzoek lijkt ERS vooral interessant voor vrachtwagens die lange afstanden op een dag afleggen. En dit is logisch want hoe groter de accucapaciteit die kan worden bespaard in een vrachtwagen, hoe aantrekkelijker ERS wordt voor vervoerders. We weten ook dat er veel gebruik van moet worden gemaakt om ERS aantrekkelijk te maken. Om mogelijk interessante ERS-netwerken te definiëren moeten we dus een beeld hebben van de wegen waar veel vrachtverkeer is en met name vrachtverkeer dat lange afstanden aflegt. Daarnaast is het patroon dat de vrachtwagens door het jaar heen rijden relevant. Met name voor vrachtwagens die vaste patronen rijden kan ERS interessant zijn. Uiteraard is dat ook afhankelijk van de fijnmazigheid van het netwerk. Dat betekent overigens ook dat een ERS-netwerk interessanter wordt naarmate het groter is, zo blijkt ook uit buitenlands onderzoek<sup>16</sup>. Immers, naarmate het netwerk groter is zal een groter deel van de vrachtauto's uit de voeten kunnen met stroom van ERS en een kleine batterij.

### 2.1 Wegvervoer in Nederland, veel binnenlands vervoer, grote verschillen in dagafstanden

De totale prestatie in voertuigkilometers op Nederlands grondgebied is opgenomen in tabel 2-1.

*Tabel 2.1: Jaarlijkse voertuigkilometerprestatie van Nederlandse vrachtwagens op Nederlands grondgebied uitgesplitst naar richting, 2019 (in kilometers x mln)*

Type vervoer	Kilometrage (x mln)
Binnenlands vervoer in Nederland	4.314
Internationale afvoer Nederland	391
Internationale aanvoer Nederland	360
Doorvoer door Nederland zonder overlading	29
Overig	0
<b>Totaal</b>	<b>5.094</b>

Bron: CBS

Door het CBS is in 2018 en 2019 uitgebreid onderzoek gedaan naar het goederenvervoer over de weg (gehanteerde bron: CBS: Basisbestanden goederenwegvervoer 2019). Bron voor het onderzoek is een uitgebreide enquête onder wegvervoerders.

Een nadere uitsplitsing van het goederenwegvervoer naar type transport en eigen vervoer versus beroepsgoederenvervoer is weergegeven in tabel 2.2.

<sup>16</sup> Zie bijvoorbeeld:

- Florian Hacker, Patrick Plötz, Julius Jöhrens, 2020. Electric roads for the German climate protection strategy for freight transport? A review and synthesis of market diffusion and electrification studies
- Hasselgren, Björn, Näsström, Elin (Swedish Transport Administration, 2021) Electrification of Heavy Road Transport: business models phase 5
- D.T. Ainalis, C. Thorne, and D. Cebon (centre of sustainable road freight) 2020. White Paper: Decarbonising the UK's Long-Haul Road Freight at Minimum Economic Cost

Tabel 2.2: Aantal ritten uitgesplitst naar type vervoer, vervoerder en voertuig (x1.000), 2019

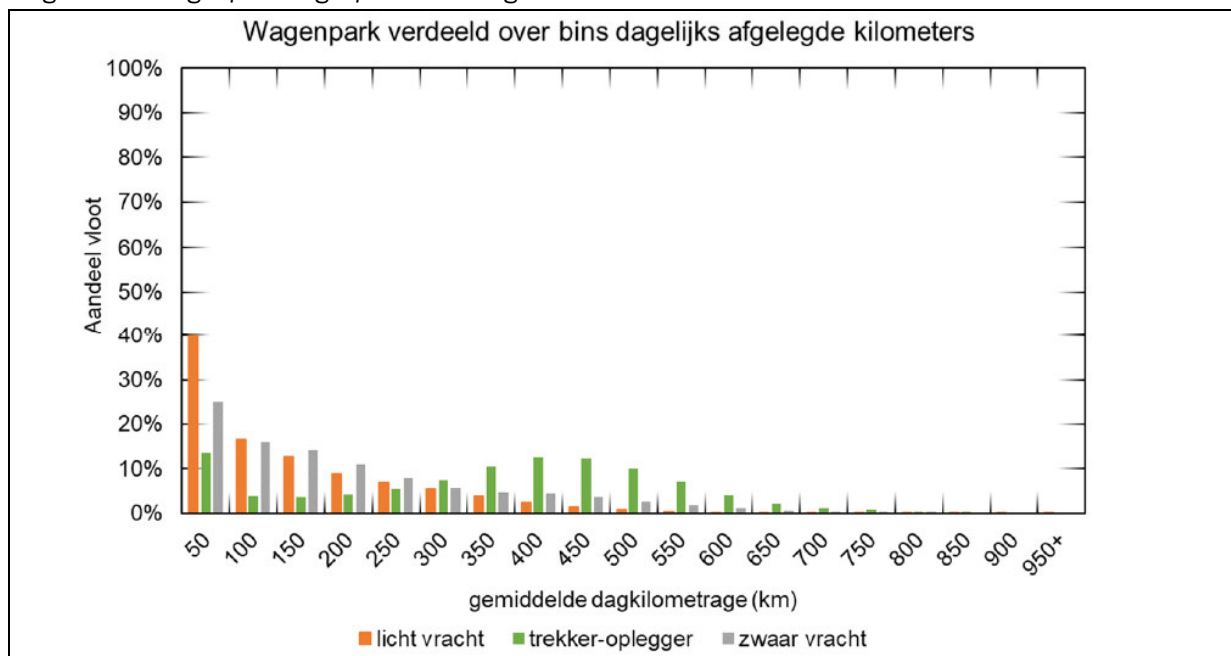
	Beroepsvervoer	Eigen vervoer (door verlader)	Buitenlandse vrachtwagens	Totaal
Binnenlands vervoer in Nederland	52.110	19.798	1.491	73.399
Internationale afvoer Nederland	3.995	735	3.696	8.426
Internationale aanvoer Nederland	3.853	676	3.774	8.303
Doorvoer door Nederland zonder overlading	370	51	1.142	1.563
Overig	2.433	181		2.614
<b>Totaal</b>	<b>62.762</b>	<b>21.420</b>	<b>10.103</b>	<b>94.285</b>

Bron: CBS

### Dagafstanden

Kijken we naar de dagafstanden, dan zijn er grote verschillen tussen de verschillende typen vrachtwagens. Onderzoek van TNO laat dit zien<sup>17</sup>. Een Nederlandse vrachtwagen rijdt gemiddeld 55.000 kilometer per jaar, maar voor bakwagens is dit slechts 34.000, terwijl trekker-opleggers gemiddeld 70.000 kilometer per jaar afleggen. Dit is ook te zien in figuur 2.1. Bij licht vrachtverkeer (en ook bij zwaar vrachtverkeer) komen dagafstanden tot 250 kilometer het meeste voor, 70 procent van deze bakwagens rijdt gemiddeld 110 kilometer of minder per dag. Voor trekker-opleggers geldt dat de meeste tussen 300 en 600 kilometer rijden. 40 procent rijdt gemiddeld 350 tot 500 kilometer per dag.

Figuur 2.1. Wagenpark uitgesplitst naar dagafstanden



Bron: TNO (2021)

<sup>17</sup> TNO, 2021, Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel en vrachtvoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040. De gehanteerde definities van licht en zwaar vrachtverkeer worden uit het rapport overigens niet helemaal duidelijk.

Conclusie is dat zowel wat betreft het aantal ritten als het aantal afgelegde kilometers het binnenlandse vervoer door Nederlandse vrachtwagens veruit het grootste aandeel heeft. Verder is er een groot verschil tussen de gemiddelde dagafstanden, waarbij trekker-opleggers veel hogere gemiddelde dagafstanden hebben dan bakwagens.

#### *Verdere groei in de toekomst*

De prognoses voor de ontwikkeling van het goederenvervoer in de komende 20 à 30 jaar, zoals opgenomen in de WLO<sup>18</sup> scenario's laten zien dat het wegvervoer relatief sterk toeneemt<sup>19</sup>. De verwachting is dat relatief meer lange en zware voertuigen worden ingezet en dat de beladingsgraad toeneemt door efficiëntieverbetering. Dit leidt tot minder (lege) ritten. Aan de andere kant worden distributienetwerken uitgekinder, wat betekent dat meer vervoer via distributiecentra gaat plaatsvinden. Dat leidt tot meer ritten en kan ook tot gemiddeld langere ritten leiden. Per saldo neemt het aantal ritten toe en dan met name van de langere en zwaardere voertuigen. De toename van het wegvervoer vertaalt zich ook in het internationale vervoer waardoor de lengte van ritten kan toenemen. Het PBL verwacht dat ook de ruimtelijke ontwikkeling met meer spreiding in het activiteitenpatroon in Nederland kan leiden tot meer en langere ritten.

## 2.2 Distributienetwerken liggen in en rond de Randstad

De structuur van transport en distributie van de belangrijkste economische sectoren in Nederland zijn bepalend voor het gebruik van het wegennet door vrachtverkeer.

#### *Foodsector*

De distributie van de foodsector in Nederland heeft als belangrijke bouwstenen de toelevering vanaf de grote producenten, de distributie van de agrosector (inclusief export) en de distributie in de richting van de detailhandel. Een kenmerkend aspect van de grote producenten is dat zij vaak traditiegetrouw bij de plek van hun ontstaan zijn gebleven. Een voorbeeld daarvan is HAK, waarvan het logistieke centrum is gevestigd in Giessen in Noord-Brabant. Door deze structuur is de spreiding over het land vrij sterk. Noord-Brabant en oostelijk Nederland vallen op met een relatief groot aantal hoofdvestigingen van producenten.

De distributie van de tuinbouw is deels geconcentreerd in een zestal Greenports, waarvan er vier in de Randstad liggen (figuur 2.5).

---

<sup>18</sup> Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving; In deze publicatie is een hoog en laag scenario uitgewerkt door het Planbureau voor de Leefomgeving en het Centraal Planbureau.

<sup>19</sup> Goederenvervoer en zeehavens. Scenariostudies 2030 en 2050, PBL, 2016

Figuur 2.5: Locatie van de zes Greenports (bron: greenportholland.com)



De distributie naar de retail/supermarkten vindt plaats via met name de grote regionale distributiecentra van de supermarkten (zie figuur 2.6). Belangrijk voor de structuur van de logistiek van supermarkten zijn de locaties van deze distributiecentra. Het ligt voor de hand dat deze in belangrijke mate afgestemd zijn op de bevolkingsconcentraties in samenhang met de structuur van het hoofdwegennet.



Figuur 2.6: Distributiecentra supermarkten (bron: Supply Chain Magazine)



**Bouwsector**

Volgens het CBS is 20 procent van het vrachtverkeer gerelateerd aan de bouwsector. Het verkeer volgt logischerwijze de spreiding van bouwactiviteiten over het land – deze heeft een zwaartepunt in de Randstad.

### *Overige deelsectoren*

De stromen van online bestellingen en andere pakketdienstverlening verloopt via de distributiecentra van de betreffende partijen. De top 10 van deze partijen is goed voor zo'n 50 procent van de pakjes. Belangrijke locaties zijn onder meer bol.com (hoofdvestiging in Waalwijk), Wehkamp (Zwolle) en Zalando (Bleiswijk). PostNL heeft 25 distributiecentra in Nederland, DHL 16. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de spreiding van de distributiecentra over het land de spreiding van de bevolkingsconcentraties volgt, waarbij de minder dicht bevolkte gebieden worden bediend vanuit distributiecentra die richting de drukker bevolkte gebieden liggen. De meeste distributiecentra liggen dan ook in hetzelfde gebied als waar de meeste vrachtwagens rijden: Randstad, Gelderland, Noord-Brabant, Noord-Limburg en zuidelijk Overijssel.

Voor de stromen die volgen uit de schakel die Nederland vormt in de internationale logistiek is Rotterdam het belangrijkste knooppunt. Voor transport naar Duitsland is Duisburg de belangrijkste eindbestemming. Naar het zuiden gaat het transport veelal richting Antwerpen.

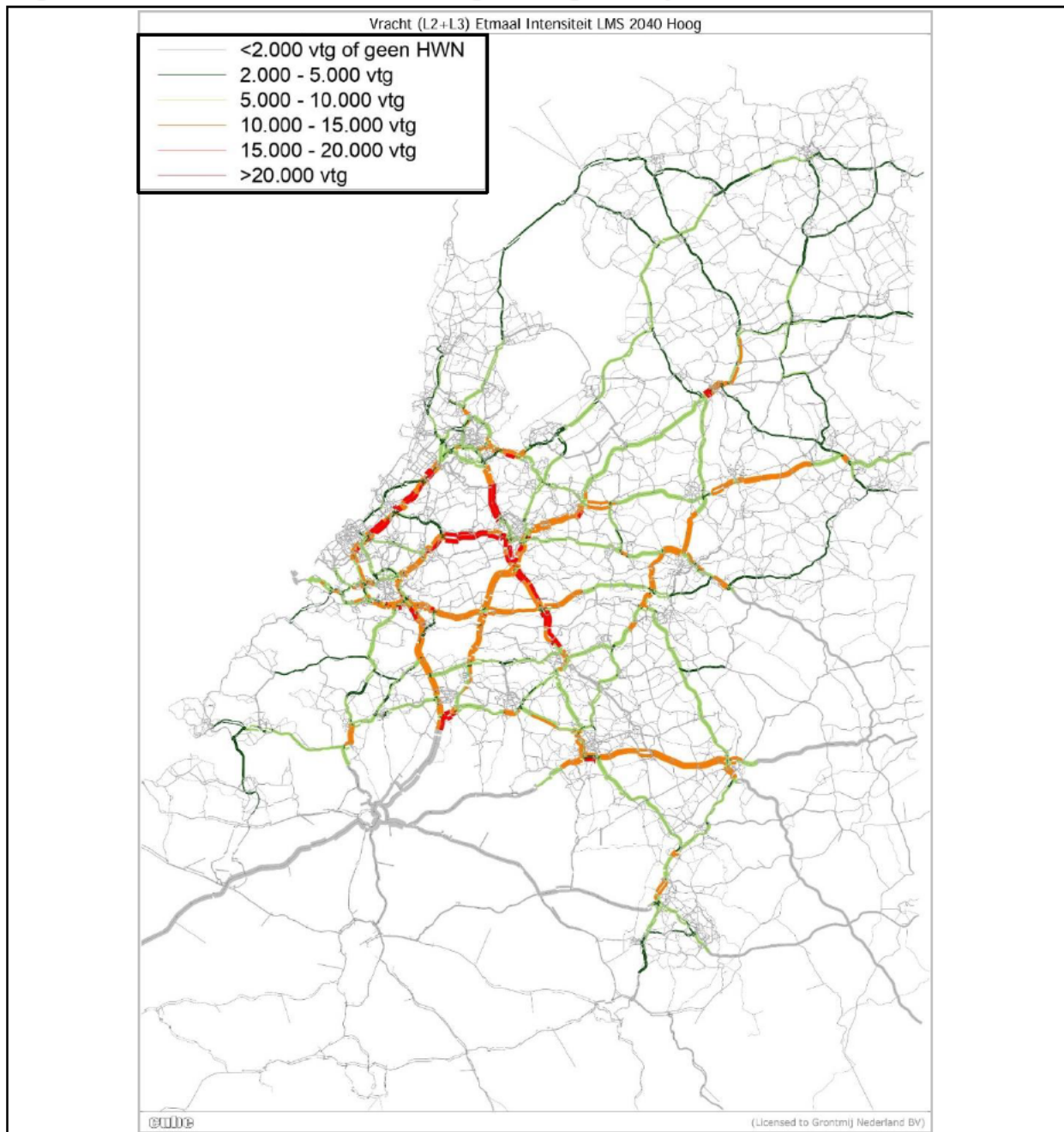
## 2.3 Verdeling over het netwerk

Met het landelijk model systeem (LMS) is gekeken naar de verwachte vrachtwagenintensiteiten in 2030 en 2040. De onderstaande figuren geven hiervan een illustratie (voor het ontwikkelingsscenario "WLO Hoog"). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen categorieën L2 (vrachtautoverkeer met een lengte tot 12,8 meter, veelal bakwagens<sup>20</sup>) en L3 (langer dan 12,8 meter veelal trekker-oplegger combinaties). De huidige verdeling qua ritten tussen L2 en L3 is respectievelijk 37 en 63 procent. Het aandeel L3 zal in 2040 naar verwachting toenemen tot 65 (WLO laag) respectievelijk 74 procent (WLO hoog).

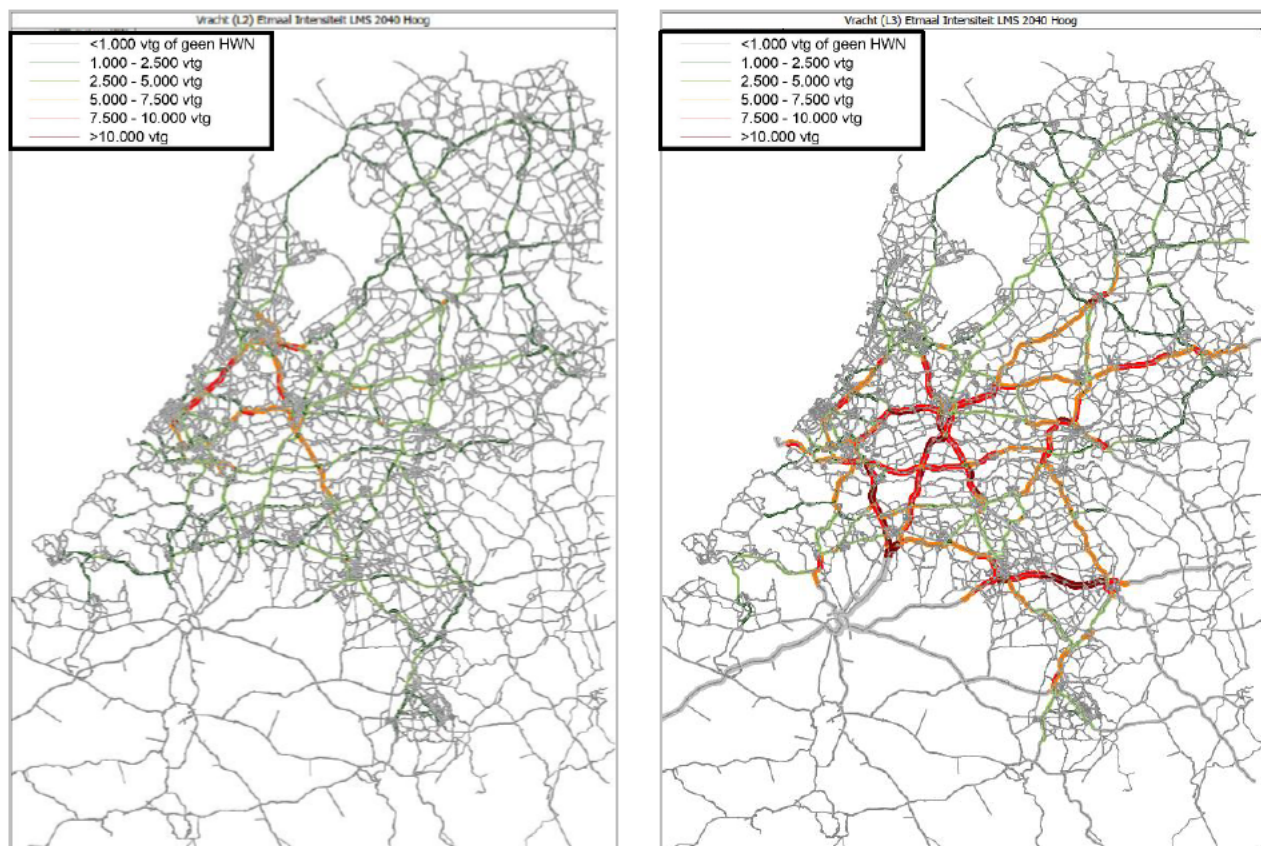
---

<sup>20</sup> Bestelwagens zijn hier uit gefilterd.

Figuur 2.7: Etmaalintensiteiten LMS 2040 Hoog L2 + L3 gezamenlijk



Figuur 2.8 en 2.9: Etmaalintensiteiten LMS 2040 Hoog L2 en L3 afzonderlijk<sup>21</sup>



Duidelijk te zien is dat het zwaartepunt van het vrachtverkeer in de Randstad ligt en in Noord-Brabant, Gelderland, Noord-Limburg en het zuiden van Overijssel. Als het gaat om de bakwagens (L2) springen de A2, de A4, de A12 en een deel van de A1 eruit.

## 2.4 Conclusies

Concluderend kunnen we stellen dat het grootste deel van de vrachtstromen binnenlands vervoer betreft en dat de zwaarst bereden snelwegen in de Randstad, Noord-Brabant en Gelderland liggen (en zuidelijk Overijssel en Noord-Limburg). Kijkend naar de belangrijkste distributienetwerken van de deelsectoren vallen deze ook in dit gebied. Een ERS-netwerk in dit deel van het land lijkt dus het onderzoeken waard. Wat betreft de dagafstanden zijn er grote verschillen tussen trekker- opleggercombinaties, die gemiddeld een veel langere dagafstand afleggen, en bakwagens, waarvan een groot deel een relatief korte dagafstand aflegt.

<sup>21</sup> Let op de legenda wijkt af van die in figuur 2.2.

### 3. Kostenvergelijking van zero emissie vrachtvervoer

#### 3.1 TCO zero emissie vervoer wordt concurrerend

In de analyse van de kosteneffectiviteit van ERS is het belangrijk dat het gebruik van ERS voor de vervoerder concurrerend is met alternatieven. Voor de business case van de vervoerders wordt gekeken naar de 'Total Cost of Ownership' (TCO) van deze vervoerders. De TCO bestaat uit twee elementen: de investeringskosten (CAPEX) en de operationele kosten (OPEX) over de levensduur van het voertuig. Hiervoor wordt een TCO van de gebruikers van het ERS (O-BEV & O-HEV) vergeleken met technologische alternatieven (zie tabel 3.1).

Tabel 3.1: Vrachtwagen varianten

Voertuigvariant	Beschrijving
Diesel <sup>22</sup>	Een voertuig aangedreven door een verbrandingsmotor met als brandstof diesel
FCEV	Een brandstofcel elektrisch voertuig met een actieradius van 800 km
O-HEV	Diesel-hybride elektrisch voertuig geschikt voor het dynamisch laden via een pantograaf aan de bovenleiding. Daarnaast een 2 km actieradius batterij elektrisch. Buiten het ERS-systeem wordt er op diesel gereden.
O-BEV 100	Batterij elektrisch voertuig geschikt voor het dynamisch laden via een pantograaf aan de bovenleiding. Daarnaast een 100 km actieradius batterij elektrisch
O-BEV 250	Batterij elektrisch voertuig geschikt voor het dynamisch laden via een pantograaf aan de bovenleiding. Daarnaast een 250 km actieradius batterij elektrisch
BEV-400	Een batterij elektrisch voertuig met een actieradius van 400 km
BEV-800	Een batterij elektrisch voertuig met een actieradius van 800 km

Movares heeft hier in 2020 onderzoek naar uitgevoerd. Zoals aangegeven in het onderzoek van Movares ging dit om een eerste verkenning en behoeft dit verdere uitwerking. In dit hoofdstuk wordt deze verdere uitwerking van de TCO van de vervoerders beschreven.

De belangrijkste aanpassingen die we hebben doorgevoerd ten opzichte van de TCO-berekeningen van Movares zijn de volgende:

1. In het onderzoek van Movares is als uitgangspunt een bepaald aantal vrachtauto's genomen dat van ERS gebruik gaat maken. In ons onderzoek is veel dieper gekeken naar de verwachte vraag. Primair op basis van TCO's. Daarbij wordt naar verschillende netwerkalternatieven gekeken, waarvoor het verwachte gebruik van ERS is geschat. Op dit punt komen we in hoofdstuk 4 terug.
2. In het Movares onderzoek zijn conservatieve aannames gehanteerd voor de batterijprestaties. Er wordt geen restwaarde toegekend na de levensduur en het aantal vollaadcycli lijkt erg laag te liggen vergeleken met schattingen uit onderzoek van CE Delft (2020).

<sup>22</sup> In dit onderzoek is LNG niet meegenomen omdat het om zero emissie vervoer gaat. Diesel is wel meegenomen als meest voorkomende referentie.

3. De TCO van de FCEV-variant (waterstof) wijkt significant af van het beeld dat het onderzoeksteam en het ministerie heeft en is daarom aangepast. Dit zit voornamelijk in de CAPEX kant van de TCO van de FCEV.
4. Het onderzoek gaat uit van één soort vervoerder qua gewicht, dagafstand, etc. Er wordt geen rekening gehouden met de verschillende soorten vervoerders, routes, gewichten en specifieke eisen.
5. De TCO gaat uit van een vast moment in 2030 met een gegeven prijs, het geeft geen inzicht in de ingroei naar 2030. Dit geldt voor zowel het aantal voertuigen als de ingroei van laadinfrastructuur. De combinatie van deze twee is bepalend voor de kWh-prijs van het *Overhead Catenary* systeem. Dit is daarom een belangrijke beperking in het uitgevoerde onderzoek. Op dit punt komen we in hoofdstuk 4 terug.

De punten twee en drie hebben tot de volgende aanpassingen van de TCO berekeningen geleid:

#### *Meer laadcycli batterijen*

Een andere aanpassing gaat over het aantal volaadcycli dat een batterij in 2030 aan kan gedurende de levensduur van de batterij. Movares is uitgegaan van 1250 volaadcycli. Dit is volgens de huidige schattingen van experts erg laag. Op basis van onderzoek van CE Delft (2020) is dit verhoogd naar 5000 volaadcycli. Dit heeft als effect dat de batterijen in de trekkers niet meer vervangen hoeven te worden tijdens de levensduur van de trekker. In de TCO's heeft dit voornamelijk invloed op de BEV 400.

Bij de berekening van de TCO van de O-BEV en BEV varianten heeft Movares de restwaarde van de batterijen niet meegerekend. Wij verwachten dat er wel een markt voor tweedehands batterijen is, omdat deze, al is het minder dan oorspronkelijk, nog steeds elektriciteit kunnen opslaan. Bij de restwaarde wordt gerekend met een batterijprijs van 25 procent van de originele prijs voor 80 procent van de originele capaciteit. Dit resulteert in een restwaarde van 20 procent van de originele investeringskosten van de batterij<sup>23</sup>.

#### *Aanpassingen in de FCEV-variant (brandstofceltrekker)*

De TCO van de FCEV-variant is aangepast. In de huidige markt zijn de kosten voor een FCEV-trekker ruim €460.000,-<sup>24</sup>. De verwachting van Movares dat dit in 2030 is gedaald naar €140.000,- is ons inziens te optimistisch. De kosten zijn aangepast op basis van het onderzoek dat EVConsult heeft gedaan voor het ministerie van I&W<sup>25</sup> naar een bedrag van €264.000,- in 2030.

Tabel 3.2: Vergelijking TCO FCEV (geïndexeerd op basis van 10 jaar en 1,61%)

Component	Movares	Aanpassing
Investeringskosten	€ 140.000	€ 264.000
Energiekosten	€ 422.000	€ 422.000
B&O	€ 187.000	€ 187.000
Heffingen	€ 153.000	€ 153.000
<b>Totaal</b>	<b>€ 1.069.000</b>	<b>€ 1.204.000</b>

<sup>23</sup> Expert inschatting gebaseerd op marktkennis van EVConsult

<sup>24</sup> TCO-tool Topsector logistiek (2020)

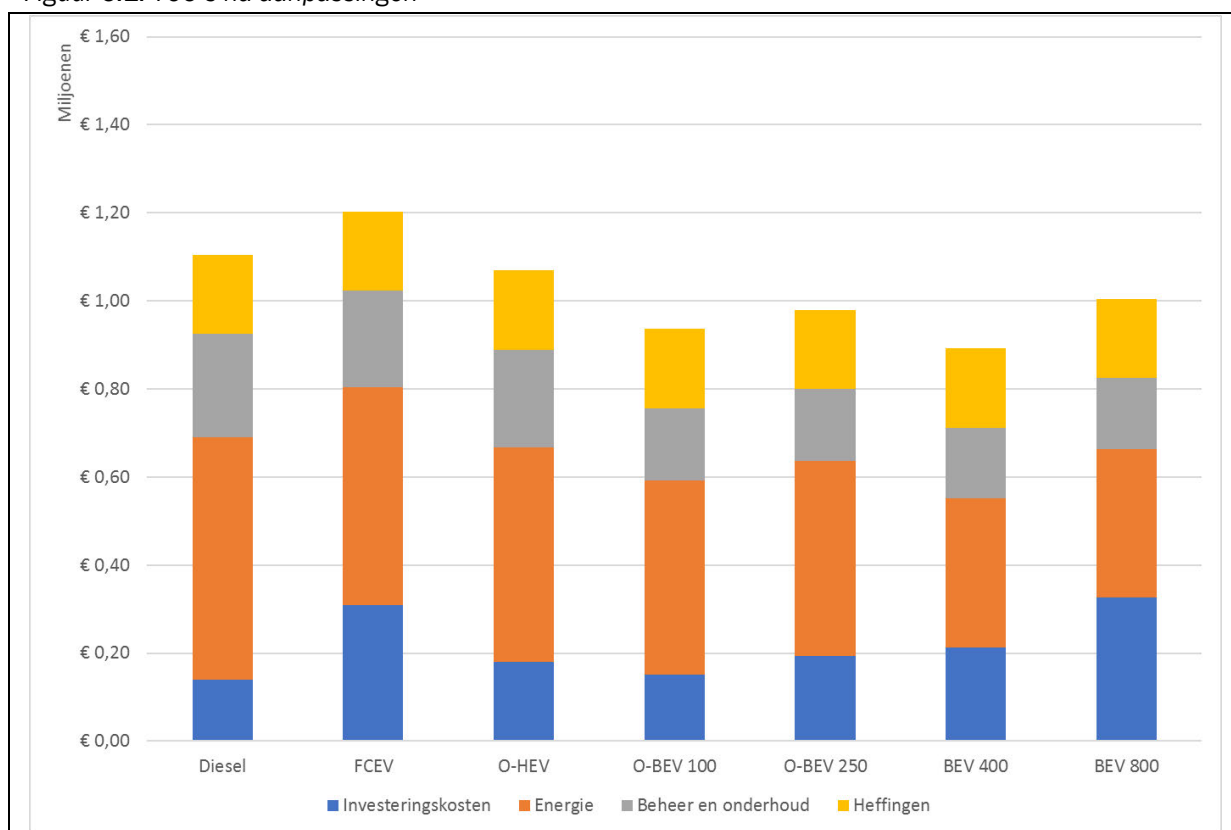
<sup>25</sup> Transitiestudie verduurzaming wegtransport I&W (2020)

Het verschil in de investeringskosten zit voornamelijk in de prijsaannames voor de brandstofcel, waterstof tank en bijbehorende elektronica.

#### Resulterende TCO's

Figuur 3.1 geeft de TCO's in 2030 van de varianten weer na de aanpassingen van de aannames. In de figuur staan de totale vaste en variabele kosten over de levensduur van een vrachtwagen van de verschillende types. De uitgangspunten die we voor de berekeningen gehanteerd hebben zijn terug te vinden in bijlage 4.

Figuur 3.1. TCO's na aanpassingen



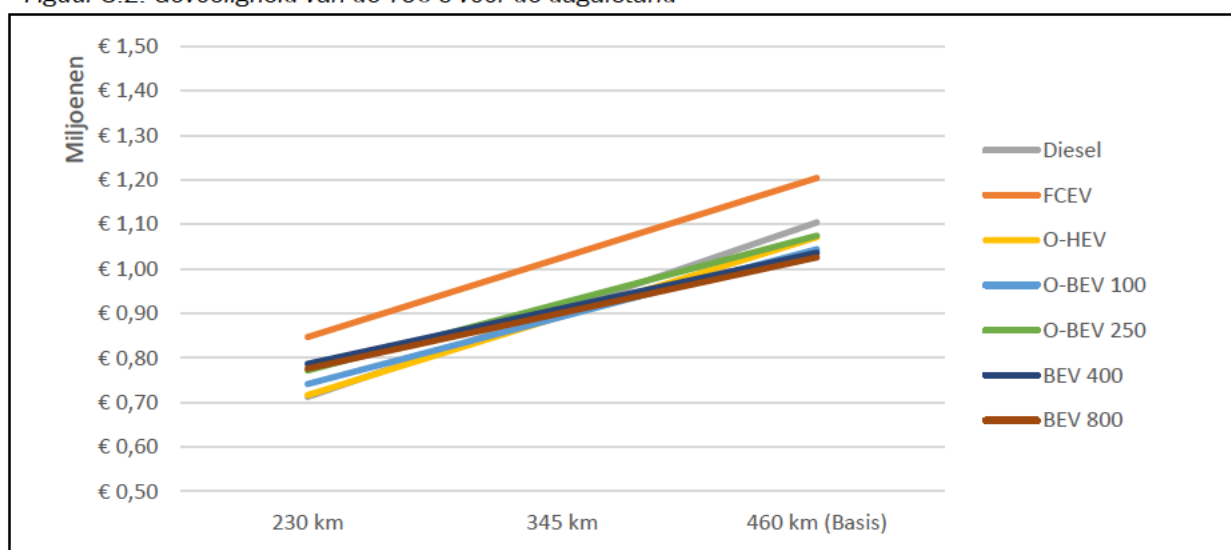
Nota bene: voor de O-BEV varianten geldt dat qua aantal gebruikers nog is uitgegaan van het uitgangspunt van Movares. In het vervolg van de analyse gaan we hier dieper op in voor de te onderzoeken netwerkvarianten, waarmee de kosten per gebruiker anders worden, en de TCO dus ook verandert.

### Variatie in dagafstanden

In het Movares-onderzoek is uitgegaan van een dagafstand van 460 kilometer per dag voor een trekkeroplegger. Uit statistieken van het CBS en bijvoorbeeld onderzoek van de haven van Rotterdam<sup>26</sup> is te zien dat hierin een grote variatie bestaat. Daarom is het nodig om te kijken naar verschillende dagafstanden.

Als we kijken naar dagafstanden die 25 procent (345 km) en 50 procent (230 km) lager zijn, dan komen de TCO's als volgt uit.

Figuur 3.2: Gevoeligheid van de TCO's voor de dagafstand



Te zien is dat alle varianten gevoelig zijn voor het veranderen van de dagafstand. Logisch omdat de energie- en andere variabele kosten dan toenemen. Een verandering van 1% in de dagafstand heeft tussen 0,5% en 0,7% invloed op de TCO van de varianten. Niet alle varianten zijn even gevoelig voor de dagafstand. De varianten met de hogere OPEX zoals Diesel en O-HEV zijn gevoeliger dan de O-BEV en BEV-varianten<sup>27</sup>.

In de kosteneffectiviteit van de ERS wordt in het vervolg van dit onderzoek dan ook rekening met de dagafstand van de vrachtauto's gehouden.

### Vrachtwagenheffing en terugsluis

In Nederland wordt een vrachtwagenheffing ingevoerd. Op dit moment wordt de behandeling in de Tweede Kamer voorbereid. In de Eurovignetrichtlijn zijn de Europese spelregels opgenomen voor het in rekening brengen van het gebruik van infrastructuur aan zware vrachtvoertuigen (vrachtwagenheffing). De richtlijn wordt op dit moment herzien. De tarieven van emissieloos vrachtverkeer voor vrachtwagenheffing worden lager dan die van de huidige EURO VI-dieselvechters. De korting voor emissieloos vrachtverkeer moet tussen de 50% en 75% van het tarief voor EURO VI voertuigen zijn. De hoogte van de tarieven in de

<sup>26</sup> E-Trucks in de Rotterdamse haven, Port of Rotterdam, 2019

<sup>27</sup> Voor de FCEV geldt dat zowel de OPEX als de CAPEX relatief hoog zijn, daarom dalen de kosten per gereden kilometer hier minder snel naarmate de dagafstand toeneemt.



Nederlandse situatie wordt nog vastgesteld, evenals de hoogte van de kortingspercentages voor emissieloos vrachtverkeer.

In de bovenstaande TCO berekening is aangesloten bij de Movares-uitgangspunten. Hierin is nog niet uitgegaan van een korting op de heffing voor emissieloze vrachtwagens. Ook is nog geen rekening gehouden met subsidies of terugsluis van de opbrengsten. Indien hier wel rekening mee wordt gehouden, verandert het verschil tussen de TCO van diesel enerzijds en de TCO van de Zero Emissie-voertuigen anderzijds, in het voordeel van de zero emissievrachtwagens. Dit kan gaan om flinke bedragen. Indien een dieselvrachtwagen gedurende de hele levensduur €180.000 aan heffingen afdraagt (het uitgangspunt van Movares), zou een Zero Emissie-vrachtwagen €90.000 tot €135.000 kunnen besparen. Dit komt neer op meer dan 10 procent van de totale kosten. Naar verwachting zullen de verschillen tussen (qua range vergelijkbare) Zero Emissie-voertuigen hierdoor niet anders worden.

### 3.2 Business case vervoerders: meer dan TCO

Voor vervoerders is de TCO natuurlijk belangrijk, maar deze is niet alleen bepalend voor de keuze tussen Zero Emissie-technieken. Op basis van literatuurstudie en expertinterviews komen we tot de volgende opsomming van factoren die voor vervoerders ook van groot belang zijn:

- Een vervoerder wil zo min mogelijk afhankelijk zijn van externe factoren. Bij ERS is de vervoerder afhankelijk van politieke beslissingen (de aanleg van de ERS-infrastructuur) en lange termijn contracten met verladers (vracht op de routes waar ERS aanwezig is). Als over een van de twee twijfel is, zal niet snel voor O-BEV-trucks worden gekozen.
- Transporteurs, met name de kleinere, willen een zo homogeen mogelijke vloot vanwege de inzetbaarheid. Voor grote transporteurs speelt dit minder omdat deze kunnen zorgen voor goede allocatie van verschillende trucks naar type ritten. Maar voor hen heeft homogeniteit van de vloot schaalvoordelen. Een te groot deel aan O-BEV's (en in mindere mate BEV's) in de vloot leidt tot een verlies aan flexibiliteit.
- Als trucks aan routes moeten worden gekoppeld is kritische massa aan ERS routes nodig, net als vaste logistieke patronen (vrachtwagens die steeds dezelfde routes afleggen).
- In het begin van ERS (klein netwerk) zal het daarom nauwelijks economisch mogelijk zijn om het netwerk rendabel te opereren, de gebruikskosten voor de vervoerders worden te hoog omdat de volumes te laag zijn. Maar groei kan exponentieel stijgen met het netwerk.
- Systeemzekerheid is van groot belang. En ook de voorspelbaarheid van eventuele werkzaamheden / verstoringen. Een *fall back accu* voor noodgevallen is dus noodzakelijk.
- De exploitant van de ERS moet te allen tijde eerlijke en voorspelbare tarieven rekenen voor het gebruik. Vervoerders met O-BEV trucks zijn 'locked in' en willen dus maximale zekerheid over tarieven en tariefontwikkeling.
- Het aanbod van voertuigen moet voldoende groot zijn, en niet van een enkele OEM, maar breed in de markt om concurrentie te bevorderen en vertrouwen in investeringen in de toekomst. Dit is nu zeker nog niet het geval.

- De ERS-techniek moet bewezen en betrouwbaar zijn. Een stroomstoring heeft een veel grotere impact dan voor een batterij elektrische vrachtwagen. Veiligheid, ook in relatie tot kabelbreuken, moet ook gegarandeerd zijn.
- Het helpt als verladers belang hechten aan vervoer via ERS dus bijvoorbeeld garanties willen geven met lange-termijncontracten of op een andere manier delen in de risico's.
- De rol van leasemaatschappijen en grote transporteurs als eigenaar van de auto, ook van eigen rijders is belangrijk.

De bovenstaande punten zitten vooral in de randvoorwaardelijke sfeer voor vervoerders. Er is ook duidelijk een aantal voordelen van O-BEV's voor vervoerders:

- Er wordt onderweg bijgeladen, dus er gaat geen tijd verloren met tussentijds laden.
- Ten opzichte van een BEV is de vrachtauto minder zwaar, dus heeft deze meer laadvermogen.
- Bij een O-BEV vrachtauto hoeft de vervoerder minder voor te investeren omdat minder grote batterijpakketten en minder zware laadpunten nodig zijn.
- Ook voor bijladen van trucks kan ERS bruikbaar zijn. Bijvoorbeeld voor vrachtwagens die worden ingezet bij distributievervoer in steden.
- Het realiseren van laadinfrastructuur in de stad maar ook op depots kent momenteel problemen door congestie op het net. Als ze gebruik maken van ERS hoeven vervoerders dit niet zelf te regelen.

Concluderend: voor de vervoerder zijn er veel meer aspecten van belang dan alleen de TCO. De betrouwbaarheid van het systeem en een voldoende groot netwerk voor de belangrijkste ritten zijn daar de belangrijkste van. Het is dus te kort door de bocht om aan te nemen dat vervoerders sowieso voor een O-BEV zullen kiezen als de TCO hiervan het gunstigste is. Daarnaast is duidelijk dat de verladers, OEM's en leasebedrijven ook belangrijke partijen zijn om ERS tot een succes te maken.

### 3.3 Voor welke ritten is ERS interessant?

Alles overziend zijn er een paar 'rekenregels' die we kunnen afleiden uit het voorgaande om te bepalen wat de potentiële vraag is naar ERS. Dit zijn de volgende:

1. Vrachtauto's moeten minimaal 70% van de dagafstand op het ERS-traject rijden om voldoende te kunnen laden.
2. Herkomst of bestemming mag niet verder dan 30 km van het ERS-traject af zijn.
3. De vrachtauto's moeten een relatief vast rijpatroon door het jaar hebben, zodat de vervoerder weet dat deze nooit te grote afstand buiten het ERS-net hoeft af te leggen.
4. Hoe groter de dagafstand, hoe groter de kans dat de TCO van een O-BEV gunstiger is dan van een BEV. Omdat (zie 3.2) niet precies vast te stellen is bij welke dagafstand het omslagpunt ligt, hebben we onderscheid gemaakt naar de minimale dagafstanden die vrachtwagens afleggen (vanaf 90 km, 120 km, 150 km en vanaf 180 km).

De voorwaarden worden hieronder kort toegelicht.

#### *70% van de dagafstand op het ERS-traject rijden*

Een O-BEV moet een deel van zijn dagafstand op het ERS-traject rijden om voldoende te kunnen laden. Dit deel kan berekend worden aan de hand van de rij-efficiëntie (1,51 kWh/km) en de maximale laadsnelheid (2,2 kWh/km). Buiten het ERS-traject verliest de batterij 1,51 kWh per km. Op het ERS-traject laadt de batterij 0,69 kWh per km op. Om geen netto energieverlies (en dus kans op lege accu's) te hebben moet een O-BEV ongeveer 2,19 keer meer km op het ERS-traject afleggen. Dat komt overeen met 70% van de dagafstand.

#### *Niet verder dan 30 km van het ERS-traject rijden*

Een O-BEV kan niet verder dan 30 km van het ERS-traject rijden. Door de lage capaciteit van de batterij (we zijn in de basis uitgegaan van een batterij met een bereik van 100 kilometer) is het niet praktisch dat O-BEV ver buiten het ERS-traject gaat rijden. Met een maximum van 30 km (en 30 km terug) heeft de O-BEV nog een marge voor als een onverwachte situatie zich voordoet zoals bijvoorbeeld een omleiding. Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met degradatie van de batterij en bijvoorbeeld koude weersomstandigheden. Het uitgangspunt bij de O-BEV's is dat ze niet worden bijgeladen op het depot (waar ze in de meeste gevallen 's nachts staan).

#### *Vast rijpatroon*

Alleen de vrachtwagens die het hele jaar door op het ERS-net (kunnen) rijden, zijn potentiële gebruikers. De trekkers met veel wisselende rijpatronen vallen (afhankelijk van de fijnmazigheid van het netwerk) af. Op basis van kennis van de verschillende logistieke netwerken en schattingen van zwaartepunten en vaste patronen is een expertschatting gemaakt van dit gebruik voor de verschillende netwerkvarianten. Het zou mogelijk zijn om hier, bijvoorbeeld op basis van CBS microdata meer zekerheid over te verkrijgen, maar dat past niet in de scope van dit project.

#### *Minimale dagafstand*

Een voordeel dat een O-BEV heeft ten opzichte van een BEV is dat er minder batterijcapaciteit nodig is. De O-BEV heeft echter altijd een basis batterijcapaciteit nodig om afstanden buiten het ERS-traject te kunnen rijden. Het installeren van een pantograaf bij een O-BEV kost evenveel als het installeren van batterijen die voor ongeveer 90 km aan extra bereik zorgen. Ritten met een dagafstand tot 120 kilometer vallen hierdoor al snel af, tenzij de kilometerkosten van een O-BEV veel lager liggen dan van een BEV. In dat geval kan een O-BEV ook voor dagafstanden korter dan 120 kilometer interessant worden. Verder geldt dat naarmate de dagafstand groter is, het mogelijke voordeel van een O-BEV ten opzichte van een BEV groter is. Omdat we nog niet weten wanneer de TCO van O-BEV interessant wordt, rekenen we de aantallen trucks door met minimale dagafstanden (90 km, 120 km, 150 km en 180 km). Op basis daarvan kan worden geschat of er voldoende vraag is voor een concurrerende TCO (de TCO van de O-BEV hangt immers samen met het gebruik van de ERS).

#### *Conclusie*

Het aantal gebruikers van ERS is bepalend voor de TCO van O-BEV's. En deze TCO is weer bepalend voor het aantal gebruikers. Om dit kip-ei probleem te doorbreken hebben we een aantal 'rekenregels' bepaald om te bepalen hoe groot de vraag naar ERS kan zijn in verschillende netwerken. In hoofdstuk vier worden deze rekenregels toegepast voor de verschillende netwerkalternatieven.

## 4. ERS-netwerkalternatieven

Op basis van de analyses in hoofdstuk twee (wegvervoer stromen en -karakteristieken) en drie (TCO en business case) zijn drie ERS-netwerkalternatieven bepaald. Deze worden in dit hoofdstuk gepresenteerd, waarna een inschatting is gemaakt van het potentiële gebruik van deze ERS-netwerken.

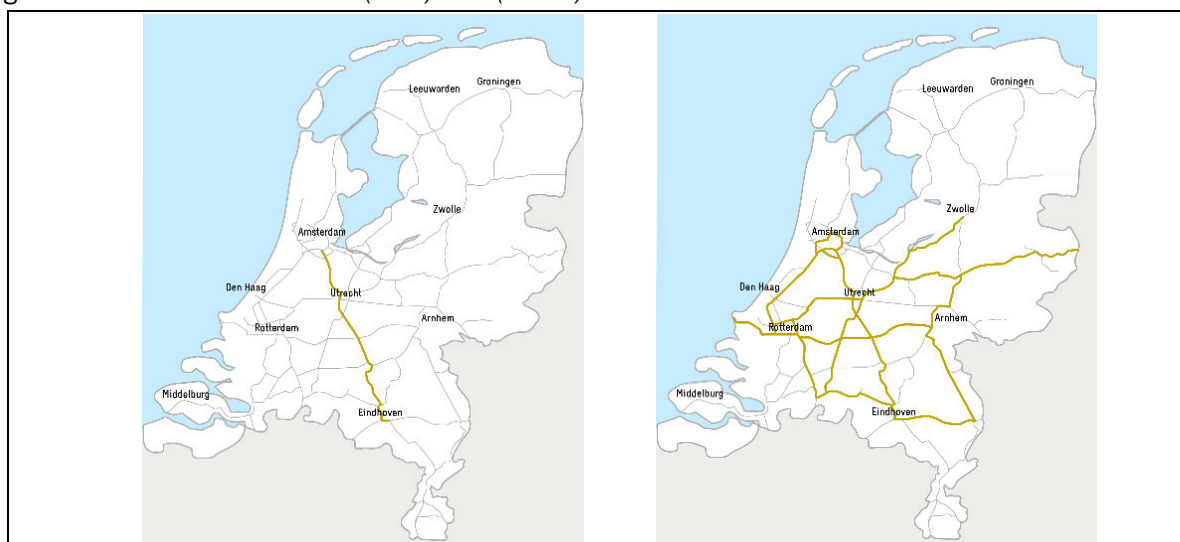
### 4.1 Drie netwerkalternatieven

Uit de literatuurscan is gebleken dat ERS op een enkele corridor (met name in Zweden en Duitsland) in andere landen niet rendabel is. Dit is logisch, want naarmate het netwerk groter wordt kan een groter deel van de vrachtwagens voor een voldoende groot deel van hun trip gebruik maken van ERS. Het wegennetwerk in Nederland is dichter dan gemiddeld in veel andere landen en de intensiteiten van vrachtverkeer zijn ook relatief hoog. Het is dan ook relevant om te onderzoeken hoe verschillende typen netwerken uitpakken voor de Nederlandse situatie.

Op basis van de inzichten uit de verschillende bronnen zijn drie varianten uitgewerkt:

- Variant 1 beoogt om zicht te krijgen van het effect van één streng met ERS. Hiervoor is op basis van de inzichten in de distributiestructuur en de vrachtwagenintensiteiten gekozen voor de A2 tussen Amsterdam (aansluiting A10) en Eindhoven (Leenderheide). Het betreft 125 km weglengte (dit betekent dus voor ERS in twee richtingen 250 km).
- Variant 2 richt zich op het voorzien van een 'kernnet' met ERS. Eveneens op basis van de distributiestructuren en de vrachtwagenintensiteiten is hiervoor een netwerk uitgewerkt dat met name is gelegen in de grotere Randstad met uitlopers op belangrijke hoofddassen (Zwolle, Hengelo, Venlo). Het betreft 980 km weglengte (dus 1.960 km ERS in beide richtingen).
- In variant 3 wordt het gehele A-wegennet van ERS voorzien (dit zijn dus alle wegen met een autosnelweg status). Dit wegennet omvat 2.500 km weglengte (dus 5.000 km ERS in beide richtingen).

Figuur 4.1: ERS netwerkvariant 1 (links) en 2 (rechts)



Figuur 4.2: ERS netwerkvariant 3



De benodigde investeringskosten staan vermeld in onderstaande tabel. Hiervoor hebben we aangesloten bij de uitgangspunten die Movares heeft gehanteerd, waarbij de kosten per kilometer ERS (in beide rijrichtingen) €3,3 miljoen bedragen.

*Investeringskosten ERS netwerk voor de drie varianten*

	Totale investeringskosten
Variant 1	€ 0,4 mrd
Variant 2	€ 3,1 mrd
Variant 3	€ 7,8 mrd

## 4.2 De potentiële vraag per alternatief

Voor de drie netwerkalternatieven hebben we een schatting gemaakt van de potentiële aantal voertuigkilometers via ERS. Dit hebben we gedaan door de vier eerder genoemde rekenregels toe te passen.

1. Vrachtauto's moeten minimaal 70% van de dagafstand op het ERS-traject rijden.
2. Herkomst of bestemming mag niet verder dan 30 km van het ERS-traject af zijn.
3. De vrachtauto's moeten een relatief vast rijpatroon door het jaar hebben, zodat de vervoerder weet dat deze nooit te grote afstand buiten het ERS net hoeft af te leggen.
4. Hoe groter de dagafstand, hoe groter de kans dat TCO van rijden via ERS gunstiger is dan batterij elektrisch. We hebben onderscheid gemaakt van de vrachtauto's die aan bovenstaande twee rekenregels voldoen naar minimale dagafstanden (vanaf 90 km, 120 km, 150 km en vanaf 180 km).

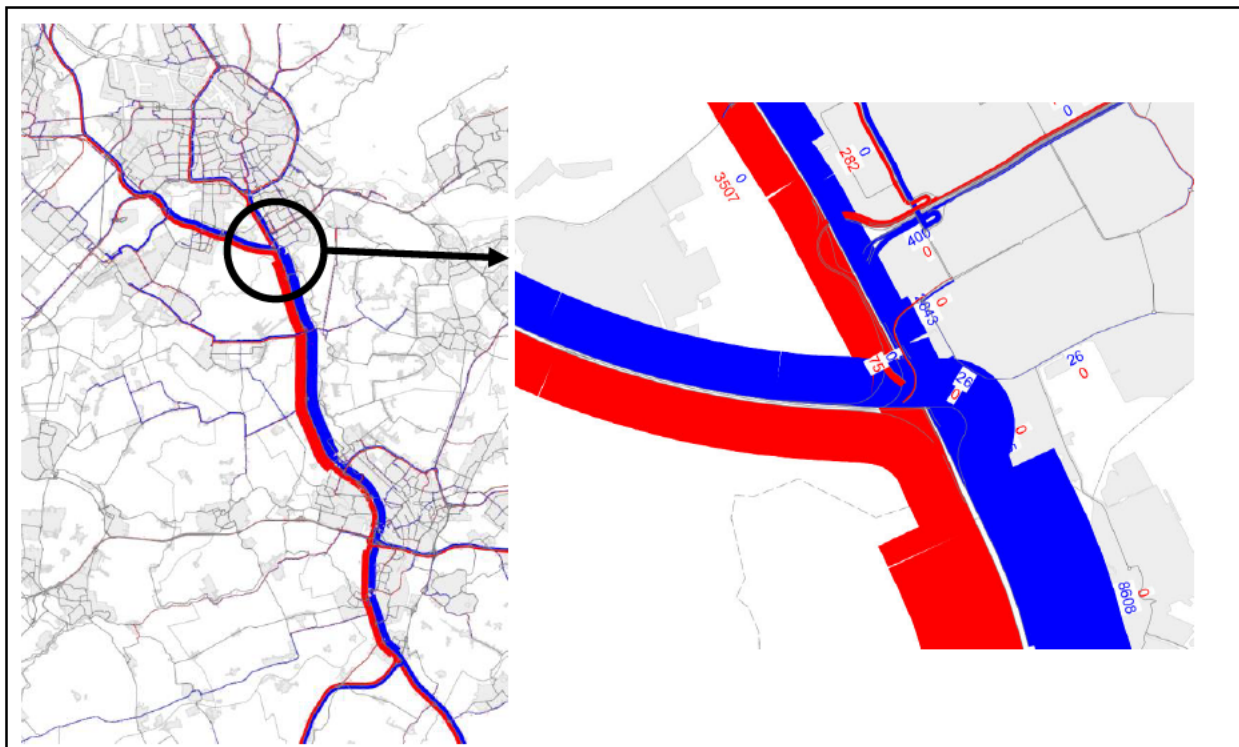
#### Rekenregels 1 en 2

Om zicht te krijgen op het potentiële gebruik van ERS zijn in het LMS (landelijk model systeem) vier selected links gemaakt. Van deze selected links verwachten we dat het vrachtverkeer op deze links gezamenlijk redelijk representatief zijn voor het verkeer op het gehele netwerk. Dit zijn:

- A2 bij Breukelen
- A4 bij Roelofarendsveen
- A15 bij Hardinxveld
- A50 bij Heteren

De selected links geven gedetailleerd weer hoe de ritten die er passeren zich verder vertakken (zie figuur 4.3).

Figuur 4.3: Detail van opbouw selected links



Hiermee hebben we de eerste twee rekenregels als volgt toegepast (voor elk van de drie netwerkvarianten):

- de lengte is bepaald van het deel van de rit dat met ERS kan worden afgelegd. Dit is in vier afstandscategorieën opgedeeld op basis van een afgeronde schatting (zie figuur 4.1 voor een voorbeeld van de werkwijze);
- datzelfde is gedaan voor de delen van de rit die zonder ERS moeten worden afgelegd, eveneens op basis van afgeronde schatting.

Tabel 4.1. Illustratie wijze van analyseren van de ritten

Variant 2			
(west)		(oost)	
Traject(en) met ERS (km)	% ritten	Traject(en) met ERS (km)	% ritten
< 20	10	< 20	0
20 - 50	70	20 - 50	10
50 -100	15	50 -100	30
> 100	5	> 100	60

Op basis hiervan komen we op de volgende aantallen vrachtwagens per etmaal, gemiddeld per kilometer die aan de eerste twee rekenregels voldoen. Dit is bepaald door uit de selected links de aantallen ritten bij de relevante routes af te lezen in combinatie met een inschatting van de lengte van die routes.

Tabel 4.2. Aantallen vrachtauto's die potentieel van ERS gebruik kunnen maken na toepassing van rekenregels 1 en 2, gemiddeld per kilometer per etmaal.

	ERS gebruik gemiddeld per km
Variant 1	3.721
Variant 2	15.964
Variant 3	9.443

Te zien is dat in netwerkvariant 2 de grootste potentiële vraag is. Ten opzichte van variant 1 is dit te verklaren doordat veel meer vrachtauto's 70 procent van hun verplaatsing over het ERS-netwerk kunnen afleggen. Dat netwerkvariant 3 minder goed scoort komt doordat in variant 3 ook minder druk bereden delen van het netwerk van ERS worden voorzien, waardoor de intensiteit per gemiddelde kilometer ERS lager is.

### Rekenregel 3

Bij rekenregel 3 gaat het om welk deel van de vrachtwagens op elk van de netwerkalternatieven een dermate vast patroon heeft gedurende het jaar, dat de vervoerder inderdaad zou kunnen overstappen op een ERS-vrachtwagen zonder dat deze bang hoeft te zijn voor een bepaalde rit niet af te kunnen met het ERS-netwerk (dus dat hij meer dan 30 kilometer enkele reis van het net af hoeft te gaan).

In hoofdstuk 2.2 zijn belangrijke deelsectoren in het wegvervoer beschreven. Van de belangrijkste deelsectoren hebben veel van de ritten vaste patronen: van productie- of logistieke locaties naar distributiecentra, of van distributiecentra naar locaties van vaste afnemers, of naar vaste detailhandelsvestigingen. Daarmee is een belangrijk deel van de patronen vrij constant.

Om dit goed te analyseren zou gebruik kunnen worden gemaakt van CBS microdata, waarin jaarlijks het patroon van een steekproef met individuele vrachtwagens wordt vastgelegd. Dit past echter niet binnen de scope van dit onderzoek. Als alternatief hebben we, op basis van de expertkennis van het projectteam, inzichten in distributieketens in deelsectoren en door te toetsen in interviews een ruwe schatting gemaakt van welk deel van de vrachtwagens op elk van de drie netwerkalternatieven een dermate vast patroon rijdt dat de vrachtwagen permanent uit de voeten kan met dat ERS-netwerk.

Deze factoren zijn 25, 65 en 80 procent voor respectievelijk variant 1, 2 en 3 (zie tabel 4.3)

Tabel 4.3. Schatting welk deel van de vrachtauto's een voldoende vast jaarpatroon rijdt voor ERS per netwerk alternatief

	Schatting voldoende vast patroon	Gebruikte factor	ERS gebruik gemiddeld per km
Variant 1	25-33%	25%	930
Variant 2	65-75%	65%	10.376
Variant 3	80-90%	80%	7.555

#### Rekenregel 4

Tenslotte is op basis van de LMS-prognoses een schatting gemaakt van de verdeling over dagafstanden van de aantallen vrachtwagens die van ERS gebruik kunnen maken in elk van de netwerkvarianten. Dit is relevant omdat, zoals eerder gesteld, ERS vooral interessant is voor de ritten met lange afstanden.

Tabel 4.4. Schatting cumulatieve vraag per etmaal gemiddeld per km ERS met dagafstand vanaf<sup>28</sup>

Dagafstand vanaf	Variant 1	Variant 2	Variant 3
>180 km	402	4480	3262
>150 km	499	5563	4050
>120 km	606	6761	4923
>90 km	758	8458	6158

Tegelijkertijd is het, om een ERS-systeem betaalbaar te maken, belangrijk dat er voldoende vrachtwagens gebruik van maken, zodat de infrastructuurkosten kunnen worden verdeeld over zoveel mogelijk O-BEV kilometers. Omdat tevoren niet kan worden ingeschat vanaf welke dagafstanden vervoerders zullen overstappen op O-BEV's, laten we in deze analyse de resultaten zien van deze verschillende categorieën dagafstanden.

<sup>28</sup> De cijfers in de tabel gaan over WLO hoog in 2040. Voor WLO laag en prognosejaar 2030 zijn ook berekeningen gemaakt.



In eerste instantie gaan we er in de analyse vanuit dat de kosten van de ERS infrastructuur moet worden terugverdiend door een opslag op het elektriciteitsstarief. Dat geldt voor batterij-elektrisch laden immers ook. Ook betaalt de lader voor de laadinfra (hetzij door zelf een laadpunt aan te laten leggen, hetzij via een opslag op openbare laadpunten)

### 4.3 Resulterende TCO

Aan de hand van de rekenregels is voor de varianten de cumulatieve vraag voor het totale ERS-netwerk berekend. Hierbij is uitgegaan van LMS-berekeningen met het scenario WLO hoog en prognosejaar 2040. WLO laag is ook doorgerekend, dat laten we in volgende hoofdstukken zien.

Tabel 4.5. Schatting cumulatieve vraag in voertuigkilometers (x 1000) per etmaal voor totaal ERS netwerk met verschillende dagafstanden (afgerond) 2040 H

Dagafstand vanaf	Variant 1	Variant 2	Variant 3
>180 km	50	4.400	8.200
>150 km	60	5.500	10.100
>120 km	80	6.600	12.300
>90 km	90	8.300	15.400

Om de vraag vervolgens per jaar te achterhalen is gebruik gemaakt van de ophoogfactoren<sup>29</sup> voor jaartotalen. Dat resulteert in de volgende vraag in 2030:

Tabel 4.6 Schatting jaarlijkse cumulatieve vraag in mln voertuigkilometers voor totaal ERS netwerk met verschillende dagafstanden (afgerond) 2040 H

Dagafstand vanaf	Variant 1	Variant 2	Variant 3
>180 km	13	1.140	2.118
>150 km	16	1.416	2.629
>120 km	20	1.721	3.196
>90 km	25	2.152	3.998

Ter vergelijking: In 2018 werden in Nederland in zijn totaliteit 7,2 miljard kilometers door vrachtwagens (zowel Nederlandse als buitenlandse) afgelegd. Op basis van de volumes in tabel 4.6 is de kostprijs van de ERS infrastructuur per voertuigkilometer bepaald.

Voor de kosten van ERS per kilometer zijn we uitgegaan van de cijfers in het Movares onderzoek. De investeringskosten (CAPEX) en de vaste en variabele beheer- en onderhoudskosten (OPEX vast en OPEX variabel) zijn uitgezet in de tijd, van 2030 tot 2065. Deze kosten zijn netto contant gemaakt met een discontovoet van 1,6 procent. Voor het ERS-gebruik (de kilometrages van de O-BEV's) is een jaarlijks groeipercentage van 0,16 procent (lage scenario) en 0,98 procent (hoge scenario) gehanteerd. Dit groeipercentage is gebaseerd op het verschil in vrachtwagenkilometers tussen 2030 en 2040 zoals dit uit LMS-prognoses naar voren is gekomen. Daarbij hebben we het gewogen gemiddelde genomen van de ontwikkeling in aantal ritten in de L3-categorie en het vrachtwagendeel van

<sup>29</sup> Ophoogfactoren Rijkswaterstaat WVL, opgesteld door 4Cast (2021)

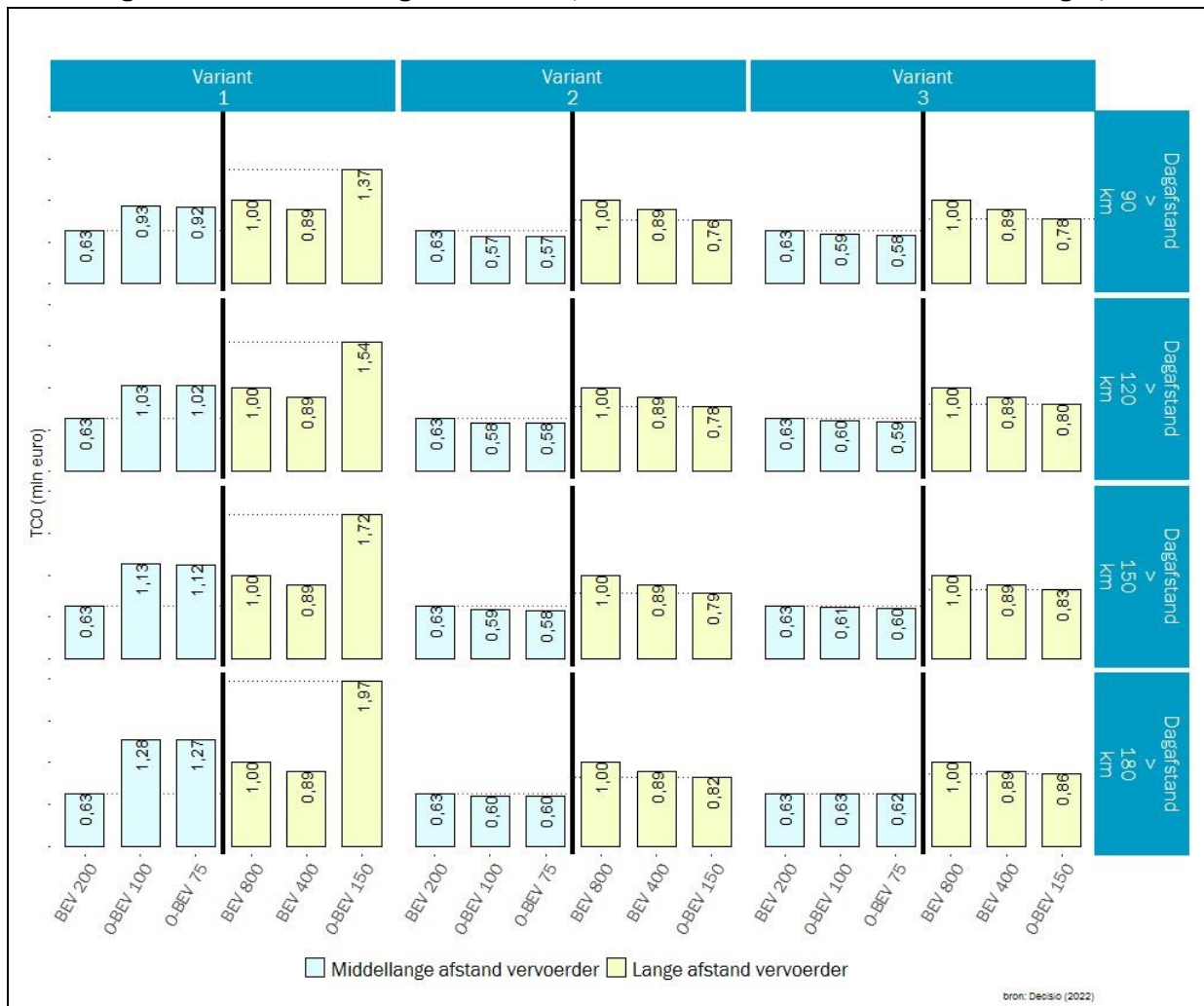
de L2-categorie. Om de infrastructuurkosten per gereden kilometer te berekenen, die in de TCO terug komt, zijn we uit gegaan van een break-even scenario over de duur van 35 jaar. De kostprijs wordt dus berekend door de totale kosten te delen door de gereden kilometers (omgerekend naar geladen kilowatts worden die dan verdisconteerd in de elektriciteitsprijs).

In figuur 4.4 is, op basis van de berekende ERS kosten per gereden kilometer, een herberekening van de TCO's opgenomen. Dus de totale kosten van het exploiteren van een vrachtwagen gedurende de gehele levensduur.

In de grafiek is voor netwerkvariant 2 en 3 een vergelijking gemaakt tussen O-BEV's en BEV's voor de middellange en lange afstand. Voor de middellange afstand wordt de O-BEV 100 en 75 vergeleken met de BEV 200. Voor de lange afstand is de O-BEV 150 vergeleken met de BEV 400 en 800.

De TCO van de O-BEV varieert met het aantal vrachtwagens dat van de ERS gebruik maakt. De grafiek laat zien wat de TCO van de O-BEV is als de vrachtwagens met bepaalde minimale dagafstanden (die aan de rekenregels voldoen) van ERS gebruik maken. De TCO is het gunstigst als vrachtwagens met dagafstanden vanaf 90 km van ERS gebruik maken, omdat het gebruik van ERS dan het hoogst is. De TCO wordt steeds wat minder gunstig naarmate minder vrachtwagens van ERS gebruik maken. De vrachtwagens met de kortere dagafstanden vallen als eerste af, omdat een O-BEV voordeliger is dan een BEV naarmate de dagafstanden toenemen.

Figuur 4.4. Vergelijking TCO's O-BEV's en BEV's op middellange en lange afstanden, bij verschillende vrachtwagenvolumes die van ERS gebruik maken (TCO in € mln over hele levensduur vrachtwagen)<sup>30</sup>



De grafiek vergelijkt voor de drie alternatieven en voor zowel de middellange (blauwe staven) en de lange afstand (geel) de TCO van de O-BEV's met de vergelijkbare BEV's. Uit de grafiek is af te lezen dat variant 1 in alle gevallen ongunstige O-BEV TCO's laat zien ten opzichte van de BEV alternatieven. Voor de varianten 2 en 3 geldt dat de O-BEV TCO's in alle situaties lager liggen dan de BEV TCO's en daardoor gunstig zijn. Dit geldt zelfs als alleen de vrachtwagens met een dagafstand boven de 180 kilometer van de ERS gebruik maken.

In de bovenstaande berekening is nog geen rekening gehouden met de aanloopverliezen die er bij een ERS zullen zijn omdat de aanleg een aantal jaren duurt, en de ingroei ook tijd zal kosten. Hierop komen we in het volgende hoofdstuk terug.

<sup>30</sup> De TCO berekeningen zijn, zoals meestal gebeurt, weergegeven als totale kosten over de levensduur van de vrachtauto. Een alternatief is om de TCO kosten per kilometer te presenteren. In dat geval zou de verhouding tussen BEV's en O-BEV's niet veranderen. Wat wel zou veranderen is dat de kosten per kilometer voor het lange afstandsvervoer lager zouden worden dan van het middellange afstandsvervoer. Dit omdat de (hogere) vaste kosten over meer kilometers worden verdeeld, waardoor de totale kosten per kilometer lager zijn.

#### 4.4 ERS kan vraag rendabel accommoderen

Het uitgangspunt bij de Movares-studie was dat de spanning op het ERS-systeem 600 volt wordt, net als bij de Duitse pilots. Een hogere spanning is overigens ook mogelijk, maar dat ligt minder voor de hand en is door Movares ook niet uitgewerkt. Bij één gelijkrichterstation per 2 kilometer en de andere uitgangspunten van Movares is er per kilometer ERS (voor beide richtingen) voor vier O-BEV's 2,2 kWh/km aan elektriciteit beschikbaar. Indien er minder dan vier O-BEV's zijn aangetakt is er meer beschikbaar. Indien er meer rijden, is er minder elektriciteit beschikbaar. Gemiddeld is er 1,51 kWh/km nodig om te rijden. Het extra beschikbare vermogen kan worden gebruikt om de batterij op te laden.

Een belangrijke vraag is natuurlijk hoeveel trucks van ERS gebruik kunnen maken en hoe dit zich verhoudt tot de aantallen in de gepresenteerde TCO-berekeningen. Hieronder voeren we hier een eenvoudige controle op uit.

De basis voor de berekeningen waren de volgende aantallen O-BEV's die, gemiddeld per kilometer ERS, per etmaal gebruik maken van het systeem. Bij bepaalde minimale dagafstanden. Ter toelichting: In de regel > 150 staan de aantallen ERS gebruikers per kilometer per uur indien alle vrachtauto's met dagafstanden boven 150 kilometer die aan de rekenregels voldoen van ERS gebruik maken. Naarmate de minimale dagafstand afneemt, neemt het gebruik dus toe.

Tabel 4.5. Cumulatieve vraag per etmaal per strekkende km ERS met minimale dagafstand vanaf:

Cumulatieve vraag per km ERS met dagafstand vanaf:	Variant 1	Variant 2	Variant 3
>180	402	4480	3262
>150	499	5563	4050
>120	606	6761	4923
>90	758	8458	6158

In onderstaande tabel is indicatief uitgerekend hoeveel O-BEV's per etmaal maximaal van de ERS gebruik kunnen maken. Dit aantal is ongeveer 3.600 bij de huidige zwaarte van het net, met de bijbehorende investeringskosten. Dat betekent dat de capaciteit in variant 2 en 3 niet meer volstaat als vrachtwagens met lagere dagafstanden ook gebruik maken van ERS.

We hebben berekend dat bij een gebruik van gemiddeld rond 2.000 vrachtwagens per etmaal de TCO van een O-BEV ongeveer gelijk wordt met een BEV voor de middellange afstand. Door de vraag te managen kan de TCO dus sowieso positief blijven. Overigens kan de capaciteit op bepaalde delen van het netwerk relatief eenvoudig en kostenefficiënt worden uitgebreid, door meer gelijkrichterstations aan te leggen en zwaardere kabels te gebruiken<sup>31</sup>.

#### Maximum aantal O-BEV's per kilometer ERS net

Aantal trucks die tegelijk kunnen laden per kilometer	4
---	---

<sup>31</sup> Hier wordt in hoofdstuk 5.5 nader op ingegaan.

Gemiddelde snelheid	90 <sup>32</sup>	km/h
Hoe lang doet truck over kilometer?	0,67	minuten
Hoeveel trucks kunnen in een uur die ERS kilometer gebruiken?	360	
Factor uren/etmaal	10	
Dus maximaal per dag	3.600	

---

#### 4.5 Conclusie: Variant 1 niet rendabel, varianten 2 en 3 onder voorwaarden wel

In dit hoofdstuk hebben we gezien dat de berekende TCO's van 0-BEV trucks voor netwerkvariant 1 niet concurrerend zijn, maar wel voor netwerkvarianten 2 en 3. Dit is zelfs het geval als alleen trucks met een dagafstand boven de 180 kilometer van het systeem gebruik zullen maken (voor ritten die aan de rekenregels voldoen). Daarnaast hebben we gezien dat de capaciteit van het ERS-systeem geen belemmering is voor een rendabele TCO.

We hebben hierbij nog geen rekening gehouden met de aanloopverliezen en met andere (maatschappelijke) effecten van ERS. Deze komen in het volgende hoofdstuk aan bod. Omdat variant 1 niet aantrekkelijk is, laten we deze in het vervolg van de rapportage niet meer zien.

---

<sup>32</sup> Hoewel de maximumsnelheid op snelwegen voor vrachtverkeer 80 km/u is, ligt de werkelijke snelheid wat hoger. In dit rekenvoorbeeld zijn we uit gegaan van 90 km/u.

## 5. Maatschappelijke effecten

### 5.1 Investerings- en operationele kosten van het netwerk

De investeringskosten (CAPEX) voor het ERS-netwerk bestaan uit kosten voor de componenten bovenleiding, gelijkrichtersstations, aansturing en bewaking en individuele aansluitingen. De vaste operationele kosten (OPEX vast) bestaan uit de vaste onderhoudskosten en de variabele operationele kosten (OPEX variabel) bestaan uit elektriciteitskosten en vervanging door slijtage van de bovenleiding. Voor het berekenen van de kosten zijn we van de volgende getallen uitgegaan: CAPEX 3,3 miljoen euro per kilometer, OPEX vast 3,7 miljoen euro per kilometer over de levensduur en OPEX variabel 0,19 euro per voertuigkilometer, zie tabel ook 5.1.

Tabel 5.1 CAPEX en OPEX (vast en variabel) overzicht

Kostensoort	Kostprijs	Eenheid	Bron
CAPEX	€ 3,3	Mln euro per km	Movares (2020)
OPEX vast	€ 3,7	Mln euro per km over levensduur	Movares (2020)
OPEX variabel	€ 0,19	Euro per voertuigkilometer	Movares (2020), PBL (2021) en EVConsult (2021)

De totale kosten zijn een optelling van genoemde kostensoorten. Om ze te kunnen bepalen zijn de kilometertotalen van de netwerkvarianten gebruikt, is uitgegaan van een levensduur van het ERS-netwerk van 35 jaar (conform Movares), is de jaarlijkse vraag per variant naar ERS geschat voor de WLO scenario's hoog en laag. Voor het verdisconteren van alle kosten is een discontovoet van 1,6% gebruikt<sup>33</sup>. Daarnaast is rekening gehouden met een jaarlijkse groei van de vraag naar ERS volgens de volgende percentages; 0,98% voor WLO hoog en 0,16% voor WLO laag. Deze percentages hebben we bepaald door de ontwikkeling van het aantal ritten tussen 2030 en 2040 (en 2050) te nemen volgens het LMS. We hebben daarbij het gewogen gemiddelde aangehouden van de categorieën L3 en L2 (vrachtwagendeel).

De kosten zijn per jaar in de tijd uitgezet en verdisconteerd naar het beginjaar van de aanleg: 2030. De varianten 1 en 2 worden in 5 jaar aangelegd, terwijl variant 3 in 7 jaar wordt aangelegd.

Tabel 5.2 Totale kosten ERS netwerkvarianten voor 35 jaar in miljoenen euro's, prijspeil 2030

	WLO Hoog	CAPEX	OPEX vast	OPEX variabel	Totale kosten
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 3.137	€ 257	€ 5.800	€ 9.194
	Dagafstand > 150 km	€ 3.137	€ 257	€ 7.202	€ 10.596
	Dagafstand > 120 km	€ 3.137	€ 257	€ 8.753	€ 12.147
	Dagafstand > 90 km	€ 3.137	€ 257	€ 10.950	€ 14.343

<sup>33</sup> <https://www.rwseconomie.nl/discontovoet>

	<b>WLO Hoog</b>	<b>CAPEX</b>	<b>OPEX vast</b>	<b>OPEX variabel</b>	<b>Totale kosten</b>
<i>Variant 3</i>	Dagafstand > 180 km	€ 7.879	€ 630	€ 10.656	<b>€ 19.165</b>
	Dagafstand > 150 km	€ 7.879	€ 630	€ 13.231	<b>€ 21.740</b>
	Dagafstand > 120 km	€ 7.879	€ 630	€ 16.081	<b>€ 24.590</b>
	Dagafstand > 90 km	€ 7.879	€ 630	€ 20.116	<b>€ 28.625</b>
	<b>WLO Laag</b>	<b>CAPEX</b>	<b>OPEX vast</b>	<b>OPEX variabel</b>	<b>Totale kosten</b>
<i>Variant 2</i>	Dagafstand > 180 km	€ 3.137	€ 257	€ 4.551	<b>€ 7.945</b>
	Dagafstand > 150 km	€ 3.137	€ 257	€ 5.650	<b>€ 9.044</b>
	Dagafstand > 120 km	€ 3.137	€ 257	€ 6.867	<b>€ 10.261</b>
	Dagafstand > 90 km	€ 3.137	€ 257	€ 8.591	<b>€ 11.985</b>
<i>Variant 3</i>	Dagafstand > 180 km	€ 7.879	€ 630	€ 8.349	<b>€ 16.858</b>
	Dagafstand > 150 km	€ 7.879	€ 630	€ 10.366	<b>€ 18.875</b>
	Dagafstand > 120 km	€ 7.879	€ 630	€ 12.599	<b>€ 21.108</b>
	Dagafstand > 90 km	€ 7.879	€ 630	€ 15.761	<b>€ 24.270</b>

In de tabel is duidelijk te zien dat de investeringskosten toenemen naarmate het netwerk groter is en dat de variabele en dus de totale kosten toenemen met het gebruik. De kosten zijn het hoogst indien ook de daarvoor geschikte vrachtwagens met dagafstanden boven de 90 kilometer van ERS gebruik maken.

## 5.2 Aanloopverliezen van ERS

Er zal sprake zijn van ingroei van het ERS-gebruik nadat de eerste corridors van ERS zijn aangelegd. Dit houdt in dat er niet direct optimaal gebruik zal worden gemaakt van het ERS-systeem. Dit heeft invloed op de opbrengsten in de eerste jaren.

Het ingroeitempo van ERS-gebruik is mede gebaseerd op basis van de afschrijvingstermijn van dieselveertuigen. Deze afschrijvingstermijn is gemiddeld zeven jaar.<sup>34</sup> Voor de berekening van het effect van ingroei zijn wij er vanuit gegaan dat er de eerste drie jaar van de aanlegperiode geen gebruik wordt gemaakt van ERS. Daarna groeit het gebruik van ERS met 1/7 per jaar tot de 100 procent verwachte vraag in jaar 10.

Dit betekent dat er een extra opslag op de verkoopprijs van elektriciteit moet worden gelegd, althans, als deze 'aanloopverliezen' moeten worden terugverdiend. In de onderstaande tabel is dit uitgewerkt en is deze 'misgelopen omzet' berekend. In totaal gaat het in WLO hoog om ruim 9 procent en in WLO laag om ruim 6 procent van de totale kosten.

<sup>34</sup> [https://www.evofenedex.nl/sites/default/files/2019-08/Rapport\\_Kostenontwikkeling\\_2018.pdf](https://www.evofenedex.nl/sites/default/files/2019-08/Rapport_Kostenontwikkeling_2018.pdf)

Tabel 5.3. Effect ingroei als percentage van de totale kosten

WLO Hoog: effect ingroei		Verschil verkoopprijs energie door ingroei €/kWh	'Misgelopen Omzet' (€ mln)
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 0,005	322,5
	Dagafstand > 150 km	€ 0,004	322,5
	Dagafstand > 120 km	€ 0,003	322,5
	Dagafstand > 90 km	€ 0,003	322,5
Variant 3	Dagafstand > 180 km	€ 0,006	710,5
	Dagafstand > 150 km	€ 0,005	710,5
	Dagafstand > 120 km	€ 0,004	710,5
	Dagafstand > 90 km	€ 0,003	710,5
WLO Laag: effect ingroei		Verschil verkoopprijs energie door ingroei €/kWh	'Misgelopen Omzet' (€ mln)
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 0,005	263,5
	Dagafstand > 150 km	€ 0,004	263,5
	Dagafstand > 120 km	€ 0,003	263,5
	Dagafstand > 90 km	€ 0,003	263,5
Variant 3	Dagafstand > 180 km	€ 0,006	573,0
	Dagafstand > 150 km	€ 0,005	573,0
	Dagafstand > 120 km	€ 0,004	573,0
	Dagafstand > 90 km	€ 0,003	573,0

De misgelopen omzet of aanloopverliezen zijn gelijk voor alle vraagvolumes (dagafstanden). Dit komt omdat het gebruikstarief wordt aangepast aan het volume zodat de omzet even hoog is als de totale kosten.

### 5.3 TCO's inclusief aanloopverliezen nog steeds aantrekkelijk

Rekening houdend met het effect van ingroei en de bijbehorende aanloopverliezen zijn nieuwe TCO's berekend voor de drie varianten met de scenario's WLO hoog en laag. Daarbij is het uitgangspunt dat de aanloopverliezen via een opslag worden terugverdiend in de exploitatiefase van de ERS.



Tabel 5.4 TCO's O-BEV's met ingroei effecten, WLO hoog

WLO H met ingroei effect		TCO 's			
		O-BEV 75	O-BEV 100	O-BEV 150	
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 600.000	€ 610.000	€ 830.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 590.000	€ 600.000	€ 800.000	
	Dagafstand > 120 km	€ 580.000	€ 590.000	€ 780.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 570.000	€ 580.000	€ 770.000	
Variant 3	Dagafstand > 180 km	€ 630.000	€ 640.000	€ 870.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 610.000	€ 620.000	€ 840.000	
	Dagafstand > 120 km	€ 600.000	€ 600.000	€ 810.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 580.000	€ 590.000	€ 790.000	

Ter vergelijking de BEV TCO's: BEV 200 = € 630.000; BEV 400 = € 890.000; BEV 800 = € 1.000.000.

De TCO's worden natuurlijk wat hoger, maar blijven over het algemeen lager dan van de BEV alternatieven in WLO hoog. Alleen in variant 3 wordt de TCO O-BEV 100 ongunstiger ten opzichte van de BEV 200 indien alleen vrachtwagens met een dagafstand boven 180 km van de ERS gebruik maken. Vandaar dat dat vakje in de tabel rood is gemaakt.

Tabel 5.5 TCO's O-BEV's met ingroei effecten, WLO laag

WLO L met ingroei effect		TCO's			
		O-BEV 75	O-BEV 100	O-BEV 150	
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 620.000	€ 630.000	€ 860.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 600.000	€ 610.000	€ 830.000	
	Dagafstand > 120 km	€ 590.000	€ 600.000	€ 810.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 580.000	€ 590.000	€ 780.000	
Variant 3	Dagafstand > 180 km	€ 650.000	€ 660.000	€ 910.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 630.000	€ 640.000	€ 870.000	
	Dagafstand > 120 km	€ 610.000	€ 620.000	€ 840.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 600.000	€ 600.000	€ 810.000	

Ter vergelijking de BEV TCO's: BEV 200 = € 630.000; BEV 400 = € 890.000; BEV 800 = € 1.000.000.

In WLO laag blijven in variant 2 alle O-BEV TCO's met ingroei gunstiger dan (of even gunstig als) hun BEV concurrent. Bij variant 3 verliest de O-BEV 100 zijn TCO voordeel ten opzichte van de BEV 200 indien alleen trekkers met een dagafstand boven de 150 km van ERS gebruik maken. Voor de O-BEV 75 is dit vanaf 180 km dagafstand (de rode vakjes). De overige TCO's blijven competitief.<sup>35</sup>

<sup>35</sup> Voor een grafische weergave van de vergelijkingen tussen BEV en O-BEV TCO's van de verschillende varianten en scenario's, zie bijlage 1.

## 5.4 Hinder van aanleg ERS valt mee

De aanleg van ERS-infrastructuur is relatief eenvoudig en in ieder geval lijkt duidelijk dat geen langdurige en ingrijpende wegafsluitingen nodig zijn. Ervaringen uit Duitsland met de ELISA-pilot site laten zien dat het volstaat om één rijstrook af te sluiten en de werkzaamheden 's nachts plaats kunnen vinden.

De eerste vraag is of het überhaupt nodig is (delen van) wegen af te sluiten speciaal voor het plaatsen van bovenleidingstructuur en gelijkrichterstations. Het ligt namelijk voor de hand om de werkzaamheden te combineren met regulier onderhoud aan het asfalt van de rechtrijstrook. Dit gebeurt sowieso een keer in de zeven jaar. Wanneer de planning op elkaar afgestemd wordt, betekent dit dat werkzaamheden gecombineerd kunnen worden. In het gunstigste geval vinden het onderhoud en de plaatsing van het ERS-systeem volledig gelijktijdig plaats, waardoor geen sprake is van additionele hinder voor het wegverkeer.

In een minder gunstig geval is het voor de aanleg van de ERS-infrastructuur wel nodig om (delen van) wegen af te sluiten omdat het niet mogelijk is dit te combineren met onderhoudswerkzaamheden. Of de aanleg van de ERS-infrastructuur betekent dat rijstroken langer afgesloten moeten worden.

We hebben een eenvoudige berekening gemaakt om gevoel te krijgen voor de orde van grootte van maatschappelijke effecten als 's nachts rijstroken afgesloten moeten worden voor de aanleg van ERS-infrastructuur. We komen daarbij uit op maatschappelijke kosten van zo'n 600.000 euro (variant 1) tot 4,5 miljoen euro (variant 2) tot 11,5 miljoen euro (variant 3).<sup>36</sup> In vergelijking met de andere infrastructurele kosten zijn deze effecten marginaal te noemen.

Een aandachtspunt is nog dat de hinder bij aanleg niet beperkt is tot vertraging voor het wegverkeer. De aanleg van energie-infrastructuur naar de snelwegen levert bijvoorbeeld mogelijk ook hinder op. Wat deze hinder precies is, is punt van nader onderzoek wanneer meer duidelijkheid bestaat over de wijze waarop de ERS-structuur aangelegd wordt.

## 5.5 Nog onduidelijkheid over investeringskosten in het diepe elektriciteitsnetwerk

De investeringskosten in het elektriciteitsnetwerk zijn uiteraard van groot belang bij een besluit over een eventuele aanleg van een ERS-netwerk. Net als in het onderzoek van Movares zijn we er in deze studie uitgegaan dat er om ongeveer elke 2 kilometer een gelijkrichterstation moet komen die moeten worden aangesloten op het middenspanningsnetwerk. De aansluitkosten en de kosten van de benodigde kabels zijn de uitgangspunten gehanteerd zoals Movares die heeft onderzocht.

Movares heeft ook laten zien dat als de vraag naar ERS toeneemt, de capaciteit van het ERS-net kan worden opgeschaald door het aantal gelijkrichterstations uit te breiden en de kabels dikker te maken. Daarbij geldt dat de kosten minder dan evenredig toenemen met het aantal vrachtwagens dat kan worden geladen. De TCO wordt dus in principe gunstiger als omwille van de grote vraag wordt gekozen voor zwaardere aansluitingen.

---

<sup>36</sup> Uitgangspunten voor deze berekeningen: afsluiting tbv ERS: 2 nachten à 6 uur per kilometer, gemiddelde snelheid gaat van 120 km/u naar 70 km/u, gemiddelde intensiteit 577 voertuigen/uur, reistijdwaardering conform voorgeschreven kengetallen

Een belangrijk aandachtspunt zijn wel de benodigde investeringen in het 'diepere' elektriciteitsnetwerk die nodig is voor ERS. Dit geldt zowel voor het hoogspannings- als het middenspanningsnetwerk. Gelet op alle veranderingen die de energietransitie de komende jaren en decennia zal hebben op het aanbod van en de vraag naar elektriciteit is het noodzakelijk om fors te investeren in het elektriciteitsnet. Dit is nodig om alle nieuwe energiebronnen, zowel op zee als op land aan te takken en ook om te voorzien in de snel groeiende vraag naar elektriciteit van zowel huishoudens, industrie en de mobiliteitssector. Netbeheer Nederland<sup>37</sup> heeft vier scenario's uitgewerkt waarin, afhankelijk van ontwikkelingen in de vraag- en aanbodkant, forse investeringen in onder meer het elektriciteitsnet zijn onderbouwd. PWC heeft becijferd dat de investeringskosten van de benodigde uitbreidingen in het net de komende 20 jaar zeker 1,5 miljard euro per jaar bedragen<sup>38</sup>. Maar de precieze keuzen van de investeringen liggen nog niet vast, al is wel duidelijk dat in alle regio's het net zal worden versterkt en dat wind op zee een belangrijke factor wordt voor de uitbreiding.

De eventuele aanleg van ERS zal ongetwijfeld bijdragen aan een noodzaak om extra te investeren in het diepere elektriciteitsnet. Maar in een scenario met BEV trucks moet dit ook gebeuren, omdat alle laadpalen en zeker snellaadstations ook een flink beslag leggen op de beschikbare capaciteit. Op voorhand valt met de nu bekende informatie daarom nu niets te zeggen over de benodigde extra investeringskosten in het diepere net. Dit wordt ook bevestigd door stichting E-Laad.

Wel kan worden gesteld dat ERS vergeleken met een BEV-scenario als nadeel heeft dat het benodigde piekvermogen hoger is. ERS-voertuigen moeten kunnen worden voorzien van het maximale vermogen. Laden, zeker 's nachts, legt een veel kleiner beslag op de capaciteit. Maar voor snelladers geldt het omgekeerde. Daarvan is het benodigde piekvermogen nog aanzienlijk hoger. Een positief punt van ERS kan zijn dat de piekvraag op de momenten is dat er (zeker in de zomer) veel aanbod is van zonne-energie.

Verder zijn de investeringskosten van ERS hoger omdat er langs snelwegen veel extra kabels moeten worden getrokken. De kosten van deze investeringen (aansluiting tot middenstations) zijn echter in dit onderzoek meegenomen, ook in de TCO-berekeningen.

In Duitsland is al wel wat uitgebreider gekeken naar de impact op het elektriciteitsnet<sup>39</sup>. Onderzoekers hebben gekeken wat de impact zou zijn van een ambitieuze uitrol van ERS in Baden Württemberg. De conclusie van dit onderzoek was dat de totale elektriciteitsvraag in dit gebied zou stijgen met 8 procent, maar in dunbevolkte gebieden zijn uitschieters van boven de 30 procent. De onderzoekers zeggen terecht dat rekening moet worden gehouden met de piekvraag, die 3,5 keer zo hoog kan zijn als de gemiddelde vraag. Ook in dit onderzoek wordt genoemd dat de piekvraag wel samenvalt met de periodes dat er relatief veel zonne-energie wordt opgewekt in de regio (althans in de zomerperiode).

Dit is dus een punt dat nader moet worden uitgezocht.

---

<sup>37</sup> Netbeheer Nederland. Het Energiesysteem van de Toekomst, Integrale Infrastructuurverkenning 2030 -2050. April 2021

<sup>38</sup> PWC. De energietransitie en de financiële impact voor netbeheerders. April 2021

<sup>39</sup> Fraunhofer Institute John Fritz, Daniel Speth, Patrick Plötz (2020) Overhead catenary vehicles in south-west Germany? A regional catenary vehicle network and its implications for electricity demand.

## 5.6 CO<sub>2</sub>-emissiereductie tot een derde mogelijk

De implementatie van een ERS-systeem heeft gevolgen voor de emissies van het vrachtvervoer over de weg. Het belangrijkste effect is uiteraard de afname van CO<sub>2</sub>-emissies doordat met name diesel vrachtwagens overgaan op het gebruik van elektriciteit. Daarnaast hangen er ook emissies samen met de ERS-infrastructuur en de levenscyclus van batterijen. In dit hoofdstuk wordt eerst de CO<sub>2</sub>-besparing van het vervoer bepaald. Daarna kijken we naar de emissies die samenhangen met batterijen en de ERS-infrastructuur het LCA-concept (life cycle analysis).

### 5.6.1 ERS kan CO<sub>2</sub>-emissies fors terugbrengen

In hoeverre een ERS-systeem bijdraagt aan het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot hangt met name af van de snelheid van de groei van batterij-elektrische vrachtwagens. De batterij-elektrische vrachtwagens die tot 2040 worden verwacht zijn met name lichtere bakwagens die relatief korte afstanden rijden<sup>40</sup>. ERS is vooral interessant voor vrachtwagens die langere afstanden afleggen. De twee technieken zijn voorlopig dus eerder complementair dan substituut. Daarnaast is de besparing van de emissies afhankelijk van de manier waarop elektriciteit wordt opgewekt in de toekomst. In deze analyse gaan we ervan uit dat vooral vervoer dat nu nog met dieseltrucks gaat door ERS wordt 'geëlektrificeerd'.

Hiervoor hebben we gebruik gemaakt van kengetallen van het PBL (2020). Zij verwachten dat de emissies (in CO<sub>2</sub> gram/km) in 2030 voor vrachtauto's in een laag scenario 664 zijn en in een hoog scenario 645. Per netwerkvariant en WLO-scenario zijn deze kengetallen toegepast op het totaal aantal voertuigkilometers.

Tabel 5.6 laat de berekening zien voor variant 3. Daarbij hebben we de CO<sub>2</sub> besparing berekend vanaf het moment dat het ERS systeem volledig wordt benut (2040), uitgaande van de verwachte voertuigemissies en elektriciteitsmix van 2030.

Tabel 5.6 besparing CO<sub>2</sub>-uitstoot door ERS in 2040, ERS variant 3

Variant 3 2030	WLO Hoog	WLO Laag
Totaal kilometrage vrachtverkeer Nederland (miljarden) <sup>41</sup>	8,1	7,5
Kilometrage ERS (dagafstanden > 90 km)	3,7	3,2
Aandeel ERS kilometers van totaal	46%	43%
CO <sub>2</sub> uitstoot gram/kilometer	645	664
Totale uitstoot (*1000 ton)	5.225	4.980
Besparing CO <sub>2</sub> ERS / diesel <sup>42</sup>	73%	73%
Totale besparing CO <sub>2</sub> (*1000 ton)	1.734	1.544
In procenten variant 3	33%	31%

Het kilometrage vrachtverkeer via ERS is 46% (in WLO laag 43%) van het totaal. De CO<sub>2</sub>-besparing van een O-BEV ten opzichte van diesel per KW/h is in 2030 73%<sup>43</sup>. Daarmee berekenen we de totale besparing op

<sup>40</sup> <https://publications.tno.nl/publication/34638886/arUkqj/TNO-2021-R11987.pdf>

<sup>41</sup> PBL/CPB 2016

<sup>42</sup> Movares 2020. In 2030 levert diesel 329 gram CO<sub>2</sub> per KW/h, een O-BEV 90 gram. Dus een besparing van 73%.

<sup>43</sup> Omdat de elektriciteitsmix in 2030 nog deels fossiel wordt opgewekt

1,7 megaton CO<sub>2</sub> (1,5 in WLO laag). Dat is respectievelijk 33 en 31 procent van de totale CO<sub>2</sub> uitstoot van het wegtransport in 2030.

Tabel 5.7. Besparing CO<sub>2</sub> emissies 2030 in alle varianten

	Hoog		Laag	
	Bespaarde CO <sub>2</sub> (tonnen)	Als percentage van emissies wegtransport	Bespaarde CO <sub>2</sub> (tonnen)	Als percentage van emissies wegtransport
Variant 1	11	0,2%	9	0,2%
Variant 2	937	18%	820	16%
Variant 3	1.734	33%	1.544	31%

Voor variant 2 is dit percentage 18 voor hoog en 12 voor laag. Voor variant 1 is de procentuele besparing 0,2 procent in zowel hoog als laag.

In variant 2 wordt tussen de 58 (WLO laag) en 72 (WLO hoog) procent van de CAPEX investering terugverdiend met CO<sub>2</sub>-besparing. Voor variant 3 ligt dit percentage tussen de 43 en 53. Om de emissies in contante waarden uit te drukken is de KEV (2021) projectie van de CO<sub>2</sub>-prijs voor EU (ETS) in 2030 gebruikt. Het gaat dan om € 62,00 euro per ton CO<sub>2</sub>. Ten opzichte van de totale investering is variant 2 het meest gunstig om CO<sub>2</sub> te besparen.

### 5.6.2 O-BEV of BEV: kleine verschillen in well to wheel

Voor de milieueffecten van ERS ten opzichte van het batterij-elektrische alternatief zijn twee concepten van belang om te onderzoeken: WTW-emissies en Life Cycle Analysis (LCA). In het Movares rapport (2020) is een vergelijking gemaakt tussen de WTW-emissies van BEV en O-BEV. Dat leverde de volgende cijfers op: Voor O-BEV zijn deze emissies 136 g/vkm en voor BEV 128 g/km. De WTW emissies van deze twee technieken liggen dus dicht bij elkaar.

### 5.6.3 ERS of batterijen: Vanuit Life cycle analyse is ERS gunstiger

Er is ook een CO<sub>2</sub>-impact van het produceren en aanleggen van de infrastructuur die nodig is (voor ERS-bovenleiding en -kabels en voor de BEV de laadinfrastructuur). Hiervoor hebben we in literatuur gezocht naar life cycle analyses (LCA).

R. Balieu et al (2019)<sup>44</sup> vergelijken milieueffecten van ERS-infrastructuursystemen. Het bovenleidingsysteem met panthograaf wordt vergeleken met inductie en met rails in het asfalt. De uitkomst is dat de milieu-impact van de bovenleiding infrastructuur 140 CO<sub>2</sub> (ton/FU) is. Dit is hoger dan de alternatieven inductie en rails, vanwege de hoeveelheid koper (kabel) en staal (ophangsystemen). Een FU (Functional Unit) is hier 1 km weggennet met een levensduur van 20 jaar.

Marmiroli et al (2019)<sup>45</sup> hebben de constructie en onderhoud van ERS infrastructuur onderzocht en, in aanvulling op Balieu et al. ook gekeken naar de impact van slijtage en het onderhoud van de

<sup>44</sup> R. Balieu, F. Chen & N. Kringos (2019) Life cycle sustainability assessment of electrified road systems, Road Materials and Pavement Design, 20:sup1, S19-S33, DOI: 10.1080/14680629.2019.1588771

<sup>45</sup> <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/15/3117>

bindmiddellaag. Met eenzelfde FU als in de studie van Balieu et al. komen zij voor ERS met bovenleiding tot een impact van productie, transport en constructie van 168 CO<sub>2</sub> (ton/FU). Daarnaast komt de impact van slijtage onderhoud (elke 2 jaar) op 248 CO<sub>2</sub> (ton/FU). En dan is er nog de impact van slijtage en onderhoud van de bindmiddellaag van 57 CO<sub>2</sub> (ton/FU). Dat levert totaal een milieupact op van 474 CO<sub>2</sub>(ton/FU).

De bovenstaande studies vertaald naar de drie ERS netwerk-varianten leveren de resultaten in de volgende tabel op

Tabel 5.8 Milieu-impacts van de netwerkvarianten

Variant	Kilometers wegdek	Balieu (2019) milieu-impact in ton CO <sub>2</sub>	Balieu (2019) milieu-impact per vkm in gram CO <sub>2</sub>	Marmioli (2019) milieu-impact in ton CO <sub>2</sub>	Marmioli (2019) milieu-impact per vkm in gram CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> uitstoot vrachtauto's in 2030, gram per vkm
1	125	17.500	52	59.250	175	645 – 664
2	980	137.200	5	464.520	16	645 – 664
3	2500	350.000	6	1.185.000	22	645 – 664

Er zijn uiteraard ook LCA studies naar de CO<sub>2</sub>-impact van batterijen. D. Burul et al (2021)<sup>46</sup> hebben specifiek onderzoek gedaan naar batterij elektrisch vrachtvervoer. In onderstaand tabel is de impact van de productie, onderhoud en reparatie van batterijen voor vrachtwagens weergegeven. Hun FU is het totaal aantal voertuigkilometers gedurende de levensduur van de batterij (500.000 km) met een gemiddelde lading. Dat levert de volgende uitkomsten op in CO<sub>2</sub> (ton/FU). Die uitkomsten zijn vervolgens gebruikt om de uitkomsten naar CO<sub>2</sub> (gram/vkm) te berekenen:

Voertuig	Productie	Onderhoud	Reparatie	Milieupact per vkm in gram CO <sub>2</sub>
BEV (EU baseline)	53.6	2.4	2.1	116

Ook het International Transport Forum, in opdracht van de OECD (2021)<sup>47</sup> heeft de LCA's van batterij elektrische vrachtwagens vergeleken. Zij gebruiken dezelfde FU, maar voor verschillende afstandsklassen. De impact is weergegeven in CO<sub>2</sub> (ton/FU). Vervolgens zijn de uitkomsten naar CO<sub>2</sub> (gram/vkm) berekend:

Voertuig	Vkm jaarlijks	afschrijftermijn	Production	Battery	Milieupact per vkm in gram CO <sub>2</sub>
Heavy Truck BEV-500	90000	7 jaar	47,3	18,9	105
Medium Truck BEV-300	50000	9 jaar	16,9	16,9	75

Helaas hebben we bij deze analyse niet alle relevante aspecten kunnen meenemen, zoals het materiaal voor laadpalen, de (kleinere) batterijen van O-BEV's en de aanpassingen aan de voertuigen (pantograaf). Maar desalniettemin kunnen we op basis van de bovengenoemde studies concluderen dat de

<sup>46</sup> <https://www.scania.com/content/dam/group/press-and-media/press-releases/documents/Scania-Life-cycle-assessment-of-distribution-vehicles.pdf>

<sup>47</sup> <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cleaner-vehicles-technology-transition.pdf>

infrastructuur van ERS hoogstwaarschijnlijk een kleinere CO<sub>2</sub>-footprint heeft dan de infrastructuur/batterij nodig voor een BEV.

Deze LCA impact is veel kleiner dan de emissies van het vervoer zelf, maar zeker voor BEV's niet verwaarloosbaar.

#### 5.6.4 Slijtage rijdraad en pantograaf

Movares heeft al geconstateerd dat de grootste milieubelasting van ERS wordt veroorzaakt door de slijtage aan de rijdraad (koper) en sleepstuk van de pantograaf (koolstof). Movares geeft aan dat name de emissie van koper is milieubelastend door de toxische eigenschappen. Volgens Movares komt over de hele levensduur van de ERS (35 jaar) 1000 kg versleten koper per kilometer terecht op de weg en omgeving.

We hebben hier geen nader onderzoek naar kunnen vinden, en ook de interviewpartners konden hier geen informatie over geven. Dit blijft dus een te onderzoeken effect.

### 5.7 Veiligheidsrisico's lijken beheersbaar

Wat betreft veiligheid zijn er effecten van de aanpassingen van de weg, het risico van een draadbreek en het feit dat ERS het landen van een traumahelikopter op de weg vermoedelijk onmogelijk maakt. Deze aspecten worden hieronder uitgewerkt.

#### *Aanpassingen van de weg*

De masten voor de ERS- bedrading zullen in de meeste gevallen binnen de obstakelvrije zone langs de weg worden geplaatst. Om aanrijdingen te voorkomen betekent dit dat langs de wegen geleiderails moeten worden geplaatst aan de buitenzijde van de vluchtstrook. Een belangrijk deel van het wegennet is reeds voorzien van geleiderails, maar evengoed is een substantieel deel nog niet van geleiderails aan de buitenzijde van de weg voorzien. Geleiderails nemen het aanrijdgevaar volledig weg.

Het wegbeeld verandert door de plaatsing van de ERS masten. Verwacht wordt dat weggebruikers snel aan de aanwezigheid van de masten zullen wennen waardoor de veiligheid niet nadelig zal worden beïnvloed. In sommige gevallen kunnen de masten mogelijk in bogen het zicht over langere afstand belemmeren. Dit kan worden beperkt door de afstand van de mast tot de wegwand te vergroten (dan wel langere draagarmen nodig).

De ERS-infrastructuur kan de leesbaarheid van de bebording negatief beïnvloeden. Bij het proeftraject in Duitsland is dit aspect ook naar voren gekomen en met aanpassing van de bebording opgelost. Nader moet worden onderzocht hoe dit nadeel kan worden geminimaliseerd voor de Nederlandse situatie. Tunnels en viaducten vormen geen specifiek probleem omdat de ERS leiding kan worden onderbroken. De vrachtwagens rijden dan een stuk met de eigen accu.

### *Risico op draadbreek*

Het risico van draadbreek is afhankelijk van de dikte en de sterkte van de draad, de ophangconstructie, de kwaliteit van de pantografen en externe factoren zoals te hoge voertuigen. Het gebruik van de bovenleidingdraden is substantieel intensiever dan het geval is bij treinen, trams en trolleybussen. Daarbij komt dat de pantografen van openbaar vervoer onderdeel zijn van een min of meer gesloten systeem, waarbij het beheer van de infrastructuur en de voertuigen ofwel in dezelfde hand ligt of door partijen die in nauw onderling contact staan (zoals NS en ProRail). Bij ERS zal dit anders zijn: vervoerders zijn niet organisatorisch verbonden met de partij die de infrastructuur aanbiedt. Door keuring en certificering kan worden bewerkstelligd dat de pantografen aan te stellen veiligheidseisen voldoen. Aspecten als achterstallig onderhoud of verkeerd rijgedrag kunnen echter zorgen voor negatieve impact op de bovenleiding.

In het geval van draadbreek hangt het van de constructie af in hoeverre de draad op het wegdek valt of voertuigen raakt. Op voorhand lijkt het niet te voorkomen dat dit gebeurt. Het gevaar door contact met elektriciteit kan sterk worden beperkt doordat draadbreek in het gelijkrichterstation wordt gedetecteerd waarna direct de stroom wordt uitgeschakeld. Het risico van fysieke impact van voertuigen met de draad is niet uit te sluiten. Naar de ernst van deze impact is nog geen onderzoek bekend. De situatie kan deels vergeleken worden met die van trolleybussen en trams in stedelijk gebied, waar voertuigen ook onder de draden rijden en draadbreken zeker voorkomen. Bij ERS lijkt het risico echter groter te zijn door de hiervoor genoemde gebruikskennmerken in combinatie met de hogere rijsnelheden (in vergelijking met stedelijk gebied). Naast de fysieke impact van draadbreek kunnen schrikreacties van bestuurders optreden en dit kan ook leiden tot aanrijdingsrisico's.

In een interview met een medewerker van BAST (de Duitse Rijkswaterstaat) is aangegeven dat de verwachting is dat het ontwerp zodanig kan worden gemaakt dat bij een draadbreek de kabel wordt opgevangen en niet op de weg terecht komt. Daarmee lijkt dit probleem oplosbaar.

### *Traumahelikopter*

De bedrading van ERS vormt een belemmering voor het landen van de traumahelikopter. Verwacht wordt dat deze wijze van hulpverlening ook in de toekomst zal worden toegepast. Voor het landen van de helikopter zal dan een alternatieve voorziening noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld in de vorm van landingsplaatsen naast de weg op regelmatige afstand.

## 5.8 Effect op landschap varieert per locatie

### *De beeldbepalende elementen van het ERS-systeem*

Het ERS-systeem gaat uit van bovenleidingen boven snelwegen. De bovenleidingen worden in beide richtingen aangelegd en hebben de verschijningsvorm van de bovenleidingen van spoorwegen. Tevens zijn om de 2 kilometer technische installaties zoals gelijkrichterstation noodzakelijk. Deze stations hebben in de uitgevoerde pilots het formaat van een zeecontainer.



### *Open en besloten landschap*

In dit onderzoek gaan we uit van drie netwerkvarianten. De snelwegen van alle varianten doorkruisen verschillende landschapstypen. De mate van impact op de ruimtelijke kwaliteit op regionaal schaalniveau is afhankelijk van de openheid van het landschap. Het bepaalt de mate van zichtbaarheid van het ERS-systeem. Op het huidige niveau van deze studie is het voldoende om onderscheid te maken in open en (semi-)besloten landschappen. Dit zijn in hoofdlijnen:

- open landschappen: veenweide gebieden west Nederland, polders in west- en noord Nederland en het rivierenlandschap in midden Nederland
- (semi) besloten landschappen: bosrijke gebieden in midden Nederland, stedelijke gebieden en het gevarieerde landschap (semi besloten) van de hoge zandgronden in zuid- en oost Nederland

### *Impact op de ruimtelijke kwaliteit*

Vanuit het oogpunt van de weggebruiker: het ERS-systeem heeft negatieve impact op de ruimtelijke kwaliteit. Voor de weggebruiker geeft het een rommeliger en drukker straatbeeld, ongeacht het type omgeving.

Vanuit het omringende landschap: over het algemeen heeft het ERS-systeem vanuit de omgeving gezien negatieve impact op de ruimtelijke kwaliteit. Het doorkruist het landschap en is in meer of mindere mate zichtbaar voor gebruikers van het landschap (recreatie, wonen, mobiliteit etc.). Hierbij is de nuance tussen een open en besloten landschap erg belangrijk.

Voor de omgeving zal de negatieve impact van een ERS-systeem in het open landschap het grootst zijn. Het doorsnijdt de lege open ruimtes en is van grote afstand 24 uur per dag zichtbaar. De verandering in het landschap zal het grootst zijn langs wegen waar in de huidige situatie geen lichtmasten staan.

In een bosrijke omgeving, bij snelwegen met veel geluidsvoorzieningen (schermen en wallen) en in stedelijk gebied zal de impact vanuit de omgeving het kleinst zijn. Het ERS-systeem wordt hier immers in meer of mindere mate afgeschermd door diverse opgaande elementen zoals bebouwing en groenvoorzieningen.

## 5.9 Arbeidsmarkt: waar is schaarse menskracht het meest nodig?

De situatie op de arbeidsmarkt is ook belangrijk om rekening mee te houden. Op dit moment is er een groot tekort aan arbeidskrachten die nodig zijn voor de energietransitie. Dit blijkt onder meer uit het dashboard klimaatbeleid van de Rijksoverheid<sup>48</sup>. Met name in de sector elektriciteit zijn er grote tekorten. In deze sector zijn 26 beroepen gedefinieerd die direct nodig zijn voor de uitvoering van het klimaatbeleid. Het gaat met name om technische beroepen. Het merendeel van deze beroepen heeft te maken met een zeer krappe arbeidsmarkt. Ter illustratie: voor elektriciens en monteurs elektrische bedrijfsinstallaties stonden in Q2 2021 4.600 vacatures open. Maar ook breder in de bouw is sprake van krapte op de arbeidsmarkt.

---

<sup>48</sup> [https://dashboardklimaatbeleid.nl/jive/jivereportcontents.ashx?report=arbeidsmarkt\\_en\\_scholing](https://dashboardklimaatbeleid.nl/jive/jivereportcontents.ashx?report=arbeidsmarkt_en_scholing)

Naar verwachting zal deze krapte de komende jaren voortduren, gegeven de grote opgaven op het gebied van energie en omdat de mogelijkheden om deze beroepsgroep snel te laten groeien beperkt zijn. Het PBL heeft een scenarioverkenning gemaakt naar de arbeidsmarkteffecten van de energietransitie tot 2030<sup>49</sup>. Hieruit blijkt dat er de komende jaren een toenemende vraag naar arbeid zal zijn, ook als de uitgaven vanuit bedrijven, overheid en huishoudens gelijk blijven. En deze toenemende vraag zal groter zijn dan dat er werkzoekenden bijkomen, zodat de spanning op de arbeidsmarkt zal toenemen. Het PBL concludeert ook dat de keuze voor bepaalde technologieën uitmaakt voor de krapte op de arbeidsmarkt: *"Als hierdoor vooral de vraag naar elektrische apparatuur of machines toeneemt, neemt de spanning meer toe dan als er meer behoefte is aan inzet vanuit de bouwrijverheid en de zakelijke diensten. Het verhogen van de productie van elektrische apparatuur en machines vraagt meer arbeidskrachten met een technische achtergrond en slechts een klein deel van de werkzoekenden beschikt daarover"*.

Als het gaat om de verduurzaming van het wegvervoer is zowel voor ERS als voor het aanleggen van (snel-) laadpunten voor BEV's veel menskracht nodig om dit mogelijk te maken. Deels gaat dit om hetzelfde type arbeidskrachten en deels ook niet, omdat bij het aanleggen van het ERS netwerk een groot deel van de werkzaamheden meer in de GWW sector zitten. Maar ook hier is sprake van krapte.

Duidelijk is wel dat het aanleggen van een ERS-netwerk een grotere investering vergt dan het aanleggen van een netwerk van laadpunten en dat het dus te verwachten is dat de benodigde menskracht hiervoor ook groter is. Of dit ook geldt voor de menskracht in de elektrotechnische sector zou nader moeten worden onderzocht. Indien dit inderdaad zo is en indien de schaarste aan elektrotechnische menskracht ook na 2030 nog een belangrijke factor is, is dit een overweging die moet worden meegenomen in de besluitvorming. Meer specifiek onderzoek naar de benodigde menskracht voor het aanleggen van ERS c.q. laadvoorzieningen en naar de te verwachten krapte van deze beroepsgroepen na 2030 is nodig om dit aspect goed te kunnen beoordelen.

## 5.10 Omrijden: bij beperkt ERS netwerk kan het effect fors zijn

Mogelijk heeft het gebruik van ERS effect op het aantal vrachtautokilometers dat gereden wordt. Het is bijvoorbeeld denkbaar (zeker bij een beperkt ERS netwerk) dat bij de routeplanning van vrachtwagens wordt ingezet om langer over het ERS-net te rijden om te laden. Of dat juist langere afstanden worden afgelegd naar het ERS-net om daar op aan te kunnen sluiten. Deze effecten kunnen in termen van maatschappelijke effecten significant zijn. Een eenvoudige berekening laat zien dat dit kan oplopen tot bedragen met een orde van grootte van tientallen miljoenen tot enkele miljarden euro's.<sup>50</sup> Onduidelijk is óf en zo ja tot hoeveel extra voertuigkilometers ERS leidt. Naarmate het netwerk uitgebreider is, wordt de noodzaak tot omrijden kleiner.

---

<sup>49</sup> Planbureau voor de Leefomgeving, september 2020, Regionale arbeidsmarkteffecten van de energietransitie: een scenarioverkenning.

<sup>50</sup> In onze berekening zijn we ervan uit gegaan dat ERS leidt tot 1% extra voertuigkilometers (als percentage van het aantal kilometers dat over ERS wordt afgelegd). We hebben voor deze extra voertuigkilometers bepaald wat reiskosten zijn en wat de waarde van de hiermee gemoeide reistijd is (in euro's uitgedrukt met behulp van waarderingskengetallen). Voor variant 1 bedraagt het totale effect zo'n 40 miljoen euro (netto contante waarde voor de periode 2030-2065). Voor de varianten 2 en 3 komen we tot respectievelijk circa 2,3 miljard euro en 4,4 miljard euro.

Ook de verschillende gewichten van de verschillende typen vrachtwagens die we in deze analyse vergelijken (O-BEV/BEV) hebben mogelijk effect op het aantal afgelegde kilometers. Wanneer het gewicht van de batterijen ervoor zorgt dat een vrachtwagen minder vracht kan vervoeren betekent dit extra ritten nodig zijn. Of andersom: wanneer bij O-BEV lichtere batterijpakketten nodig zijn dan bij de alternatieven (BEV), betekent dit dat mogelijk minder ritten gemaakt worden en dus minder kilometers afgelegd worden. We verwachten echter dat dit niet aan de orde is. In een recente analyse naar het effect van batterijen op het laadvermogen concluderen Hoekstra en EV Consult dat vervoerders zo lang zij in Nederland rijden zonder problemen een batterijmeergewicht van 2 ton kunnen vervoeren (mits de trekker wordt geoptimaliseerd en uitgerust met 2 achterassen). Ook in eerder onderzoek van het KiM<sup>51</sup> wordt geconcludeerd dat steeds vaker niet het gewicht van goederen de beperkende factor is, o.a. door verschuiving van het type goederen dat vervoerd wordt en toename van het laadvermogen.

## 5.11 Grondstoffenschaarste niet doorslaggevend

Grondstoffen zijn nodig voor batterijen, maar ook voor ERS-installaties en bedrading. De eindigheid van grondstoffen die nodig zijn voor een van de technieken om duurzaam wegvervoer mogelijk te maken kan een belangrijke factor zijn. Het Internationaal Energie Agentschap (IEA), heeft onderzoek<sup>52</sup> gedaan naar de rol die schaarse grondstoffen kunnen spelen in de energietransitie. Volgens dit onderzoek zijn er grosso modo wereldwijd genoeg grondstoffen voorradig om te voorzien in de vraag (doorkijk tot 2040). Daarbij gaat het IEA wel uit van een toename van nieuwe mijnen en recycling. Er wordt wel een kanttekening geplaatst over de wisselende kwaliteit van grondstoffen en daarmee over onzeker aanbod. Ook zegt het IEA dat recycling van groot belang is en dat hier ook belangrijke stappen mee worden gemaakt. Als we specifieker inzoomen naar relevante grondstoffen voor ERS en batterijen dan zijn dit lithium en nikkel (voor batterijen) en koper en aluminium (elektriciteitsnet). Structureel is hier voldoende van aanwezig. Maar dit wil niet zeggen dat grondstoffenschaarste geen belangrijk aandachtspunt is. Door aanvoerproblemen, geopolitieke verhoudingen of pieken in de vraag kunnen hier wel tijdelijke tekorten aan ontstaan. Deze schaarste kan een flinke impact hebben op de kosten van beide technologieën. De grondstofkosten (onder andere lithium en nikkel) maken nu al 50-70% uit van de kosten van batterijen, en van de totale kosten van elektriciteitsnetwerken maken de grondstofkosten (waaronder koper en aluminium) 20% van de totale kosten uit. Volgens IEA zou een verdubbeling van de lithium of de nikkelprijzen leiden tot een 6% hogere kostprijs van batterijen.

Conclusie is dat voor zowel ERS als een batterij elektrisch scenario voorlopig voldoende grondstoffen voorradig zijn. Maar door geopolitieke en andere ontwikkelingen is dit wel een belangrijk aandachtspunt. Voor het verschil in de maatschappelijke kosteneffectiviteit lijkt dit vooralsnog geen doorslaggevend aspect.

---

<sup>51</sup> Francke, J., 2013, Verkenning beladingsgraad goederenvervoer van 45 naar 65%

<sup>52</sup> IEA, 2021. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions.

## 5.12 Conclusie

De aanloopverliezen doordat het ERS systeem niet meteen volledig zal worden benut worden geraamd op 4% (WLO hoog) en 3% (WLO laag) van alle kosten (zowel OPEX als CAPEX) gedurende de veronderstelde 35 jarige levensduur van het netwerk. Als deze aanloopverliezen moeten worden terugverdiend, blijven de TCO's voor O-BEV's (althans voor de varianten 2 en 3) concurrerend. Althans, in variant 2 verdwijnt het voordeel indien alleen trucks met een dagafstand boven de 180 km van ERS gebruik maken. In variant 3 is het voordeel weg indien alleen trucks boven de 150 km dagafstand ERS willen gebruiken.

Een andere belangrijke conclusie uit dit hoofdstuk is dat de CO<sub>2</sub>-besparing van ERS aanzienlijk kan zijn, ongeveer een derde van de jaarlijkse uitstoot van het goederenwegvervoer kan met ERS worden voorkomen. De maatschappelijke baten hiervan tellen maximaal op tot driekwart van de investeringskosten.

Andere mogelijk belangrijke maatschappelijke effecten, waarover nu nog onvoldoende valt te zeggen, zijn het effect op de verkeersveiligheid, krapte (verdringing) op de arbeidsmarkt, kosten in het diepere elektriciteitsnet, het milieueffect van de slijtage van koper en landschap.

De overlast als gevolg van de aanlegwerkzaamheden van ERS is beperkt. Dit is geen doorslaggevende factor als de werkzaamheden 's nachts kunnen worden uitgevoerd waarbij maar een rijstrook hoeft te worden afgesloten, zeker als ze kunnen worden gecombineerd met regulier onderhoud van de rechterijstrook.

Andere effecten die van minder belang lijken zijn de schaarste aan grondstoffen en andere emissies.

*Tabel 5.9. Samenvattende tabel maatschappelijke effecten ERS*

Onderwerp	Maatschappelijk effect
Aanloopverliezen ingroei netwerk	<b>Negatief:</b> TCO's O-BEV verliezen concurrentievoordeel t.o.v. BEV
Hinder aanleg ERS infrastructuur	<b>Beperkt:</b> maatschappelijke kosten marginaal in vergelijking met overige infrastructurele kosten
Investeringskosten diepe elektriciteitsnetwerk	<b>Onduidelijk:</b> mogelijke positieve en negatieve effecten t.o.v. BEV, maar meer onderzoek is nodig
Reductie CO <sub>2</sub> -emissies	<b>Positief:</b> ERS kan de uitstoot van CO <sub>2</sub> door goederenvervoer over de weg terugbrengen met 33 procent
Veiligheid	<b>Beperkt:</b> Risico op draadbreek is oplosbaar door een vang systeem. Alternatieve voorziening voor landing traumahelikopters is benodigd.
Zichtbaarheid ERS infrastructuur op landschap	<b>Onduidelijk:</b> impact varieert per landschapstype. Er zijn negatieve effecten te verwachten, maar de mate ervan verschilt per locatie
Arbeidsmarkt	<b>Negatief/onduidelijk:</b> In sectoren die aanleg van ERS raakt is de arbeidsmarkt naar verwachting in

Onderwerp	Maatschappelijk effect
Omrijden	2030 nog steeds zeer krap. Aanleg ERS kan dus kannibaliseren op andere activiteiten die nodig zijn voor energietransitie (evenals het aanleggen van laadpunten voor BEV's, nader onderzoek is wenselijk). <b>Negatief:</b> Omrijden van vervoerders om van ERS gebruik te maken lijkt alleen te verwachten bij beperkte netwerken. Afhankelijk van hoeveel er omgereden wordt, kan dit een groot effect zijn.
Grondstoffenschaarste	<b>Beperkt:</b> Voorlopig voldoende grondstoffen voorradig

## 6. Gevoeligheidsanalyses

Zoals meermalen in dit rapport aangegeven hebben we veel aannames moeten doen in de uitgevoerde analyses. Daarom is een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd die laten zien wat de impact is van andere aannames. Om het enigszins overzichtelijk te houden laten we de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyses zien voor één netwerkvariant, namelijk netwerkvariant 2 en alleen voor WLO laag. Verder is het uitgangspunt in deze berekeningen dat de aanloopverliezen moeten worden terugverdiend in de rest van de levensduur van het ERS netwerk. Dit om het aantal tabellen te beperken. Onderstaande tabel laat nog eens zien wat hiervan de basis TCO's zijn.

WLO L met ingroei-effect: Middellange afstand vervoerder		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 620.000	€ 630.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 600.000	€ 610.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€ 590.000	€ 600.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 580.000	€ 590.000	
WLO L met ingroei-effect: Lange afstand vervoerder		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 860.000		
	Dagafstand > 150 km	€ 830.000	€ 890.000	€ 1.000.000
	Dagafstand > 120 km	€ 810.000		
	Dagafstand > 90 km	€ 780.000		

### 6.1 Gevoeligheid: ERS vraag -30% en -50%

De geschatte vraag naar ERS (het aantal vrachtwagens dat van ERS gebruik maakt) is zeer onzeker, gelet op bijvoorbeeld de belangrijke aspecten voor vervoerders naast de TCO zoals genoemd in 3.2. In deze gevoeligheidsanalyse gaan we uit van een 30% en een 50% lagere vraag dan in de basisberekening (bij WLO laag) geschat. Een 30% lagere vraag leidt tot een ongunstige TCO van de O-BEV 75 en O-BEV 100 ten opzichte van de BEV 200 indien alleen vrachtwagens met een dagafstand groter dan 150km van ERS gebruik maken. De O-BEV 150 verliest zijn voordeel (alleen met de BEV 400) indien alleen vrachtwagens met dagafstanden boven de 180 ERS gebruiken.

- 30% ERS VRAAG		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 660.000	€ 670.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 640.000	€ 640.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€ 620.000	€ 620.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 600.000	€ 610.000	

		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 920.000		
	Dagafstand > 150 km	€ 880.000	€ 890.000	€ 1.000.000
	Dagafstand > 120 km	€ 850.000		
	Dagafstand > 90 km	€ 820.000		
<b>- 50% ERS VRAAG</b>		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 790.000	€ 800.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 740.000	€ 750.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€ 700.000	€ 710.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 670.000	€ 680.000	
<b>- 50% ERS VRAAG</b>		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 1.150.000		
	Dagafstand > 150 km	€ 1.060.000	€ 890.000	€ 1.000.000
	Dagafstand > 120 km	€ 1.000.000		
	Dagafstand > 90 km	€ 940.000		

Een afname van de vraag met 50% leidt altijd tot een ongunstiger TCO voor O-BEV 75 en O-BEV 100 dan die van de BEV 200. En voor de O-BEV 150 geldt dit eigenlijk ook.

Concluderend kunnen we stellen dat een 50% lagere vraag een ERS systeem uit de markt prijst. Bij een 30% lagere vraag wordt de basis ook al wankel.

## 6.2 Drie jaar langere aanlegperiode

In deze analyse is de aanlegtermijn van variant 2 met drie jaar verlengd. In plaats van 5 jaar aanleggen gebeurt dat nu in 8 jaar tijd. Hierdoor wordt er drie jaar extra geen gebruik gemaakt van ERS. Dit leidt tot de volgende TCO's.

		TCO		
<b>+ 3 jaar aanlegtermijn</b>		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 650.000	€ 660.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 630.000	€ 640.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€ 610.000	€ 620.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 600.000	€ 600.000	
<b>+ 3 jaar aanlegtermijn</b>		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 910.000		
	Dagafstand > 150 km	€ 870.000	€ 890.000	€ 1.000.000
	Dagafstand > 120 km	€ 840.000		
	Dagafstand > 90 km	€ 810.000		

Met name de TCO's van de O-BEV's op de middellange afstand verliezen hun voordeel indien vrachtwagens met dagafstanden vanaf 150 kilometer van ERS gebruik maken.

### 6.3 BEV's worden alleen 's nachts geladen (niet onderweg)

In de TCO berekeningen van de BEV's is er nu van uitgegaan dat de BEV's deels 's nachts worden geladen en deels ook onderweg. Dit laatste is vooral voor het lange afstandsvervoer nodig. Uiteraard is onderweg laden duurder. In de basis berekening is gerekend met 8,3 eurocent per KW/h voor de laadinfrastructuurkosten. Bij laden op eigen depot zullen deze kosten lager zijn, namelijk tussen de 2,3 en 4 cent per KW/h. Als we uitgaan van gemiddelde infrastructuurkosten van 4 cent per KW/h voor BEV's, komen we tot de volgende vergelijking:

Prijs statisch laden naar 4 eurocent		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 620.000	€ 630.000	€ 570.000
	Dagafstand > 150 km	€ 600.000	€ 610.000	
	Dagafstand > 120 km	€ 590.000	€ 600.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 580.000	€ 590.000	

Prijs statisch laden naar 4 eurocent		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 860.000	€ 800.000	€ 920.000
	Dagafstand > 150 km	€ 830.000		
	Dagafstand > 120 km	€ 810.000		
	Dagafstand > 90 km	€ 780.000		

Dit blijkt een zeer gevoelig punt. Als BEV's niet onderweg te hoeven worden bijgeladen is een batterij elektrisch alternatief bijna altijd gunstiger dan een O-BEV. Dat onderstreept nog eens het belang van het monitoren van ontwikkelingen als de aangekondigde introductie van de Tesla Semi, die zonder bijladen 700 kilometer zou kunnen rijden.

Over de berekening van de €0,083 per kWh:

- In de basis hebben wij de €0,163 per kWh uit het Movares rapport gepakt. Hier hebben we de 0,08 per kWh voor de inkooprij van elektriciteit vanaf gehaald.
- De €0,08 per kWh aan inkooprij bestaat uit 0,05 groothandelsrij (gemiddelde volgens PBL (2021)) en 0,03 ODE belasting van grootverbruiker)

Om de €0,083 per kWh te valideren hebben wij de volgende cijfers gebruikt:

- De laadrij bestaat uit een mix van depot en onderweg laden. We hebben een verdeling van 85% op depot en 15% onderweg gehanteerd. Dit is gebaseerd op expert judgement en literatuur<sup>53</sup>.
- Voor depot laden hebben wij de jaarlijkse kosten van het installeren en aansluiten van een lader op depot gedeeld door het benodigde aantal kWh per jaar. Omdat de installatiekosten kunnen verschillen hebben wij een laag en hoog scenario gebruikt en daar het gemiddelde ervan genomen. Dit is gebaseerd op het eerdere onderzoek van EV Consult voor het havenbedrijf Rotterdam.

<sup>53</sup> Topsector Logistiek - Laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in stadslogistiek en CE Delft - Laden voor logistiek in Tilburg



- Voor onderweg laden (snelladers) hebben wij een prijs range voor €0,30 - 0,50 per kWh genomen. Deze range is gebaseerd op kerncijfers uit de markt
- Het resultaat was dat de gemiddelde laadprijs van een BEV tussen de €0,0795 en 0,0935 zou liggen. Hierdoor konden we de €0,083 van Movares valideren en hebben we deze gebruikt.

## 6.4 Hogere discountvoet: van 1,6% naar 4,1%

In de referentie TCO is een discountvoet gebruikt van 1,6%. In deze analyse wordt de discountvoet verhoogd met 2,5% naar 4,1%. Deze analyse is interessant om te verkennen of ERS extern zou kunnen worden gefinancierd. We zijn dus uitgegaan van een rentepercentage van 2,5%.

Discontovoet naar 4,1%		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 660.000	€ 670.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 640.000	€ 640.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€ 620.000	€ 620.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 600.000	€ 610.000	

Discontovoet naar 4,1%		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 930.000		
	Dagafstand > 150 km	€ 880.000	€ 890.000	€ 1.000.000
	Dagafstand > 120 km	€ 850.000		
	Dagafstand > 90 km	€ 820.000		

Met name de TCO's van de O-BEV's op de middellange afstand verliezen hun voordeel indien vrachtwagens met dagafstanden vanaf 150 kilometer van ERS gebruik maken.

## 6.5 50% hogere of 50% lagere investeringskosten

In deze analyse wordt onderzocht wat een stijging en daling van de investeringskosten met 50% betekent voor de TCO's.

CAPEX + 50%		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 660.000	€ 670.000	
	Dagafstand > 150 km	€ 640.000	€ 640.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€ 620.000	€ 620.000	
	Dagafstand > 90 km	€ 600.000	€ 610.000	

CAPEX + 50%		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€ 920.000	€ 890.000	€ 1.000.000

	Dagafstand > 150 km	€	880.000
	Dagafstand > 120 km	€	850.000
	Dagafstand > 90 km	€	820.000

CAPEX - 50%		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
	Dagafstand > 180 km	€	580.000	€ 590.000
<i>Variant 2</i>	Dagafstand > 150 km	€	570.000	€ 580.000
	Dagafstand > 120 km	€	570.000	€ 630.000
	Dagafstand > 90 km	€	560.000	€ 570.000

CAPEX - 50%		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
	Dagafstand > 180 km	€	790.000	
<i>Variant 2</i>	Dagafstand > 150 km	€	770.000	€ 890.000
	Dagafstand > 120 km	€	760.000	€ 1.000.000
	Dagafstand > 90 km	€	750.000	

Bij een stijging van 50% zijn de TCO's van de O-BEV 75 en 100 alleen nog gunstig indien trekkers met dagafstanden boven de 150 km van ERS gebruik maken. De O-BEV 150 blijft in alle gevallen een competitieve TCO houden ten opzichte van de BEV 400 en 800.

Bij een daling van 50% investeringskosten worden de TCO's van de O-BEV's uiteraard nog gunstiger.

## 6.6 Kosten batterij lager of hoger

Ook de prijsontwikkeling van batterijen is onzeker. In deze analyse wordt onderzocht wat het effect is op de TCO's wanneer de kosten voor batterijen 50% hoger of 50% lager zijn:

Batterijkosten + 50%		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
	Dagafstand > 180 km	€	640.000	€ 650.000
<i>Variant 2</i>	Dagafstand > 150 km	€	620.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€	600.000	€ 620.000
	Dagafstand > 90 km	€	590.000	€ 600.000

Batterijkosten + 50%		TCO		
		O-BEV 150	BEV 400	BEV 800
	Dagafstand > 180 km	€	880.000	
<i>Variant 2</i>	Dagafstand > 150 km	€	850.000	€ 960.000
	Dagafstand > 120 km	€	830.000	€ 1.140.000
	Dagafstand > 90 km	€	810.000	

Batterijkosten - 50%		TCO		
		O-BEV 75	O-BEV 100	BEV 200
<i>Variant 2</i>	Dagafstand > 180 km	€	610.000	€ 610.000
				€ 590.000

		€	590.000	€	590.000
Dagafstand > 150 km		€	580.000	€	580.000
Dagafstand > 90 km		€	570.000	€	570.000
Batterijkosten - 50%		O-BEV 150		TCO	
				BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€	830.000		
	Dagafstand > 150 km	€	800.000	€ 820.000	€ 870.000
	Dagafstand > 120 km	€	780.000		
	Dagafstand > 90 km	€	760.000		

Bij 50% hogere kosten worden de TCO's van de O-BEV's nog concurrerender ten opzichte van de BEV's. Bij een halvering van de batterijkosten zijn de TCO's van de O-BEV 75 en 100 alleen nog gunstiger indien vrachtwagens met dagafstanden boven de 150 kilometer van ERS gebruik maken. De O-BEV 150 blijft gunstiger dan de BEV 400 en 800.

## 6.7 Minder vaste patronen dan ingeschat

In tabel 4.3 in hoofdstuk 3 staan de factoren waarmee is geschat welk deel van de vrachtauto's een voldoende vast patroon in het jaar rijden om vervangen te worden door een O-BEV. Voor variant 2 is een factor van 0,65 toegepast. In deze analyse wordt de impact van een verlaging van die factor met 0,2, naar 0,45 onderzocht.

van 0,65 naar 0,45		O-BEV 75		TCO	
				O-BEV 100	BEV 200
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€	660.000	€ 670.000	
	Dagafstand > 150 km	€	640.000	€ 640.000	€ 630.000
	Dagafstand > 120 km	€	620.000	€ 630.000	
	Dagafstand > 90 km	€	600.000	€ 610.000	
van 0,65 naar 0,45		O-BEV 150		TCO	
				BEV 400	BEV 800
Variant 2	Dagafstand > 180 km	€	930.000		
	Dagafstand > 150 km	€	880.000	€ 890.000	€ 1.000.000
	Dagafstand > 120 km	€	850.000		
	Dagafstand > 90 km	€	820.000		

De vraag naar ERS wordt hierdoor lager, daardoor stijgen in alle gevallen de TCO's ten opzichte van de referentie TCO's. O-BEV 75 en 100 zijn ten opzichte van de BEV 200 alleen nog concurrerend indien vrachtwagens met een dagafstand boven de 120 km van ERS gebruik maken. De O-BEV 150 blijft concurrerend ten opzichte van de BEV 400 en 800.

## 6.8 Conclusie

De gevoeligheidsanalyses laten zien dat de TCO van de O-BEV's, met name voor de middellange afstand (de O-BEV 75 en 100 ten opzichte van de BEV 200) gevoelig zijn voor andere uitgangspunten. De belangrijkste gevoeligheid zit in de laadkosten van BEV's. Als deze volledig op depot (dus met name 's nachts) kunnen laden, dan is de TCO van BEV's vrijwel altijd gunstiger dan van O-BEV's. Daarnaast is de vraag uiteraard belangrijk. Indien de vervoersvraag 50% lager zou zijn, is het voordeel van ERS weg voor al het vervoer. Maar ook als de vraag 30% lager zou zijn, wordt het voordeel van de O-BEV op de middellange afstand kleiner. Dit valt weg vrachtwagens met kortere dagafstanden (tot 150 kilometer). Ditzelfde geldt indien een 2,5% hogere discontovoet wordt gebruikt, als de aanlegkosten verdubbelen, de aanlegperiode 3 jaar langer zou duren (met de daarbijkomende aanloopverliezen) en als de vaste patronen van vrachtwagens fors minder is dan door ons is ingeschat. Een halvering van de batterijprijzen heeft een wat kleinere impact. Ook zien we dat bij meevallers, zoals lagere kosten of een verdubbeling van de batterijprijzen (wat in het voordeel van ERS uitpakt), de TCO uiteraard nog gunstiger wordt ten opzichte van de BEV's.

### Samenvatting gevoeligheidsanalyses

Gevoeligheidsanalyse	Effect
ERS gebruik 50% lager dan geschat	TCO van O-BEV wordt ongunstiger dan BEV
Onderweg laden is BEV's niet meer nodig	TCO van O-BEV wordt ongunstiger dan BEV
ERS gebruik 30% lager dan geschat	TCO O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
Drie jaar langere aanlegperiode	TCO O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
Discontovoet 4,1%	TCO O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
50% hogere investeringskosten	TCO O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
Minder vaste jaarpatronen vrachtwagens	TCO O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 120 kilometer ERS gebruiken
Batterijkosten 50% lager	TCO O-BEV alleen nog gunstiger indien vrachtauto's met dagafstanden boven 150 kilometer ERS gebruiken

## 7. Te monitoren of onderzoeken onzekerheden

Dit onderzoek is uitgevoerd in een korte tijd, gebruik makend van bestaande data en informatie, waarbij we hebben voortgebouwd op het onderzoek van Movares.

Gelet op de vele onzekerheden die nog spelen, benadrukken we dat voorzichtig met de conclusies uit het onderzoek moet worden omgegaan. Hieronder sommen we de belangrijkste onzekerheden nog eens op, waarbij we aangeven of het punten zijn die moeten worden gemonitord of dat specifiek onderzoek nodig is.

Te monitoren:

- OEM's: Voor een succesvol ERS netwerk moet er voldoende en concurrerend aanbod zijn van O-BEV's. Op dit moment is daar geen sprake van. Het aantal fabrikanten dat hier serieus mee bezig is, is vooralsnog beperkt. Dit is op zich al een belangrijke reden om een ERS-net alleen aan te leggen als andere landen hier ook mee aan de slag gaan.
- De introductie van nieuwe elektrische vrachtauto's met een veel gunstiger prijs/kwaliteitsverhouding dan waar in de marktstudie van TNO is uitgegaan. Een specifiek voorbeeld is de Tesla Semi. Die zou dit jaar de markt komen en ruim 36 ton kunnen vervoeren over 700 kilometer zonder bij te laden. Als Tesla dit waar maakt en deze ook in grote aantallen kan leveren, kan het fundament onder ERS wegvallen.
- De ontwikkeling van de batterijprijzen, aantal laadcycli en andere kwaliteiten kunnen forse impact hebben op de TCO van BEV's en dus ook op de verhouding met de TCO van O-BEV's. De ontwikkelingen gaan snel en de vraag naar batterijen groeit enorm. Dus het is van groot belang om dit te monitoren
- Alternatieven voor ERS met bovenleiding. In Duitsland wordt deze zomer een testtraject aangelegd voor inductieladen. Dit is vermoedelijk duurder, maar heeft als voordeel dat het geen zichthinder oplevert en dat het ook bruikbaar is voor bijvoorbeeld bestelwagens. Ook in Zweden en andere landen zijn er pilots met verschillende technieken geweest.
- Ontwikkelingen waterstof. Op dit moment is waterstof nog geen concurrerende optie voor wegvervoer vanwege kosten en verlies aan energie-efficiëntie. Maar de ontwikkelingen gaan snel. Het is dus zaak om deze ontwikkelingen goed te monitoren en te blijven afwegen tegen een eventuele investering in ERS.

Onderzoek specifiek voor ons land:

- De benodigde investeringen in het elektriciteitsnet. Hierbij gaat het zowel om de specifieke investeringen nodig voor een uitgebreid ERS netwerk, maar ook om de benodigde investeringen in het hoog- en middenspanningsnet in Nederland om het ERS net overal van voldoende piekvermogen te kunnen voorzien. En dat afgezet tegen diezelfde investeringen die nodig zijn zonder ERS, als BEV's dus via laadpunten en snelladers moeten worden geladen.

- Op basis van CBS microdata kan een beter beeld worden gevormd van het logistieke patroon van de vrachtauto's die in (of door) Nederland rijden. Welk deel rijdt het hele jaar door min of meer vaste patronen. Hiervoor is in dit onderzoek gebruik gemaakt van expert-judgements.
- Arbeidsmarktschaarste en de energietransitie. Dieper onderzoeken welke beroepen (en in welke mate) nodig relevant zijn voor ERS en elektrisch laden, en wat de te verwachten schaarste is in deze beroepen vanaf 2030.
- Onderzoek naar de planning van de duur van de voorbereiding en aanleg van een ERS-netwerk. In dit onderzoek zijn we uitgegaan van de start van de aanleg in 2030 en van een aanlegperiode van 5 – 7 jaar. Het is van belang om te onderzoeken of dit realistisch is.

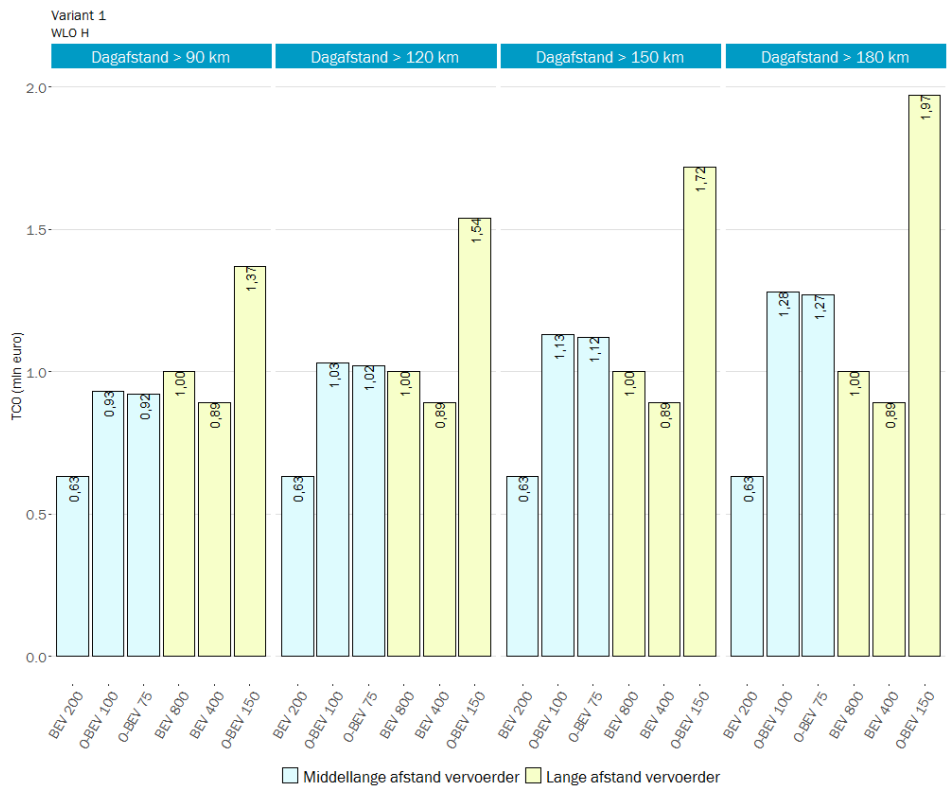
Onderzoekspunten niet specifiek voor Nederland:

- Veiligheid. De veiligheid van het systeem, met name wat er kan gebeuren bij een kabelbreuk is uiteraard een belangrijk punt. Hiervoor moet een oplossing worden gevonden, want het creëren van potentieel levensbedreigende situaties op de snelweg kan een *showstopper* zijn.
- Slijtage van met name koper van de bovenleiding is aanzienlijk, en omdat koper toxisch is, kan dit een belangrijk effect zijn. Het is zaak om hier duidelijkheid over te krijgen in een nader onderzoek. Wij hebben geen buitenlandse onderzoeken naar dit effect kunnen vinden.
- Regie op het gebruik van ERS. Indien er teveel O-BEV's tegelijk (dicht bij elkaar) van de ERS gebruik maken kan het voorkomen dat er onvoldoende vermogen is. In eerste instantie om bij te laden, maar als het heel druk wordt ook om voluit te kunnen doorrijden. Dit moet uiteraard voorkomen worden en is ook een aspect dat nog nader moet worden onderzocht.

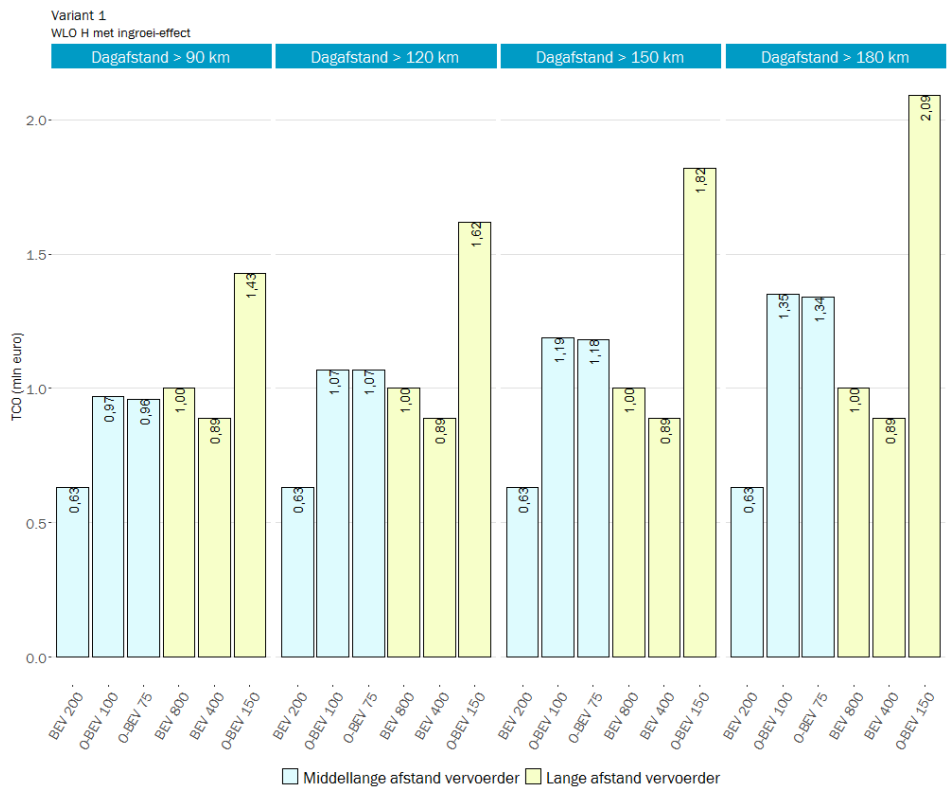
# Bijlage 1 TCO's WLO L/H met/zonder ingroei-effecten



bron: Decisio (2022)

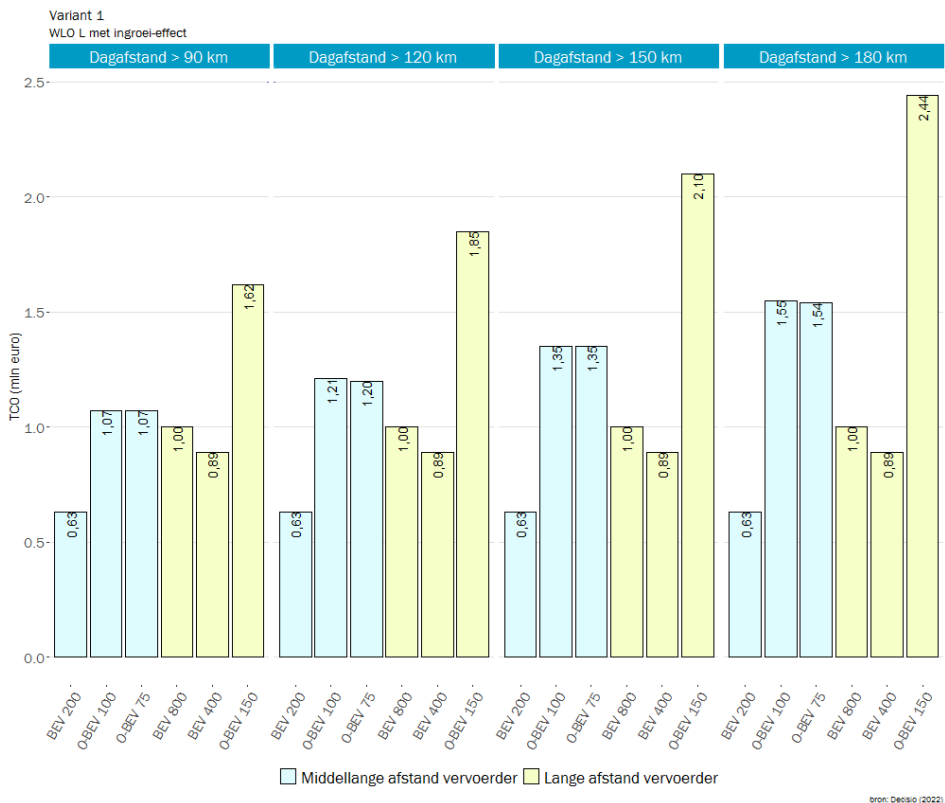
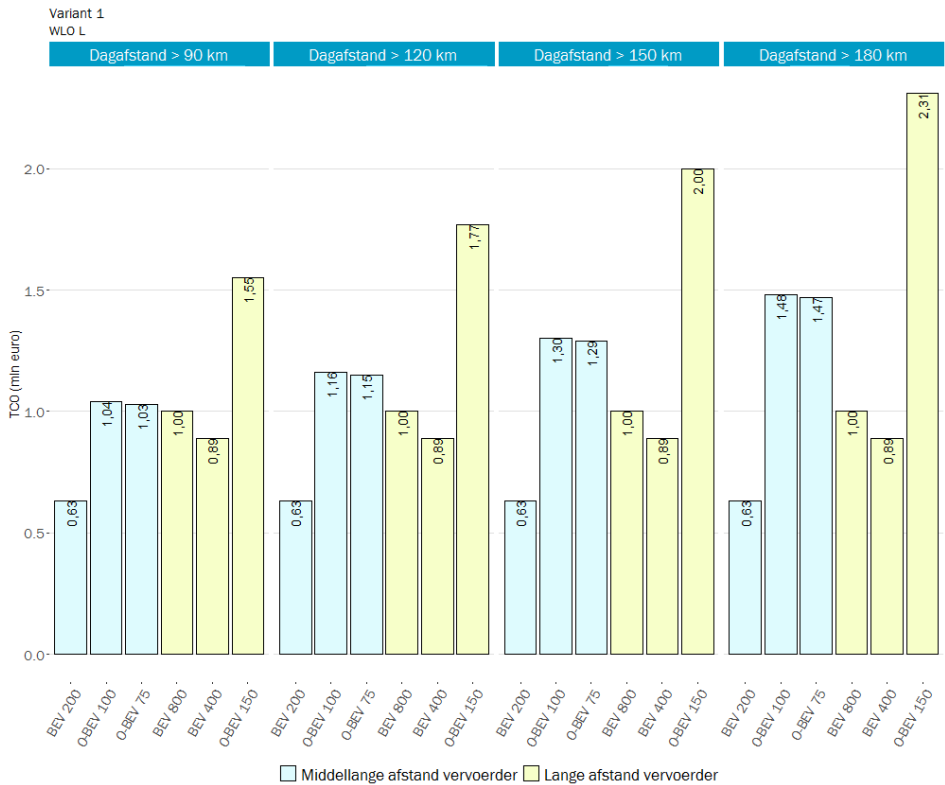


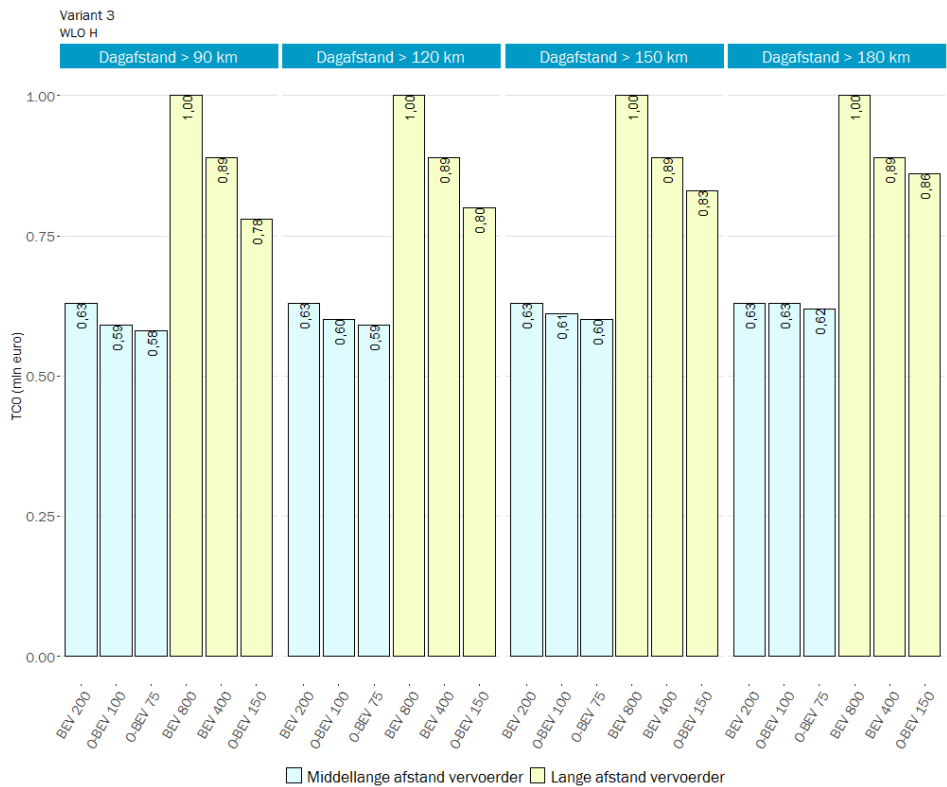
bron: Decisio (2022)



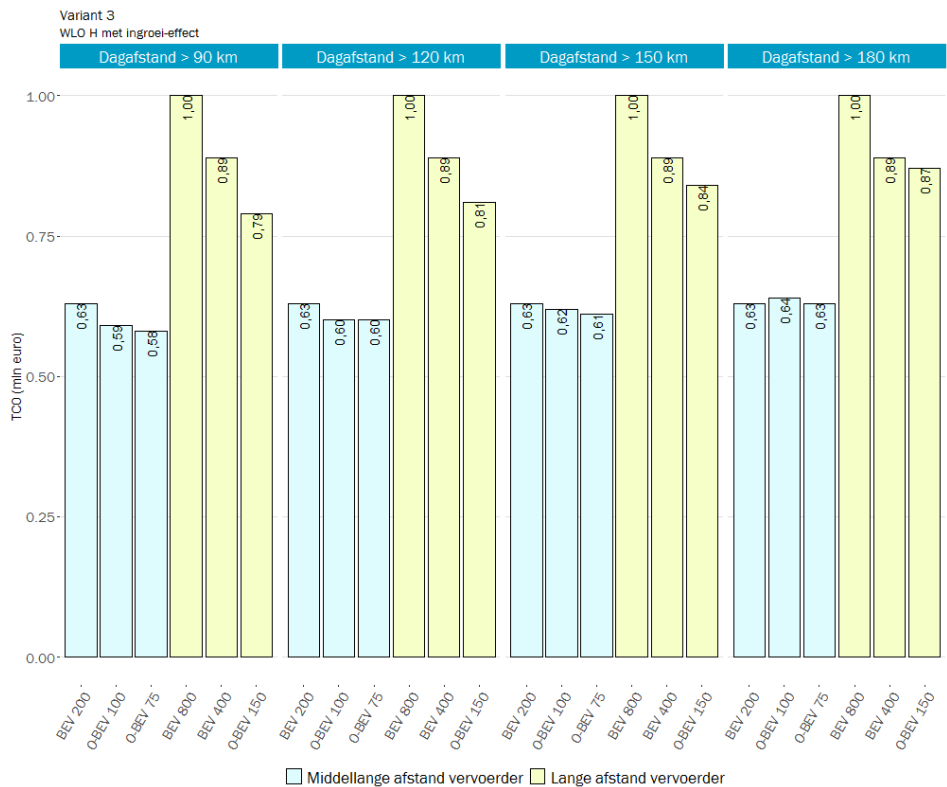
bron: Decisio (2022)



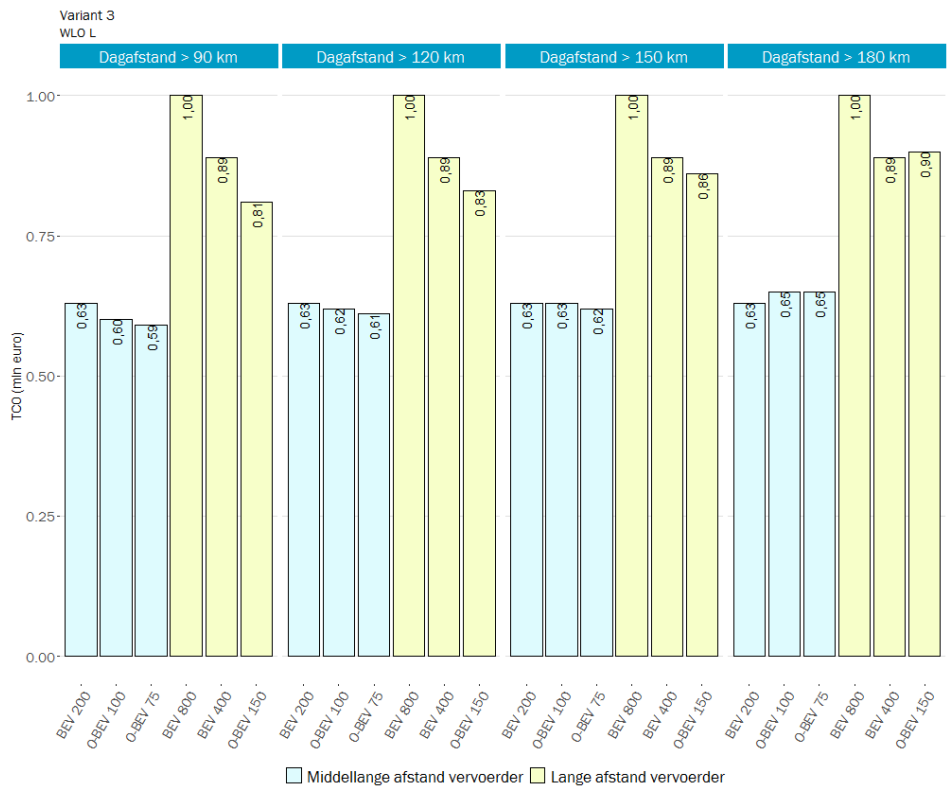




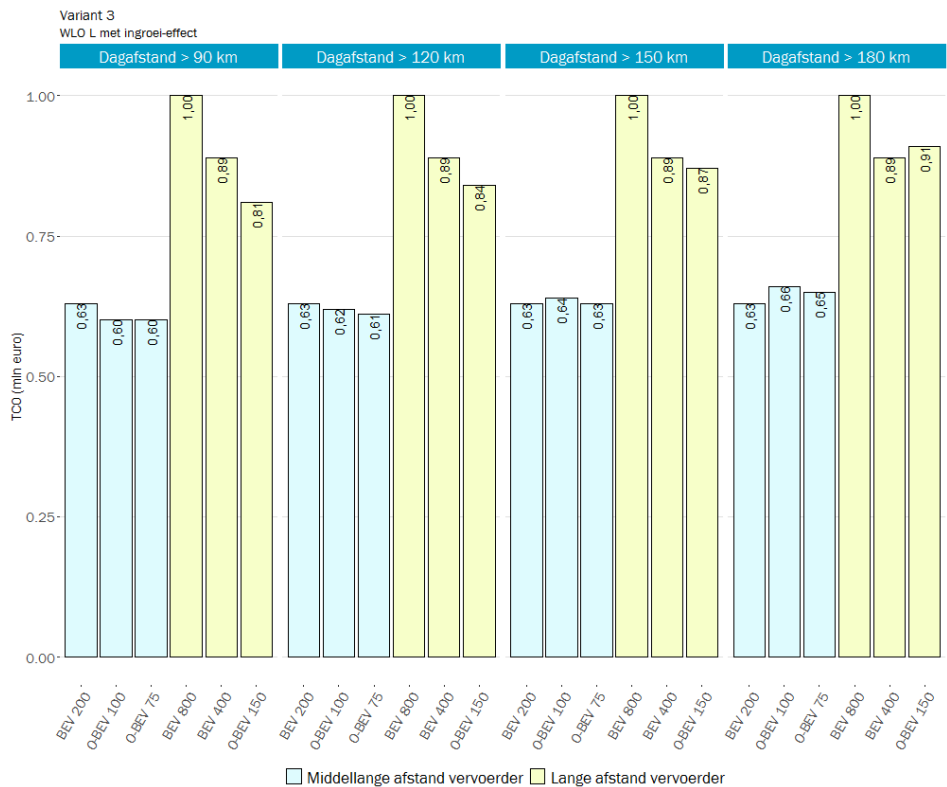
bron: Decisio (2022)



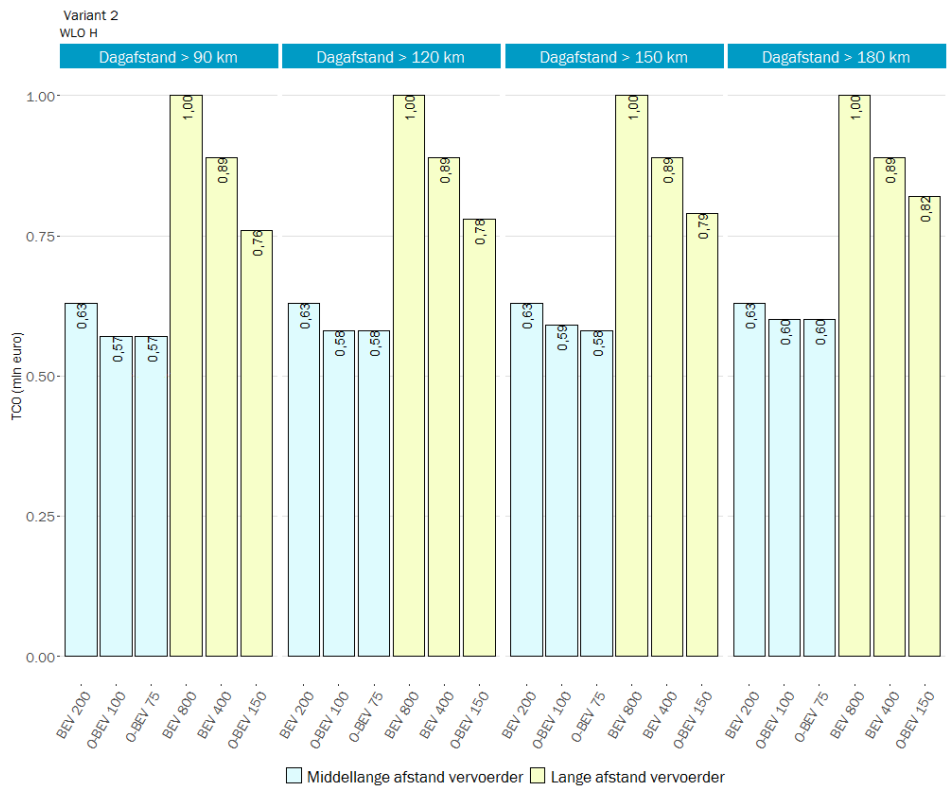
bron: Decisio (2022)



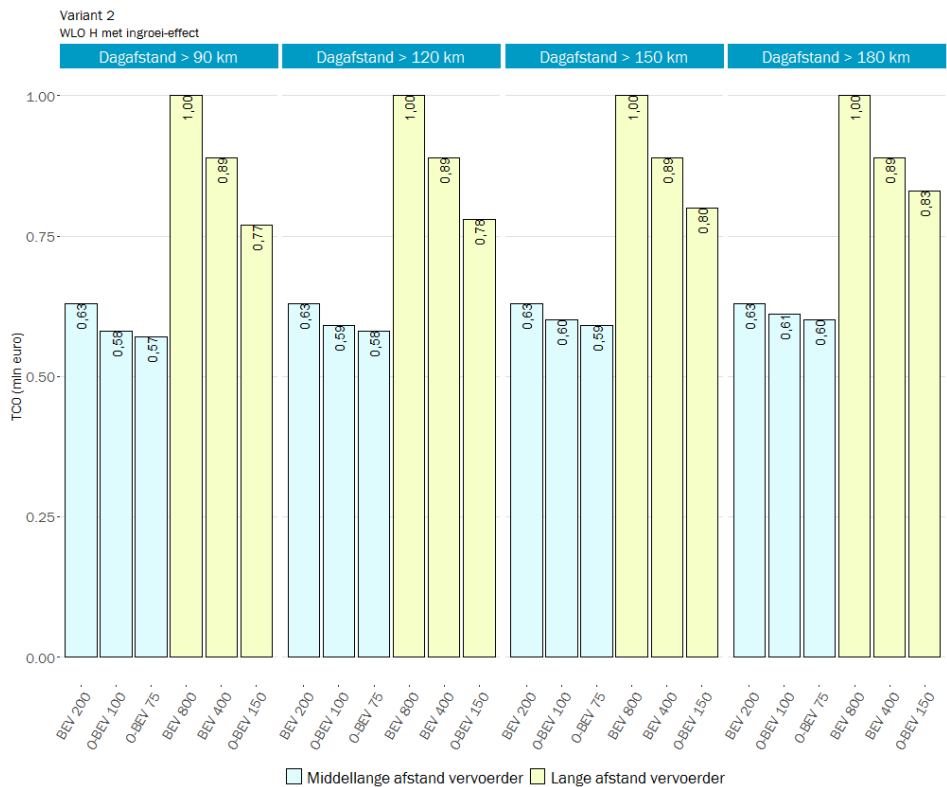
bron: Decisio (2022)



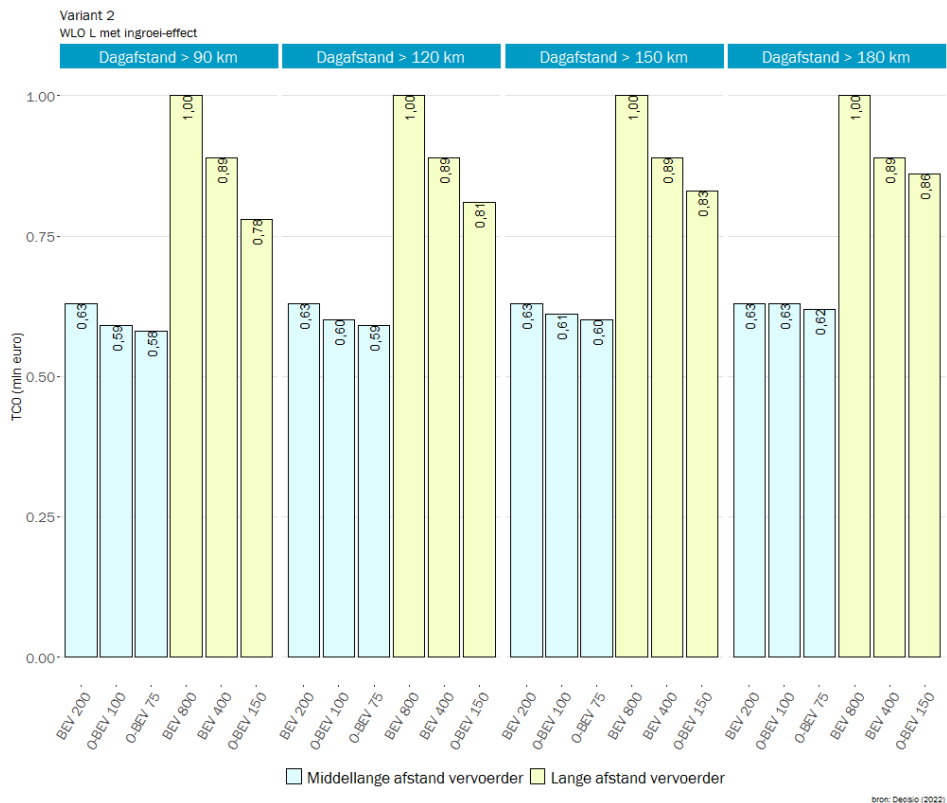
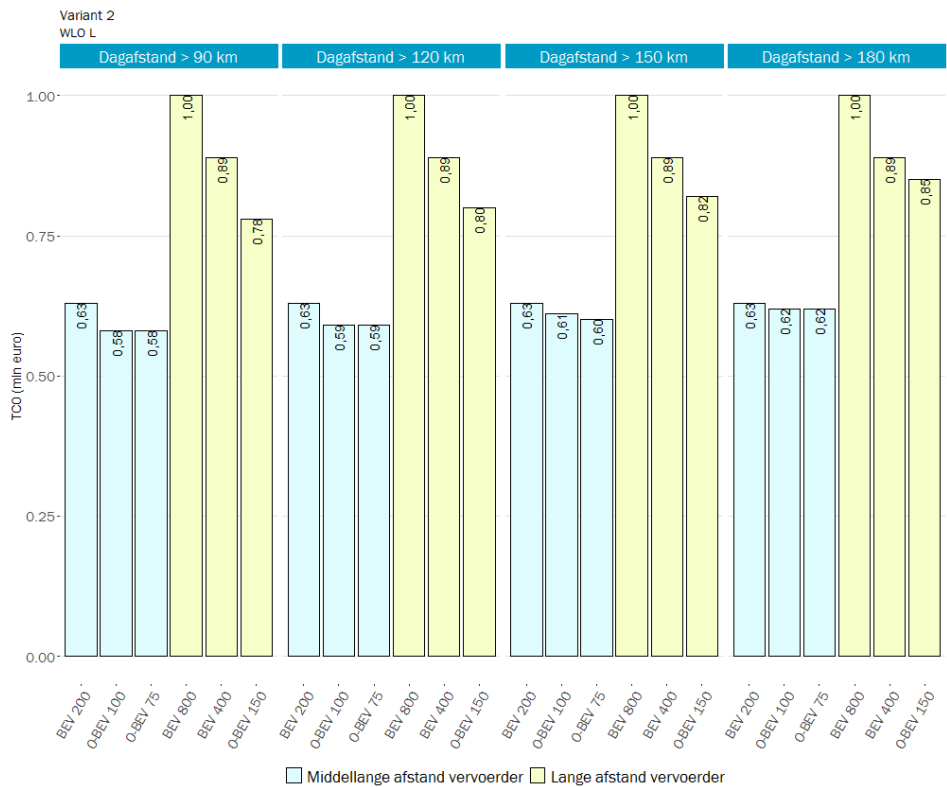
bron: Decisio (2022)



bron: Decisio (2022)



bron: Decisio (2022)



## Bijlage 2 Interviewpartners

## Bijlage 3 Geraadpleegde literatuur

- Ainalis, D.T., C. Thorne, and D. Cebon (centre of sustainable road freight) (2020), *White Paper: Decarbonising the UK's Long-Haul Road Freight at Minimum Economic Cost*
- Balieu, R. F. Chen & N. Kringos (2019), *Life cycle sustainability assessment of electrified road systems*, Road Materials and Pavement Design, 20:sup1, S19-S33, DOI: 10.1080/14680629.2019.1588771
- Bernecker T. and J. Speiser Balancing fleet, route and service range for a profitable large-scale implementation of ERS.
- CBS, *Basisbestanden goederenwegvervoer 2019*
- CE Delft (2020), *STREAM Goederenvervoer 2020, Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*, in opdracht van Topsector Logistiek
- CE Delft (2021), *Alternative fuel infrastructures for heavy duty vehicles*, in opdracht van TRAN Committee
- CE Delft/VU Amsterdam (2014), *Externe en infrastructuurkosten van verkeer*, in opdracht het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid
- Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving (2016), *Goederenvervoer en zeehavens, WLO Scenariostudie voor 2030 en 2050*
- Ecorys (2018)
- EV Consult (2019), *e-Trucks in de Rotterdamse haven*, in opdracht van Port of Rotterdam
- EV Consult (2020), *Transitiestudie verduurzaming wegtransport*, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
- EV Consult (2021),
- EVO Fedex (2018), *Kostenontwikkelingen in het wegvervoer*
- Francke, J., (2013), *Verkenning beladingsgraad goederenvervoer van 45 naar 65%*
- Fraunhofer Institute: John Fritz, Daniel Speth, Patrick Plötz (2020), *Overhead catenary vehicles in south-west Germany? A regional catenary vehicle network and its implications for electricity demand*
- Hacker, F. Patrick Plötz, Julius Jöhrens (2020), *Electric roads for the German climate protection strategy for freight transport? A review and synthesis of market diffusion and electrification studies*
- Hasselgren, Björn, Näsström, Elin (Swedish Transport Administration), (2021), *Electrification of Heavy Road Transport: business models phase 5*
- IEA (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*
- ITF (2021), *Cleaner Vehicles: Achieving a Resilient Technology Transition*, International Transport Forum Policy Papers, No. 90, OECD Publishing, Paris
- Marmiroli B., G. Dotelli, E. Spessa, *Life Cycle Assesment of an On-Road Dynamic Charging Infrastructure*, <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/15/3117>
- Movares (2020), *Verkenning Electric Road Systems*, in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

- Netbeheer Nederland (2021), *Het Energiesysteem van de Toekomst, Integrale Infrastructuurverkenning 2030 -2050*
- Scania, *Battery electric vs diesel driven, Life cycle assessment of distribution vehicles*
- TNO (2021), *Aanzet tot een analysekader betreffende de ingroei en opschaling van elektrische bestel en vrachtoertuigen in de Nederlandse vloot tot 2040*, in opdracht van Planbureau voor de Leefomgeving
- Topsector Logistiek (2020), *TCO Tool*
- Planbureau voor de Leefomgeving (2020), *Regionale arbeidsmarkteffecten van de energietransitie: een scenarioverkenning*
- PWC (2021), *De energietransitie en de financiële impact voor netbeheerders*, in opdracht van Netbeheer Nederland
- Rudgartser, I., A. Reusswig (2019), *Experiences with planning and construction of the ELISA pilot site / eHighway Hessen*, 3rd Electric Road Systems Conference 2019
- 4Cast (2021), *Actualisatie Jaartotalen LMS, ophoogfactoren MKBA en heffingsplichtig kilometrage VWH*, in opdracht van Rijkswaterstaat WVL



## Bijlage 4 Uitgangspunten TCO berekening

Middellange Afstand		Lange Afstand	
Parameter	eenheid	Parameter	
CAPEX chassis trekker	65.000 €	CAPEX chassis trekker	
CAPEX conventionele aandrijflijn (Diesel)	54.000 €	CAPEX conventionele aandrijflijn (Diesel)	
CAPEX conventionele aandrijflijn (O-HEV)	49.000 €	CAPEX conventionele aandrijflijn (O-HEV)	
CAPEX brandstofcel aandrijflijn	5.000 €	CAPEX brandstofcel aandrijflijn	
CAPEX brandstofcel H2 tank & batterij (geïndexeerd)	64.250 €	CAPEX brandstofcel H2 tank & batterij (geïndexeerd)	
CAPEX brandstofcel fuel cell electronics (geïndexeerd)	166.000 €	CAPEX brandstofcel fuel cell electronics (geïndexeerd)	
CAPEX batterij kosten BEV	150 €/kWh	CAPEX batterij kosten BEV	
CAPEX elektromotor	4.900 €	CAPEX elektromotor	
CAPEX aandrijflijn hybride	14.000 €	CAPEX aandrijflijn hybride	
CAPEX aandrijflijn BEV	14.000 €	CAPEX aandrijflijn BEV	
CAPEX pantograaf	19.000 €	CAPEX pantograaf	
CAPEX batterij O-HEV	800 €	CAPEX batterij O-HEV	
Groote batterij FCEV	75 kWh	Groote batterij FCEV	
Groote batterij O-BEV 75	135 kWh	Groote batterij O-BEV 150	
Groote batterij O-BEV 100	180 kWh	Groote batterij BEV 400	
Groote batterij BEV 200	350 kWh	Groote batterij BEV 800	
Restwaarde na levensduur	10,0% %	Restwaarde na levensduur	
Levensduur	10 jaar	Levensduur	
Aantal volaadcycli batterij	5.000	Aantal volaadcycli batterij	
O&M Diesel	0,16 €/km	O&M Diesel	
O&M FCEV	0,15 €/km	O&M FCEV	
O&M O-HEV	0,152 €/km	O&M O-HEV	
O&M O-BEV	0,112 €/km	O&M O-BEV	
O&M BEV	0,11 €/km	O&M BEV	
Aantal kilometers per jaar	70.000 km/jaar	Aantal kilometers per jaar	
Prijs diesel 2030	1,55 €/L	Prijs diesel 2030	
Prijs elektriciteit groothandel 2030	0,05 €/kWh	Prijs elektriciteit groothandel 2030	
Belasting op elektriciteitsprijs 2030	0,03 €/kWh	Belasting grootverbruiker op elektriciteitsprijs 2030	
Prijs elektriciteit grootverbruiker	0,08 €/kWh	Prijs elektriciteit grootverbruiker	
Prijs laadinfrastructuur statisch laden	0,083 €/kWh	Prijs laadinfrastructuur statisch laden	
Verkoopprijs elektriciteit statisch laden	0,163 €/kWh	Verkoopprijs elektriciteit statisch laden (BEV)	
Prijs infrastructuur ERS, capex in beide richtingen	0,133 €/kWh	Prijs infrastructuur ERS, capex in beide richtingen	
Verkoopprijs elektriciteit ERS	0,213 €/kWh	Verkoopprijs elektriciteit ERS	
Prijs waterstof (on site elektrolyse)	5,4 €/kg	Prijs waterstof (on site elektrolyse)	
Energiekosten Diesel	0,158 €/kWh	Energiekosten Diesel	
Energiekosten waterstof	0,162 €/kWh	Energiekosten waterstof	
Efficientie Diesel	2,38 kWh/km	Efficientie Diesel	
Efficientie FCEV	2,09 kWh/km	Efficientie FCEV	
Efficientie O-HEV	1,86 kWh/km	Efficientie O-HEV	
<b>Parameter CO2-uitstoot</b>			
Kilometrage vrachtverkeer Nederland in 2030 WLO-Hoog	8,1	miljard	
Kilometrage vrachtverkeer Nederland in 2030 WLO-Laag	7,5	miljard	
CO2 u tstoet diesel WLO-Hoog	645	gram/kilometer	
CO2 u tstoet diesel WLO-Laag	664	gram/kilometer	