

TNO-rapport**TNO 2022 R11105****DKTI VERZET - Lessen en ervaringen uit de praktijk van de inzet van zware zero-emissie vrachtauto's in de bouw****Traffic & Transport**Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
Postbus 96800
2509 JE Den Haagwww.tno.nl

T +31 88 866 00 00

Datum	27 juni 2022
Auteur(s)	Siem van Merriënboer, Annette Rondaij, Lola Sprenger, Dennis Tol, Akshay Boraskar
Exemplaarnummer	2022-STL-RAP-100344996
Aantal pagina's	42 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Projectnaam	DKTI Versnelde Evolutie Rotterdams Zero Emissie Transport (VERZET) Bouwsector
Projectnummer	060.40640

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de uitkomsten van de evaluatie door TNO van de monitoring van zware zero-emissie voertuigen in de bouw binnen het project DKTI VERZET (Versnelde Evolutie Rotterdams Zero Emissie Transport Bouwsector). DKTI (Demonstratie klimaattechnologieën en -innovaties in transport (DKTI-transport)) is een subsidieregeling van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) voor de ondersteuning van demonstratieprojecten gericht op het verminderen van de klimaatimpact van transport.

Binnen DKTI VERZET werkt TNO met consortiumpartners Verhuis- en Transportbedrijf Vlot Logistics B.V., BREYTNER B.V., Emoss Mobile Systems B.V., P. van der Velden bedrijfswagens B.V. samen om te laten zien dat, ondanks beperkingen in de actieradius, zero-emissie (ZE) bouwlogistiek op korte termijn realiteit kan worden met slimme ZE bouwlogistieke concepten en de juiste mix van slimme voertuig- en snellaadtechnologie. Op dit moment zijn er nog weinig zware elektrische vrachtauto's beschikbaar en de varianten die op de markt zijn, of op korte termijn beschikbaar komen, beschikken nog niet over vergelijkbare prestaties als dieselvrachtauto's. Via praktijkdemonstraties in DKTI VERZET willen de consortiumpartners aantonen dat ZE voertuigen ook nu al inzetbaar zijn voor het uitvoeren van werkzaamheden in de integrale bouwlogistieke keten.

TNO heeft in dit project een opzet uitgewerkt voor het logistieke concept voor ZE transport in de bouw. Bovendien heeft TNO de praktijkdemonstraties van een volledig elektrisch-aangedreven kraanwagen en volledig elektrisch-aangedreven stenentrekker¹ gemonitord. Daaruit volgt dat de ZE voertuigen met minimale aanpassing in de planning al goed inzetbaar zijn bij meerdere korte ritten op een dag en dat de inzet van ZE zware voertuigen in de bouw, ondanks de nog beperkte actieradius, mogelijk is door het logistieke concept van tevoren uit te denken en door slimme laadstrategieën toe te passen. De aanwezigheid van voldoende dekkende en toegankelijke laadinfrastructuur is een belangrijke voorwaarden voor de inzetbaarheid van ZE trucks op langere afstanden en voor opschaling naar het gebruik van ZE voor ritten die vooraf minder planbaar zijn. De gemonitorde activiteiten vonden voor een deel ook plaats in andere logistieke segmenten, maar doordat de logistieke structuur van deze activiteiten ook voorkomt in bouwlogistiek zijn de conclusies uit dit onderzoek ook relevant voor de bouwsector.

De berekende TCO-scenario's laten zien dat de jaarlijkse kosten van de twee ZE trucks 40%-70% (afhankelijk van voertuigtype) hoger zijn dan de conventionele varianten. Door een verwachte daling in onderhoudskosten, aanschafkosten (bijv. door massaproductie) en door een betere bezetting van de laadinfrastructuur zal de TCO van ZE trucks naar verwachting dichterbij de TCO van de dieselvarianten komen te liggen. Tot die tijd is de betalingsbereidheid voor zero-emissie transport een belangrijk aspect. Dit kan worden bevorderd door stimuleringsregelingen vanuit overheid of door duurzaamheidseisen op te nemen in offertes en aanbestedingen en dat te koppelen aan kortingen / bonussen.

¹ Het voertuig is ontwikkeld met de bedoeling om te worden ingezet als stenentrekker.

De ZE trekker is, met een andere oplegger, echter ook voor andere toepassingen ingezet. In deze rapportage wordt naar dit voertuig gerefereerd als 'stenentrekker'.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
1.1	Over het project: DKTI VERZET	4
1.2	Rolverdeling partners en activiteiten binnen VERZET	5
1.3	Leeswijzer	6
2	Aanpak activiteiten TNO	7
2.1	Vorbereiden praktijkdemonstratie	7
2.2	Monitoren praktijkdemonstratie	7
3	Logistiek concept voor ZE transport bouw	8
4	Monitoring praktijkdemonstratie.....	14
4.1	Vorbereiding: opzet monitoringsplan en datacollectie	14
4.2	Analyse praktijkdemonstraties	14
5	Total Cost of Ownership (TCO)	28
5.1	Invoerparameters en scenario's	29
6	Conclusie.....	35
	Bijlage(n)	
	A Monitoringsplan	
	B ViriCiti-parameters definities	
	C Invulformulier ritregistratie ZE kraanwagen (Excel-template)	

1 Inleiding

1.1 Over het project: DKTI VERZET

Op het gebied van elektrificatie van het wagenpark voor transport in de bouw en de toepassing en opschaling van slimme bouwlogistieke concepten is tot voor kort nog weinig progressie geboekt. Dit is deels te wijten aan een gebrek aan geschikte (zware) volledig elektrische vrachtwagens en deels door het conservatieve en risicomijdende DNA van de bouwsector. Hierdoor zijn er nog geen voorbeelden voorhanden van het gebruik van elektrische voertuigen in de integrale bouwlogistieke keten. Aangezien er nog weinig elektrische zware vrachtauto's beschikbaar zijn, en de (toekomstig) beschikbare elektrische vrachtauto's (nog) niet dezelfde prestaties (actieradius) kunnen leveren als conventionele vrachtauto's zijn er praktijkvoorbeelden nodig waarbij kennis en ervaring wordt opgedaan met de inzet van elektrische vrachtauto's in de bouw, die laten zien dat uitstootvrije bouwlogistiek mogelijk is. Binnen het onderzoeksproject DKTI VERZET (Versnelde Evolutie Rotterdams Zero Emissie Transport Bouwsector) pakken de DKTI VERZET (vanaf nu: VERZET) consortiumpartners Verhuis- en Transportbedrijf Vlot Logistics B.V., BREYTNER B.V., Emoss Mobile Systems B.V., P. van der Velden bedrijfswagens B.V. en TNO deze uitdaging aan om te bewijzen dat met de juiste mix van slimme voertuig- en snellaadtechnologie, uitstootvrije bouwlogistiek op korte termijn realiteit kan worden.

Het doel van de VERZET-partners is om gezamenlijk voor 2025 te komen tot een praktisch te implementeren zero-emissie bouwlogistiekconcept voor zware materiaalstromen voor iedere Nederlandse binnenstad. In Nederland is geen showcase voorhanden die een integrale bouwlogistieke ketenoplossing biedt voor zowel binnenstedelijk transport als voor de langere directe ritten vanaf producenten en leveranciers. Er moet daarom snel en daadkrachtig worden ingezet op het creëren van operationele omstandigheden om de markt vertrouwen te geven dat elektrische bouwvoertuigen hiervoor geschikt zijn. Door dit te doen in een praktijkdemonstratie zal tevens worden aangetoond dat de aanwezige niet-technologische belemmeringen, zoals focus op duurzame aanbestedingen en afwezigheid van beleid om snellaadinfrastructuur voor zware voertuigen te installeren, kunnen worden opgeheven wanneer met de juiste stakeholders wordt samengewerkt.

Daarvoor worden binnen het project twee innovatieve, volledig elektrisch aangedreven zware vrachtwagens ontwikkeld (retrofit) dan wel aangeschaft, getest en waar mogelijk ingezet voor de bouw, namelijk:

- een volledig elektrisch aangedreven zero-emissie kraanwagen (ZE kraanwagen) met geïntegreerde aanhanger met mobiele power unit voor eindgebruiker Vlot Logistics (categorie N3);
- een zero-emissie stenentrekker² (ZE stenentrekker) met een GVW³ van 50 ton met daarop een elektrische verrijdbare stenenkraan, categorie N3 voor eindgebruiker Breytner.

² Het voertuig is ontwikkeld om te worden ingezet als stenentrekker. In deze rapportage zal er naar dit voertuig ook gerefereerd worden als 'stenentrekker'. De ZE trekker is, met een andere oplegger, echter ook voor andere toepassingen ingezet.

³ GVW = Gross Vehicle Weight

Beide voertuigen worden ontwikkeld en geleverd door Emoss en Van der Velden, de Nederlandse koplopers op het gebied van elektrische aandrijflijnen en bouwvoertuigen. Naast de zware ZE voertuigen wordt gewerkt aan een openbaar toegankelijk snellaadpunt op een strategische locatie aan de rand van de binnenstad van Rotterdam en twee mobiele power units met snellaadfaciliteit geschikt voor zware voertuigen.

Het gaat in dit project om transport dat moeilijk naar ZE te krijgen is. Om dit wél te bereiken is het nodig om het transport anders te organiseren, wat verder gaat dan enkel één op één vervangen van een dieselvrachtauto door een ZE variant. De voorgestelde praktijkdemonstratie is dus een voorbeeld van hoe door een combinatie van innovaties op verschillende aspecten ZE bevoorrading in de bouw wel mogelijk wordt gemaakt.

De in dit project voorgestelde en geïmplementeerde innovaties betreffen:

- 1) innovatieve ZE voertuigen voor zwaar transport,
- 2) batterij / elektriciteitsopslag en oplaadinfrastructuur,
- 3) het opnieuw bedenken van het logistieke concept om dergelijke transport zonder emissies uit te kunnen voeren.

1.2 Rolverdeling partners en activiteiten binnen VERZET

In het project VERZET hadden de verschillende projectpartners de volgende specifieke rol, namelijk:

Vlot Logistics heeft met de ZE kraanwagen eerste gebruikservaringen opgedaan en daarmee kennis opgedaan over de mogelijkheden (technische oplossingen en aanpassing op het logistiek concept) om deze op lange afstanden in te zetten voor bouwlogistiek transport, ondanks de beperkte actieradius van het voertuig zelf. Tevens heeft Vlot Logistics als toekomstig exploitant geïnvesteerd in twee mobiele power units met snellaadfaciliteit geschikt voor zware voertuigen. Deze zogenaamde mobiele power units bestaan uit een snellaadstation met een 300 kWh accupakket (batterij-container).

Breytner heeft met de inzet van de ZE stenentrekker aangetoond dat een GVW van 50 ton operationeel en qua actieradius (150 km enkele reis) haalbaar is, zoals vereist voor het huidige zwaar bouwtransport. Dit is uniek aangezien de huidige OEMs slechts voertuigen tot 44 ton leveren (ten tijde van indiening voorstel februari 2020).

Van der Velden heeft tijdens de praktijktesten de ZE kraanwagen en ZE stenentrekker op het benodigde onderhoudsregime gemonitord.

TNO heeft het monitoringsplan voor de praktijkdemonstratie opgesteld en een evaluatie gedaan op de monitoring van de twee ZE voertuigen. Daarnaast heeft TNO, in samenwerking met de andere partners, gewerkt aan het verder doorontwikkelen van toekomstige innovatieve ZE bouwlogistieke concepten op basis van de praktijktestresultaten.

Tevens heeft TNO de Total Cost of Ownership (TCO) van de twee elektrische bouwvoertuigen onderzocht op basis van de monitoringsresultaten van de eerste gebruikperiode.

Deze rapportage beschrijft de uitkomsten van de evaluatie van TNO binnen VERZET.

1.3 Leeswijzer

Deze rapportage betreft de eindrapportage van de inbreng van TNO in het project VERZET. Voor TNO ligt de focus op een analyse van de eerste ervaringen met de inzet en het gebruik van de ZE kraanwagen, de ZE stenentrekker en laadinfrastructuur met betrekking tot technische prestatie en operationele inzet. Hierin wordt zowel gebruik gemaakt van data uit het dashboard van het voertuig (via ViriCiti) als ervaringen van gebruikers en betrokkenen op basis van interviews.

In hoofdstuk 2 zal eerst de aanpak van het onderzoek van TNO in dit project worden geschetst. Hierin wordt waar nodig de relatie met de taken en rollen van de andere consortiumpartners belicht. Hoofdstuk 3 beschrijft de opzet van het logistieke concept voor ZE transport bouw. Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op het monitoringsplan voor de twee ZE trucks en beschrijft voor elk van de voertuigen de resultaten vanuit de monitoring. Hoofdstuk 5 laat de uitkomsten uit de TCO-berekeningen zien voor de twee type vrachtauto's in verschillende scenario's. Tot slot presenteert hoofdstuk 6 de conclusies.

2 Aanpak activiteiten TNO

De praktijkdemonstratie binnen VERZET is bedoeld om te experimenteren en ervaringen op te doen met de inzet van de ZE kraanwagens en de ZE stenentrekker in combinatie met snellaadinfrastructuur in een bouwlogistische context. In de praktijk heeft dit geleid tot twee separate praktijkdemonstraties; één met de ZE kraanwagens en één met de ZE stenentrekker. De ZE kraanwagens is volledig in een praktijkomgeving in de bouw ingezet, terwijl de ZE stenentrekker slechts deels in de bouwlogistiek is ingezet en daarnaast, als ZE trekker, is ingezet voor retaillogistiek en containertransport, om zo tot een volledige wekelijkse inzet van de ZE trekker te komen. In het project zijn ook de activiteiten binnen andere sectoren dan de bouw gemonitord om zodoende zo veel mogelijk kennis en ervaring op te doen van de impact van de inzet van zware ZE trucks op de operationele planning en uitvoering van activiteiten. Er heeft in het project door TNO geen specifieke monitoring en analyse plaatsgevonden van de inzet van de snellaadinfrastructuur.

2.1 Vorbereiden praktijkdemonstratie

In de voorbereiding op deze demonstraties was TNO verantwoordelijk voor de opzet van een logistiek concept voor ZE transport in de bouw. TNO heeft allereerst onderzoek uitgevoerd naar ZE logistieke concepten voor bouwgerelateerde transportstromen in combinatie met onderzoek naar optimaal gebruik en inzet van ZE voertuigen en daarbij behorende laadinfrastructuur, inclusief mobiele laadunits. Dit heeft TNO gedaan door een inventarisatie te maken van de mogelijkheden en beperkingen van de inzet van ZE voertuigen en mobiele laadinfrastructuur en daarbij input op te halen bij technische partijen in het consortium. Deze informatie heeft TNO vervolgens gebruikt om het ZE bouwlogistische concept uit te werken voor de specifieke praktijkdemonstratie.

Naast het uitwerken van het logistieke concept heeft TNO een voorstel gedaan voor het dataverzamelingsplan (monitoringsplan) voor de praktijkdemonstratie (verantwoordelijkheid BREYTNER). Daarin is opgenomen hoe er gemeten wordt, waarbij onder andere, in afstemming met de consortiumpartners, de scope en de KPI's zijn vastgelegd. Het voorstel voor het monitoringsplan is te vinden in Bijlage A van dit rapport.

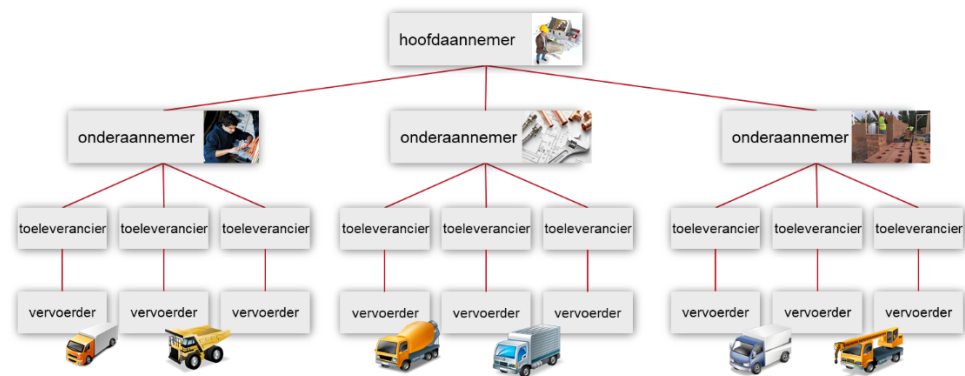
2.2 Monitoren praktijkdemonstratie

Tijdens de praktijkdemonstratie is de inzet van de in de proeftuin ontwikkelde ZE kraanwagens evenals de binnen de proeftuin aangeschafte elektrische ZE stenentrekker gemonitord en uitvoerig op allerlei aspecten getest in combinatie met de inzet van een vast laadpunt en de twee mobiele power units. De mobiele power units kunnen zowel ter plaatse op de bouwplaats als in de aanhangwagencombinatie bij de kraanwagens worden gebruikt. Tijdens de monitoring zijn de benodigde gegevens vastgelegd en verzameld ten behoeve van rapportage van de effecten van de inzet van ZE voertuigen in de praktijkdemonstratie. Daarbij wordt gerapporteerd over maatschappelijke KPI's en relevante RVO-sleutelfactoren. Daarnaast wordt gekeken naar de maatschappelijke en financiële businesscase (TCO) van de inzet van de ZE voertuigen.

3 Logistiek concept voor ZE transport bouw

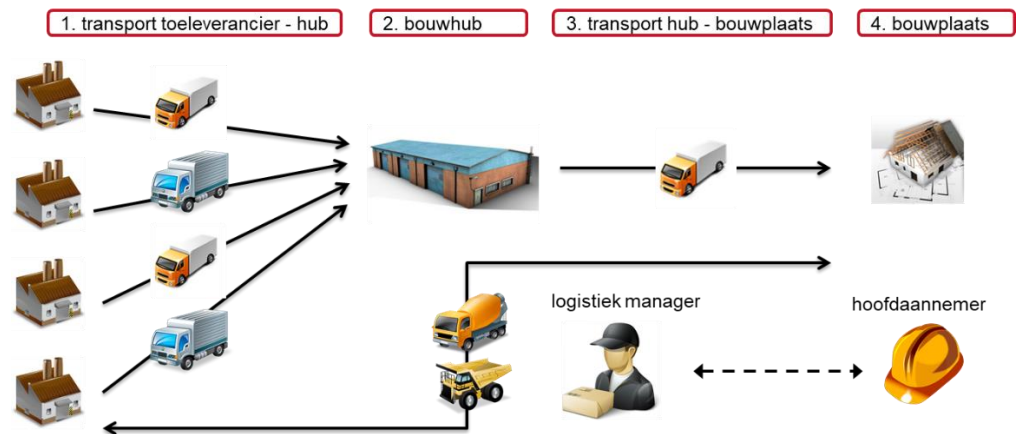
Dit hoofdstuk beschrijft de uitkomsten van het onderzoek naar de mogelijkheden voor toepassing en gebruik van de ZE voertuigen in de bouw. Hiertoe wordt het generieke logistieke concept voor ZE bouwlogistiek uitgewerkt en wordt gaandeweg ingegaan op het logistieke concept specifiek voor de praktijkdemonstraties binnen VERZET.

De bouw kenmerkt zich door een zeer gefragmenteerde logistieke keten waarin vele verschillende partijen worden betrokken in de totale bevoorrading van een bouwproject. De keten begint bij de hoofdaannemer die meerdere onderaannemers op de bouwplaats inzet voor de bouwactiviteiten. Deze onderaannemers hebben allen meerdere toeleveranciers van bouwmaterialen en/of bouwmaterieel. Deze toeleveranciers hebben weer hun eigen vervoerders waarbij het transport wordt uitbesteed (zie Figuur 1).



Figuur 1: Gefragmenteerde bouwlogistieke keten.

Het wordt zo duidelijk dat voor een bouwproject vele verschillende partijen op de bouwplaats goederen leveren gedurende het gehele bouwproces. Dit betreft veelal zware materialen die door zware voertuigen (voertuigcategorieën N2 en N3) worden geleverd. Deze transporten komen of direct vanaf een producent en/of toeleverancier van bouwmaterialen, of vanaf een gespecialiseerde logistiek dienstverlener in de bouw. In de bouw wordt vanwege duurzaamheid soms gekozen voor transport via een ontkoppelpunt (bouwhub) om bouwstromen zo efficiënt mogelijk te combineren tot een minimaal aantal ritten naar een bouwplaats (met name voor binnenstedelijke bouwplaatsen). Figuur 2 geeft de bouwlogistieke keten waarin gebruik wordt gemaakt van een bouwhub tussen producenten / leveranciers en een bouwproject schematisch weer. Daarbij is sprake van een combinatie van directe ritten tussen producenten / toeleveranciers en bouwplaatsen en gecombineerde ritten vanaf een bouwhub of ander ontkoppelpunt (bijvoorbeeld een groothandel of een van de toeleveranciers).



Figuur 2: Bouwlogistiek keten.















De mogelijke inzet van ZE zware trucks voor het transport van bouwmaterialen en bouw materieel wordt in sterke mate bepaald door de actieradius en de mogelijkheden om de batterij van de vrachtwagens op te laden tijdens / gedurende de operatie. Daarvoor zijn (in theorie) verschillende mogelijkheden: op de thuislocatie van de exploitant (binnen VERZET: Vlot Logistics); bij laad- / loslocaties waar goederen op de vrachtwagen worden geladen dan wel gelost: dit betreft de producenten en leveranciers van bouwmaterialen / bouw materieel en de bouwprojecten waaraan geleverd wordt; openbare laadpunten voor elektrisch opladen van ZE voertuigen.

Op de thuislocatie is voornamelijk sprake van 'overnight charging' waarbij de batterij gedurende de nacht tot 100% state-of-charge (SOC) wordt opgeladen. Op de laad- / loslocaties bij ophalen en afleveren van bouwmaterialen en/of bouw materieel bestaan op dit moment nog geen mogelijkheden om gedurende het laden en/of lossen gelijktijdig bij te laden. Daarvoor zijn binnen het project twee mobiele snellaad power units ontwikkeld die op locatie kunnen worden geïnstalleerd om tijdens het laden en/of lossen bij te laden. Daarnaast is bij vele openbare tankstations reeds elektrische laadinfrastructuur beschikbaar (bijv. Fastned), maar deze is voor vrachtwagens vaak niet bruikbaar door beperkte toegang tot de oplaadpunten als gevolg van overkapping van het laadpunt of het wegdek dat niet geschikt is voor zware vrachtwagens. Dit heeft voor beperkingen gezorgd in de inzet bij de praktijkdemonstraties in VERZET.

De inpassing van de inzet van de ZE kraanwagen en de ZE stentrekker in bovenstaand bouwlogistiek concept vergt specifieke aandacht voor de rittenplanning van de transport. Naast actieradius en planning ten aanzien van opladen is er verder geen verschil in kenmerken ten aanzien van de inzet van het transport van bouwmaterialen en bouw materieel tussen de zero-emissie voertuigen en vergelijkbare traditionele vrachtwagens. Wel zijn er uiteraard grote voordelen ten aanzien van de duurzaamheid van inzet op het gebied van de uitstoot van schadelijke stoffen en het geluidsniveau. De ZE kraanwagen en ZE stentrekker hebben verschillende kenmerken en zullen worden ingezet voor het transport van verschillende goederensoorten in de bouw.

Een overzicht van de verschillende typen bouwstromen is te vinden in de Outlook Bouwlogistiek⁴ en wordt in onderstaande Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1: Verschillende typen goederenstromen in de bouw. Bron: Outlook Bouwlogistiek, 2020.

Type stroom	Omschrijving	Hedendaags meest gebruikte voertuigen
1. Beton	Dit gaat om vloeibare beton dat gestort wordt vanuit een betonmixer op de bouwplaats. Circa 30% van de ritten in het traditionele scenario is toe te wijden aan dit bouwstroomtype.	
2. Ruwbouw Groot	Grotere en zwaardere elementen, zoals prefab, heipalen, vloerelementen, etc. Circa 10% van de ritten in het traditionele scenario is toe te wijden aan dit bouwstroomtype.	 
3. Ruwbouw Ladingdragers	Kleinere elementen op bokken/pallets, bijvoorbeeld geveldelen, puien, glasplaten, etc. Circa 10% van de ritten in het traditionele scenario is toe te wijden aan dit bouwstroomtype.	 
4. Bulk	Bijvoorbeeld grond of grind. Circa 0% van de ritten in het traditionele scenario is toe te wijden aan dit bouwstroomtype.	
5. Afbouw	Afbouw, installaties en kleinere bouwmaterialen vervoerd op pallets of in containers. Circa 35% van de ritten in het traditionele scenario is toe te wijden aan dit bouwstroomtype.	    
6. Afval	Bouw- en sloopafval, maar ook verpakkingsmaterialen en emballage. Circa 5% van de ritten in het traditionele scenario is toe te wijden aan dit bouwstroomtype.	
7. Materieel	Bijvoorbeeld bouwmachines, bouwkransen en steigers. Circa 10% van de ritten in het traditionele scenario is toe te wijden aan dit bouwstroomtype.	
8. Personeel	Vervoer van personeel van en naar de bouwplaats.	

De ZE kraanwagen, met eigen haakarm ten behoeve van laden en lossen van lading, kan worden ingezet voor bouwstromen: 2. *Ruwbouw Groot*, 3. *Ruwbouw Ladingdragers*, 5. *Afbouw* en 7. *Materieel*. De ZE stentrekker is primair bedoeld voor transport van bestratingsproducten op pallets, zoals: tegels, straatstenen, etc. Vanwege de combinatie trekker-oplegger, zijn er voor de ZE trekker wel meer mogelijke inzetvormen, ook buiten de bouwsector. De ZE stentrekker kan ook worden ingezet voor bouwstromen 2. *Ruwbouw Groot*, 3. *Ruwbouw Ladingdragers*, 5. *Afbouw* en 7. *Materieel*., waarbij rekening moet worden gehouden met externe kraancapaciteit voor laden en lossen van de lading.

⁴ TNO. (2020). Outlook Bouwlogistiek: Scenario's voor reductie van vervoersbewegingen en CO₂-uitstoot in de stad voor (grootschalige) nieuwbouwprojecten in 2030. Delft: Topsector Logistiek.

In de Outlook Bouwlogistiek worden ook verschillende logistieke structuren geschetst voor de bouwlogistiek, namelijk:

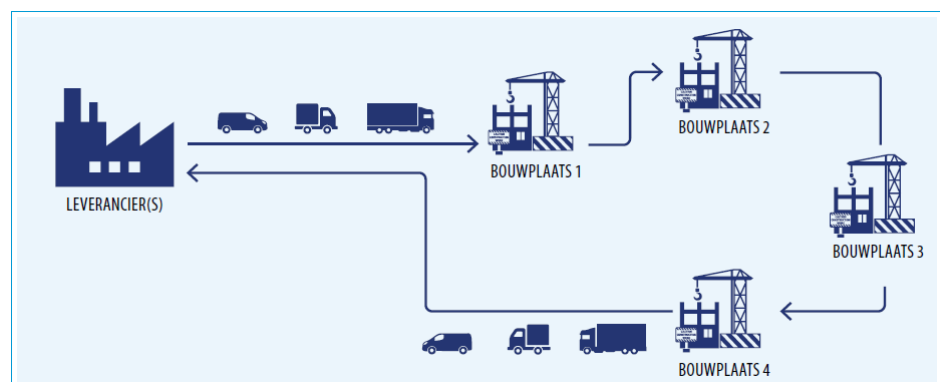
1. **“Punt-punt leveringen:** een volle lading (full-truckload; FTL) van een vrachtwagen gaat frequent naar een specifieke locatie (of een beperkt aantal locaties). De logistiek is geoptimaliseerd en de locaties staan vast.
2. **Leveringen op verschillende locaties:** een volle vrachtwagen doet meerdere locaties in de stad aan, waarbij meerdere deelladingen worden geleverd (less than truckload; LTL). Logistiek is niet altijd geoptimaliseerd, omdat er sprake is van tijdvensters en beperkt ruimte op en rond de bouwplaats waardoor er in enkele gevallen ‘onnodige’ kilometers worden gereden met halfllege vrachtwagens.
3. **Diverse kleine leveringen:** kleine tot zeer kleine leveringen die divers van aard en frequent zijn. Deze kunnen op afroep op alle mogelijke locaties geleverd worden. Naast deze kenmerken van leveringen, gaat het hier vaak niet om logistieke optimalisatie maar om serviceniveau.
4. Een vierde categorie betreft **niet direct leveringen** zoals bij andere logistieke structuren, maar genereert wel commerciële vervoersbewegingen. Het gaat vooral om **diensten** waarvoor vaak een bestelwagen wordt gebruikt om werkzaamheden bij particulieren of bedrijven uit te voeren (bijv. schilders, loodgieters, monteurs).”

Voor de bouwstromen 2 (Ruwbouw Groot), 3 (Ruwbouw Ladingdragers) en 7 (Materieel) is logistieke structuur 1 (punt-punt leveringen) van toepassing (directe ritten), zie Figuur 3.



Figuur 3: Logistieke structuur 1: punt-punt leveringen (directe ritten).
Bron: Outlook Bouwlogistiek, 2020.

Voor bouwstroom 5 (Afbouw) is logistieke structuur 2 (Onregelmatige leveringen op verschillende locaties) van toepassing. Dit kunnen bijvoorbeeld rondritten langs meerdere locaties zijn, zie Figuur 4.

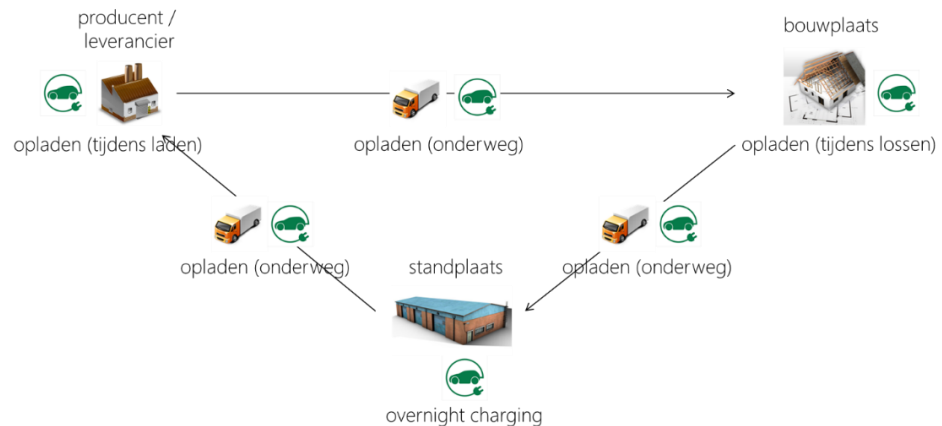


Figuur 4: Logistieke structuur 2. Onregelmatige leveringen op verschillende locaties (rondritten).
Bron: Outlook Bouwlogistiek, 2020.

Uitgaande van deze logistieke structuren worden vervolgens verschillende vormen van de inzet van zero-emissie vrachtwagens met mogelijkheden tot bijladen gedurende de inzet op verschillende locaties uitgewerkt.

3.1.1 Logistieke structuur: punt-punt leveringen (directe ritten)

De verschillende mogelijkheden tot inzet en opladen gedurende de operatie bij punt-punt leveringen (directe ritten) worden in Figuur 5 schematisch weergegeven en vervolgens nader toegelicht.



Figuur 5: Inzet van zero-emissie vrachtwagens bij punt-punt leveringen (directe ritten).

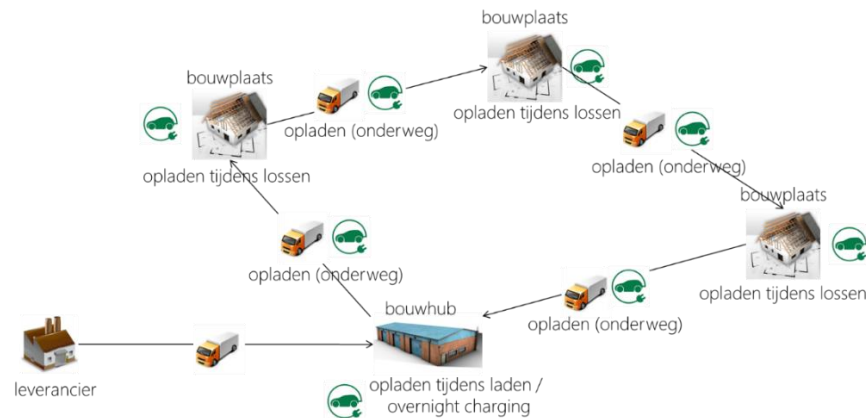
Bij de inzet van de zero-emissie zware vrachtwagens voor punt-punt leveringen (directe ritten) is sprake van een transportrit vanaf de standplaats van de vrachtwagen bij een logistiek dienstverlener of transporteur naar de producent / leverancier van de bouwmaterialen (herkomst) en vervolgens naar de bouwplaats (bestemming) om ten slotte weer terug te keren naar de standplaats. Op de standplaats vindt 'overnight charging' plaats in de nacht. Ook als de vrachtwagen niet wordt ingezet en op de standplaats staat, wordt er meestal meteen opgeladen tot 100% SOC. Afhankelijk van de mogelijkheden tot opladen tijdens de operatie (onderweg, bij laden, bij lossen) kan de actieradius van de zero-emissie vrachtwagen worden verlengd. In de praktijk komt dit neer op een theoretische actieradius tussen 100 km (zonder tussentijds opladen) en maximaal 400 km (met tussentijds opladen en een werkdag van 9 uur). Bij tussentijds opladen gaat het meestal om snelladen bij publieke oplaadpunten of via mobiele snellaadunits. Bij de maximaal haalbare actieradius is in dit geval uitgegaan van een schema waarbij driekeer tussentijds met een snellader wordt bijgeladen van 20% tot 100% (duur 60 minuten) en een gemiddelde snelheid van 66 km/uur (zie Tabel 2). Zoals eerder reeds vermeld zijn de mogelijkheden tot tussentijds opladen onderweg of op een bouwplaats op dit moment echter nog heel beperkt. In de analyse van de praktijkdemonstraties worden de daadwerkelijke prestaties voor de inzet van de zero-emissie vrachtwagens voor deze logistieke structuur geëvalueerd.

Tabel 2: Laadschema bij theoretisch maximale actieradius.

Activiteit	Gem. snelheid (km / uur)	Energie-verschil (SOC)	Afstand (km)	Duur (min)
Rijden	66	-80%	100	90
Opladen		+80%		60
Rijden	66	-80%	100	90
Opladen		+80%		60
Rijden	66	-80%	100	90
Opladen		+80%		60
Rijden	66	-80%	100	90
				540

3.1.2 Logistieke structuur: leveringen op verschillende locaties (rondritten)

De verschillende mogelijkheden tot inzet en opladen gedurende de operatie bij leveringen op verschillende locaties (rondritten) worden in Figuur 6 schematisch weergegeven en vervolgens nader toegelicht.



Figuur 6: Inzet van zero-emissie vrachtwagens bij leveringen op verschillende locaties (rondritten).

In de logistieke structuur van leveringen op verschillende locaties kan een ontkoppelpunt (bouwhub of groothandel) helpen om de logistiek efficiënter te organiseren, waar leveringen van bouwmaterialen van verschillende leveranciers aan één of meerdere bouwlocaties worden gebundeld. Gemakshalve is in het schema van Figuur 6 ervan uitgegaan dat de standplaats van de zero-emissie vrachtwagens in dit geval de bouwhub is. Leveringen vanaf producenten / leveranciers aan de bouwhub worden nu nog met conventionele voertuigen uitgevoerd. De inzet van de zero-emissie vrachtwagens is voor het gebundeld vervoer van de bouwmaterialen vanaf de bouwhub in een rondrit naar één of meerdere bouwplaatsen. Op de standplaats / bouwhub kan worden opgeladen tijdens het laden van de vrachtwagen of als de vrachtwagen niet wordt ingezet. Daarnaast vindt op de bouwhub 'overnight charging' plaats in de nacht. In de huidige situatie is de actieradius van ZE vrachtwagens in combinatie met beperkte mogelijkheden voor tussentijds opladen onderweg of op een bouwplaats nog beperkend voor de inzet. In de praktijkdemonstraties gaan we, gegeven deze beperkingen, op zoek naar manieren om de inzet van ZE vrachtauto's voor het transport van zware (bouw)materialen wél mogelijk te maken.

4 Monitoring praktijkdemonstratie

4.1 Voorbereiding: opzet monitoringsplan en datacollectie

In de voorbereiding op de inzet van de ZE vrachtauto's is door TNO een voorstel gedaan voor een monitoringsplan (bijlage A). De prestaties van de ZE vrachtauto's worden continue automatisch vastgelegd vanuit de voertuigsystemen en in het dashboard van ViriCiti beschikbaar gesteld voor analyse. Een overzicht van de parameters die in het dashboard van ViriCiti worden weergegeven zijn in Bijlage B te vinden. In deze parameters ontbreken de gegevens van de transportopdracht betreffende de te vervoeren lading, die wel relevant zijn voor de prestaties. Voor de ZE kraanwagen wordt de te vervoeren lading opgevraagd bij de vervoerder (Vlot Logistics) en periodiek aangeleverd via een Excel-formulier. De template van het Excel invulformulier is weergegeven in Bijlage C.

4.2 Analyse praktijkdemonstraties

Om een beeld te verkrijgen van de praktijkinzet van de ZE kraanwagen en ZE stenentrekker heeft TNO aan de hand van interviews ervaringen van de gebruikers van het voertuig opgehaald. Het gaat om interviews met Vlot Logistics, MDB, H.N. Post en Zonen, PLUS Retail en Struyk Verwo Infra. Daarbij is gesproken met zowel planners als chauffeurs van de ZE vrachtwagens. Daarnaast heeft TNO een data-analyse uitgevoerd op de monitoringgegevens die zijn opgeslagen in het monitoringsysteem ViriCiti. Dit systeem geeft onder andere inzicht in het energiegebruik (kWh) van het voertuig en afgelegde afstanden. Op basis van de interviews enerzijds en de data-analyse anderzijds formuleert TNO in dit rapport de eerste ervaringen van de impact van het gebruik van ZE voertuigen op de operationele dagelijkse inzet in de bouw en in andere sectoren.

In de analyse van de praktijkdemonstraties ligt de focus met name op de mate waarin verschillende factoren van invloed zijn op het energiegebruik van de ZE vrachtauto's en daarmee ook de actieradius. Voor een deel speelt bijvoorbeeld het rijgedrag van de chauffeur een rol, maar ook verschillende andere factoren, zoals: belading, rijnsnelheid, wegtype (snelweg versus binnenstedelijk), rijden met of zonder aanhangwagen en temperatuur. Een ander belangrijk aandachtspunt in deze analyse is op welke manier de actieradius invloed heeft op de inzet van de ZE kraanwagen en ZE stenentrekker en welke factoren of andere logistieke concepten positief kunnen bijdragen aan een versnelde inzet van zero-emissie voertuigen in de bouwsector.

4.2.1 *Analyse van demonstratie ZE kraanwagen*

De ZE kraanwagen is op 22 mei 2020 geleverd door leverancier Emoss en Van der Velden aan gebruiker Vlot Logistics. In de week van 25 mei 2020 zijn de eerste operationele testen met de ZE kraanwagen van start gegaan. De eerste inzet is voor ERA Contour Nieuw Crooswijk voor de afvoer van steigermaterieel van de bouwplaats naar de Materieeldienst in Bergambacht (MDB). Sinds mei 2021 wordt de ZE kraanwagen voor twee dagen per week structureel ingezet door Vlot Logistics in opdracht van MDB.

De ZE kraanwagen wordt veel ingezet met aanhangwagens (combi = trekker + aanhangwagens) aangezien daarmee een grotere laadcapaciteit kan worden gerealiseerd (max. 21 ton). Met de aanhangwagens is het eigen gewicht van de combi hoger en wordt er doorgaans ook meer lading vervoerd, waardoor het energiegebruik vanwege het extra gewicht ook hoger is. De aanhangwagens is tijdens het project ingezet zonder de beoogde integraal te koppelen aanhangwagens met een mobiele power unit (batterijpakket) die gebruikt kan worden om de actieradius van de ZE kraanwagen te verlengen. De ontwikkeling van de beoogde power unit van de aanhangwagens heeft enkele uitdagingen gekend (standaardisatie elektrische koppeling met ZE kraanwagen en RDW goedkeuring) die tot vertraging in de oplevering hebben geleid. Gedurende de looptijd van het project zijn deze niet opgelost. De oplevering van de aanhangwagens met power unit wordt eind van het project (juni 2022) verwacht. Het effect van de inzet van de aanhangwagens met power unit op met name het bereik van de ZE kraanwagen zijn dan ook niet meegenomen in de analyse van de prestaties.



Figuur 7: De ZE kraanwagen met aanhanger. Bron: bigtruck.nl

Tabel 3 toont de kenmerken van de ZE kraanwagen en de aanhanger.

Tabel 3: Gegevens voertuig ZE kraanwagen.

Voertuig		Aanhangwagen		Samenstel	
Leverancier	Emoss	Leverancier	Emoss	GVW	50.000 kg
Vervoerder	VLOT Logistics	Vervoerder	VLOT Logistics	Eigen gewicht	29.000 kg
Kenteken	15-BHP-4	Kenteken	27-WV-XX	Laadcapaciteit	21.000 kg
Merk (type)	EMS 2628 / GVW 26T	Merk (type)	AV-2800 LUT		
Ombouw (type)	MAN TGS 6x2	GVW	28.000 kg	Laadkraan	
GVW	29.000 kg	Eigen gewicht	8.000 kg	Leverancier	HIAB
Eigen gewicht	21.000 kg	Laadcapaciteit	20.000 kg	Type	HIAB X-HIPRO 408 E-8
Laadcapaciteit	8.000 kg			Hefvermogen	344 kNm
Engine power	350 kW				
Batterijcapaciteit	280 kWh				
Actieradius	150 km				

Het gebruik van de ZE kraanwagen wordt continu gemonitord door het registreren van verschillende parameters in een dashboard door ViriCiti. Dit dashboard bevat data betreffende de prestaties van de kraanwagen sinds de oplevering van de ZE kraanwagen (zie bijlage B). Wat niet automatisch wordt vastgelegd is: waarvoor de ZE kraanwagen wordt ingezet, de transportopdrachten en het te vervoeren/verplaatsen gewicht van de lading. Dit zijn echter wel belangrijke gegevens ten aanzien van het energiegebruik tijdens het rijden. Om deze informatie toch mee te nemen in de analyse van de prestaties van de ZE kraanwagen is (gedurende een beperkte tijd tijdens de monitoringsperiode) een proces opgezet voor de planners/gebruikers van het voertuig, waarbij zij regelmatig (eind van dag/week) de gewenste gegevens betreffende de transportopdrachten handmatig invoeren in een door TNO opgesteld format (zie bijlage C). Hierdoor kan (zij het in beperkte mate) ook de mate waarin het energiegebruik, en daarmee de actieradius, van de ZE kraanwagen wordt beïnvloed door het getransporteerde gewicht worden meegenomen in de analyse.



Figuur 8: De ZE kraanwagen met aanhanger. Bron: Vlot Logistics.

Naast een analyse op de voertuig-technische aspecten vanuit de data zoals vastgelegd in ViriCiti, is ook gekeken naar de operationele inzet en de prestaties van de ZE kraanwagen aan de hand van interviews. De interviews gaan in op de ervaringen van de planners en de chauffeurs met de ZE kraanwagen en de reacties op de ZE kraanwagen van buitenaf. Daarbij wordt aandacht besteed aan de invloed van het rijgedrag op de actieradius, de inzet van de kraan en de invloed van het opladen op de inzet. Vanuit planningsperspectief wordt voornamelijk gekeken naar de mogelijkheden en beperkingen vanuit de actieradius op de inzetbaarheid van de ZE kraanwagen.

De interviews zijn afgenomen met planners en chauffeurs van Vlot Logistics en MDB. Er zijn twee vaste chauffeurs van de ZE kraanwagen bij Vlot Logistics en deze rijden ook voor MDB. MDB heeft een raamcontract met Vlot Logistics voor de inzet voor twee dagen per week en doet zelf de planning van de inzet voor deze twee dagen. Bij Vlot Logistics is gesproken met de directeur en planner. Bij MDB is gesproken met de bedrijfsleider en het hoofd Voorraad en Logistiek.

4.2.1.1 *Mate van invloed van verschillende factoren op technische prestatie*

Doordat de actieradius van invloed kan zijn op de inzet van de ZE kraanwagen zal aan de hand van een analyse op de data vanuit het ViriCiti-dashboard meer inzicht worden gegeven in welke factoren de praktisch bruikbare actieradius het meest

beïnvloeden. Er wordt gekeken naar de volgende factoren: belading, wegtype, kraangebruik, rijgedrag en temperatuur.

Belading

Op basis van de handmatig aangeleverde informatie over de te vervoeren lading en met name het te vervoeren gewicht van de lading, is een analyse uitgevoerd over de transportopdrachten gedurende de maanden september en oktober 2020⁵. De beschikbaar gestelde gegevens geven een schatting van het te vervoeren gewicht en kunnen met enig puzzelwerk worden gekoppeld met de data uit het ViriCiti-dashboord betreffende de prestaties tijdens het rijden. De bruikbare metingen die hieruit komen staan gepresenteerd in Tabel 4 (september) en Tabel 5 (oktober).

Tabel 4: Verschillende metingen van energiegebruik tijdens rijden gerelateerd aan beladingsgraad in september 2020.

	Energie voor rijden (kWh)	Tijd (uur)	Afstand (km)	Gemiddelde snelheid (km/u)	kWh/uur	kWh/km
Totaal/gemiddeld	2400,96	32,56	1224,17	37,60	73,74	1,96
Geen lading	1793,51	25,53	960,85	37,64	70,24	1,87
8 ton	65,87	0,80	41,91	52,39	82,34	1,57
10 ton	8,34	0,25	4,21	16,84	33,34	1,98
18 ton	39,72	0,47	15,58	33,15	85,11	2,55
20 ton	131,34	1,28	55,19	43,12	102,35	2,38
21 ton	361,56	4,23	146,24	34,57	85,41	2,47

Tabel 5: Verschillende metingen van energiegebruik tijdens rijden gerelateerd aan beladingsgraad in oktober 2020.

	Energie voor rijden (kWh)	Tijd (uur)	Afstand (km)	kWh/uur	kWh/km
Totaal/gemiddeld	1131,39	14,42	553,49	78,48	2,04
Geen lading	590,20	8,40	308,45	70,26	1,91
3 ton	94,36	1,08	67,21	87,10	1,40
8 ton	62,50	0,62	35,51	101,46	1,76
15 ton	83,21	1,00	32,69	83,21	2,55
20 ton	301,12	3,32	109,64	90,79	2,75

Uit de bovenstaande tabellen is duidelijk te zien dat het gemiddeld energiegebruik over het algemeen toeneemt bij een hogere beladingsgraad. Bij geen lading is het energiegebruik per uur nagenoeg op hetzelfde niveau voor september en oktober. Bij toenemend gewicht is er, behalve een nagenoeg stijgende trend, nog geen logisch verband te herleiden.

⁵ Vanwege de beschikbaarheid van de informatie over de belading is deze analyse niet over de gehele monitoringsperiode uitgevoerd.

Dit komt door een combinatie van de volgende twee zaken, namelijk:

- andere factoren spelen eveneens een rol, zoals: met of zonder aanhangwagen rijden en op de snelweg of in de binnenstad rijden;
- er zijn meer metingen (datapunten) nodig om voldoende basis te hebben voor een betrouwbaar beeld van het energiegebruik bij toenemend gewicht van de lading.

In de gehouden interviews wordt weliswaar bevestigd dat het gewicht van de lading op het energiegebruik een grote invloed heeft, maar wordt de mate waarin dit het energiegebruik beïnvloedt ook niet duidelijk. Wel is zeker dát het geladen gewicht een aanzienlijke invloed heeft op het energiegebruik, maar het is dus nog lastig te duiden in welke mate en hoe dit zich verhoudt tot andere relevante factoren. In het scenario dat het voertuig volgeladen is (280 kWh) en geen lading meedraagt is de ZE kraanwagen ongeveer voor 3,2 uur of 119 km in te zetten (uitgaande van terugkeer bij oplaadpunt wanneer de resterende accuduur nog 20% is). Bij een belading van meer dan 15 ton is dit grofweg 81 km – 95 km of 2,2 uur – 2,7 uur. Op basis van de bovenstaande gegevens betekent dat een prestatieverlies van ongeveer 16% - 32%. Let op, de mate waarin het prestatieverlies is toe te wijden aan de belading is niet heel nauwkeurig uit de data af te leiden.

Wegtype

Naast de hoeveelheid belading is ook het wegtype waarop wordt gereden gedurende een rit een belangrijke factor die van invloed is op de actieradius. Een analyse van de data uit het ViriCiti-dashboard wijst uit dat het energiegebruik op het hoofdwegennet (snelweg) hoger is dan in de binnenstad.

Hierin spelen twee aspecten een rol:

1. In het geval dat de ZE kraanwagen de binnenstad in moet, wordt de aanhangwagen meestal niet ingezet door de moeilijke manoeuvreerbaarheid met aanhangwagen op de smalle wegen in de binnenstad. Vanwege het lagere gewicht ligt het energiegebruik in de binnenstad daarom meestal lager.
2. Een ander aspect dat het energiegebruik beïnvloedt is de rijsnelheid. Op het hoofdwegennet wordt een hogere gemiddelde rijsnelheid gerealiseerd, waarbij er door een hogere luchtweerstand een hoger energiegebruik optreedt. De fabrikant heeft bevestigd dat de ZE kraanwagen boven de 65km/uur een hoger energiegebruik kent door verminderde aerodynamica. In de stad zijn er bovendien vaker mogelijkheden voor regeneratie tijdens het afremmen.

Tabel 4 laat tevens het energiegebruik zien bij verschillende manieren van inzet (belading en snelheid) van het voertuig. Het energiegebruik (kWh/uur) is over het algemeen oplopend bij een hogere lading, met uitzondering van de ritten met een lading van 10 ton en 21 ton. Een mogelijke verklaring hiervoor is de lagere gemiddelde snelheid bij deze ritten. In de rit met een belading van 10 ton ligt de gemiddelde gereden snelheid beduidend lager dan tijdens de andere ritten. Dit kan erop wijzen dat deze rit voornamelijk heeft plaatsgevonden in stedelijke gebieden. Dit verklaart mogelijk ook het verschil in energiegebruik bij de rit met 20 ton lading en de rit met 21 ton lading.

Zoals eerder genoemd bij de analyse van het effect van de belading op het energiegebruik is ook hier de analyse gebaseerd op slechts een beperkt aantal meetpunten. Voor een betrouwbaarder beeld over de invloed van de gemiddelde snelheid en de belading op het energiegebruik van de kraanwagen zijn meer meetpunten nodig.

Kraangebruik

Bij het gebruik van de kraan op het voertuig wordt ook energie gebruikt. In tegenstelling tot het effect van de belading en het wegtype op de mate van energiegebruik, is het energiegebruik van de inzet van de kraan nagenoeg stabiel. De manier waarop de kraan wordt gebruikt door verschillende chauffeurs is hierin nauwelijks van invloed. Chauffeurs proberen de wagen zo dicht mogelijk bij de op te pakken lading of het lospunt te zetten aangezien het wel uitmaakt als de kraan verder moet reiken, maar dit is vergelijkbaar met een diesel-aangedreven kraan. Uit een analyse van de data uit het dashboard van ViriCiti blijkt dat het energiegebruik rond de 15 kWh/uur ligt (zie Tabel 6).

Voor de planning van de ZE kraanwagen wordt er rekening gehouden met de inzet van de kraan in combinatie met de afstand die afgelegd moet worden, omdat de afstand van grotere invloed op het energiegebruik is dan de inzet van de kraan.

Tabel 6: Energiegebruik van de kraan van de ZE kraanwagen.

Jaar	Maand	Energiegebruik (kWh)	Tijd (uur)	kWh/uur
2020	Jul	230,41	15,68	14,69
	Aug	201,93	13,93	14,49
	Sep	386,00	25,75	14,99
	Okt	217,02	13,35	16,26
	Nov	330,34	21,43	15,41
	Dec	206,83	12,53	16,50
2021	Jan	42,11	2,90	14,52
	Feb	72,36	4,38	16,51
	Mrt	233,19	15,03	15,51

Rijgedrag

Zowel uit de data (dashboard ViriCiti) als uit de interviews blijkt dat er sprake is van een steile leercurve ten aanzien van rijgedrag bij de chauffeurs. In de eerste maanden van gebruik werd er steeds zuiniger gereden met de ZE kraanwagen door het voertuig op de motor te laten remmen en niet te snel op te trekken. Ook deden de chauffeurs ervaring op met de afstand die nodig is voordat het voertuig tot stilstand komt bij het loslaten van het pedaal. Dit verschilt namelijk voor elk van de zes verschillende standen waar het voertuig over beschikt. De zes verschillende standen hebben invloed op de mate van regeneratie van het voertuig bij het loslaten van het pedaal. Na enkele maanden bleek het leereffect er nagenoeg uit. In Tabel 7 is te zien dat het gemiddeld energiegebruik (ratio kWh per km) in de eerste maanden daalt en vervolgens redelijk stabiel blijft rond de 1,9 kWh/km. Het gemiddelde verbruik komt neer op 2,13 kWh/km.

Tabel 7: Prestaties rijgedag ZE kraanwagen.

Maand	Energie tijdens rijden (kWh)	Afstand (km)	Gereden tijd (uren)	Ratio (kWh/km)	Ratio (kWh/uur)
Mei, 2020	931,79	282,85	7,36	3,29	126,60
Jun, 2020	4015,84	1401,44	34,25	2,87	117,25
Jul, 2020	2983,98	1465,86	33,56	2,04	88,91
Aug, 2020	739,69	379,52	12,48	1,95	59,27
Sept, 2020	2400,96	1224,17	32,56	1,96	73,74
Okt, 2020	1131,39	553,49	14,41	2,04	78,51
Nov, 2020	1813,89	1034,03	24,1	1,75	75,27
Dec, 2020	955,74	503,63	12,86	1,90	74,32
Jan, 2021	363,14	190,67	4,51	1,90	80,52
Feb, 2021	513,05	282,81	6,55	1,81	78,33
Mrt, 2021	2738,95	1387,20	32,35	1,97	84,67

Temperatuur

Een andere bekende factor van invloed op het energiegebruik is de buitentemperatuur. Het verschil in energiegebruik onder verschillende temperaturen is vanuit de data nog niet goed te duiden. In het begin tijdens de warmere maanden werd de aanhangwagen nog ad-hoc gebruikt en moesten de chauffeurs nog leren om de ZE kraanwagen zo efficiënt mogelijk te besturen. Je ziet dus een hoger gebruik. Daarna stabiliseert dit in de koudere maanden. Een nadrukkelijk verschil in energiegebruik als gevolg van de buitentemperatuur is nog niet aan te tonen. Dit komt mede door de vele factoren die van invloed zijn op het energiegebruik tijdens rijden. Uit de interviews blijkt bijvoorbeeld dat het energiegebruik verminderd kan worden door ander energiegebruik van de systemen in de auto, zoals de airco of de verwarming, uit te zetten. Dit wordt geregeld toegepast door de chauffeurs indien de resterende batterijcapaciteit tot een hachelijk niveau daalt voor het bereiken van de bestemming.

Operationele inzet

De inzet van de ZE variant van de kraanwagen verandert de operationele inzet van het voertuig ten opzichte van een conventionele variant. Op korte afstanden zijn de gebruikers erg enthousiast over de ZE kraanwagen. Bij het gebruik van de kraan, zoals bij het oppakken of wegzetten van lading, werkt de het voertuig op dezelfde manier als conventionele kraanwagens.

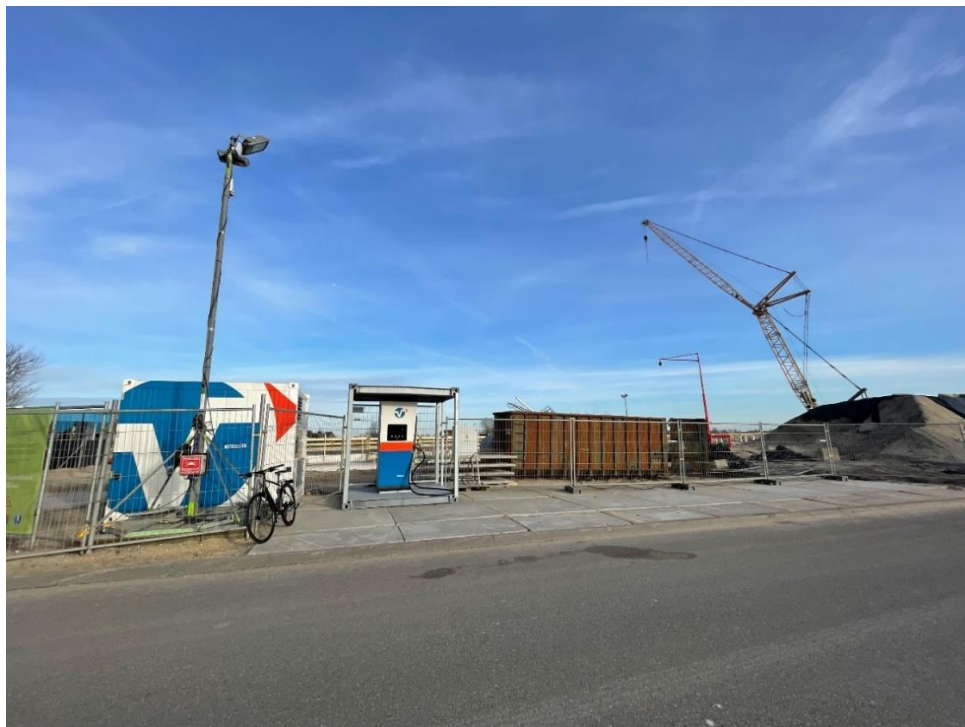
Als grootste uitdaging voor de inzet van de wagen wordt de actieradius genoemd. Om die reden wordt de kraanwagen momenteel alleen ingezet bij opdrachten binnen een range van maximaal 60 kilometer, zodat in de buurt kan worden gebleven van de snellaadstations. De afstand die moet worden gereden is dus een belangrijk aandachtspunt bij de planning. Er wordt ook rekening gehouden met de intensiviteit van opdrachten. Bij het plaatsen van grote units zal de kraanwagen namelijk de hele dag gebruikt moeten worden, waardoor de afhankelijkheid van snellaadpunten toeneemt.

Een ander onderdeel waar in de planning rekening mee moet worden gehouden is dat er tijd moet worden gereserveerd voor het bijladen van de accu van het voertuig. De ZE kraanwagen gaat 's avonds altijd in de oplader (overnight charger). Daarnaast wordt het voertuig bij terugkomst van een rit ook aangesloten aan de oplader. Als er een last-minute opdracht komt is in dat geval de kans zo groot mogelijk dat deze ook daadwerkelijk kan worden uitgevoerd met de beschikbare batterijcapaciteit.

Er zijn twee soorten laadpunten. Er is een gewoon laadpunt direct vanuit het energienetwerk, met een laadsnelheid (vermogen) van 44 kW, waarbij het gemiddeld 6,5 uur duurt om een (bijna) lege batterij weer volledig op te laden. Deze is bijvoorbeeld op de standplaats van de ZE kraanwagen bij de locatie van Vlot Logistics (Rotterdam Waalhaven/Charlois) beschikbaar. Hierbij wordt voornamelijk 'overnight charging' toegepast, zodat bij de start van de werkdag de batterij volledig opgeladen is. Daarnaast zijn er sinds april 2021 twee mobiele snellaadpunten beschikbaar met 300 kWh batterij-containers. De snelladers/batterij-containers vereisen een aansluiting op het energienetwerk van 63 A. Deze zijn op dit moment geplaatst bij MDB in Bergambacht en Plus in Hendrik-Ido-Ambacht. De mobiele snelladers hebben een hoge laadsnelheid van 150 kW, waarbij het gemiddeld 45 minuten tot een uur duurt om van 20% weer tot 80-100% bij te laden. De openbare elektrische laadpunten bij tankstations zijn nog vaak ontoegankelijk voor de ZE kraanwagen, als gevolg van het maximaal toegestane gewicht (7,5 ton) en/of een te lage overkapping van het laadpunt.

In de praktijk wordt gestreefd naar direct opladen van de batterij van de ZE kraanwagen tijdens het moment dat de kraanwagen niet in gebruik is, of gedurende de laad-/losmomenten op locaties waar een laadpunt beschikbaar is. Op de locatie bij MDB is het op dit moment vrij lastig om tijdens het laden en/of lossen van de kraanwagen gelijktijdig de batterij op te laden. Door de huidige locatie van het snellaadpunt op het terrein van MDB kan de kraanwagen maar vanaf één kant worden geladen. Dit is ook een van de eerste leerervaringen vanuit de praktijk en er wordt een betere locatie voorbereid op het terrein van MDB, waarbij het opladen gelijktijdig kan plaatsvinden met het laden/lossen van de kraanwagen (vanaf beide kanten).

Inmiddels is het mobiel snellaadpunt verplaatst van het terrein van MDB in Bergambacht naar een bouwlocatie met het oog op bijladen op de bouwlocatie. De bouwlocatie betreft een bouwproject van ERA Contour TBI in Nieuwerkerk aan den IJssel (zie Figuur 9). Hiermee wordt een bredere inzet van de ZE stenentrekker mogelijk voor het verplaatsen van bouwmaterialen vanaf verschillende leveranciers naar de bouwplaats met tussentijds opladen op de bouwplaats.



Figuur 9: Mobiel snellaadpunt van Vlot Logistics op locatie bij bouwproject van ERA Contour TBI.

4.2.1.2 Conclusie analyse ZE kraanwagen

De ZE kraanwagen wordt gedurende het eerste jaar van inzet steeds intensiever gebruikt. Voornamelijk op korte afstanden is men enthousiast over de ZE kraanwagen en is het gebruik ervan vrijwel niet anders dan bij een conventionele kraanwagen. Uit de data vanuit het ViriCiti-dashboard en de interviews met gebruikers en planner is voornamelijk de afstand die tijdens een rit wordt gereden bepalend voor de inzet.

De planning van de inzet van de ZE kraanwagen wordt voornamelijk bepaald door de resterende actieradius. De prestaties van het kraangebruik zelf is vrij constant en het effect daarvan op het energiegebruik is relatief beperkt en goed in te schatten. De afstand die wordt gereden tijdens een rit is van grotere invloed. Om deze reden wordt de ZE kraanwagen alleen voor opdrachten ingezet binnen een afstand van maximaal 60 kilometer en worden er nooit twee retourritten achter elkaar ingepland. Bij terugkeer na een rit wordt het voertuig echter altijd aangesloten aan de oplader, waardoor er bij last-minute opdrachten soms wel een tweede opdracht kán worden uitgevoerd door de kraanwagen.

De mate waarin de gereden afstand invloed heeft op het energiegebruik en daarmee de actieradius hangt samen met verschillende factoren en is daardoor grilliger dan het energiegebruik van de kraan. Met name de belading van het voertuig en het wegtype (binnenstedelijk versus buitenstedelijk) spelen hierin een relevante rol. Ook dient rekening te worden gehouden met de buitentemperatuur, al waren er vanuit de data nog geen duidelijke conclusies te trekken over de invloed van de buitentemperatuur op het energiegebruik.

Een toename van het aantal oplaadpunten verspreid over de regio zou de inzet van de ZE kraanwagen aanzienlijk kunnen bevorderen en de planning vereenvoudigen.

Dit geldt voor zowel oplaadpunten langs de weg als bij terugkerende bestemmingen (locaties waar de ZE kraanwagen voor een lange termijn frequent komt). In het bijzonder voor de snellaadpunten met een korte laadtijd kan dit tot een aanzienlijke verhoging van de inzetbaarheid leiden, zodat de kraanwagen kan opladen met een snellader tijdens laad-/losmomenten. Het is dus noodzaak om een grote beschikbaarheid van (snel)laadpunten te hebben op strategische locaties, verspreid over de regio waar de ZE kraanwagen wordt ingezet. Met name bij bouwplaatsen of op bouwhubs waar regelmatig wordt geladen en gelost is de inzet van mobiele snelladers gewenst om tot een brede inzet van ZE zware vrachtwagens in de bouw te komen. Daarbij moet rekening worden gehouden met de totale energievraag op deze locaties (van bijvoorbeeld elektrisch materieel op de bouwplaats) en deze totale energiebehoefte moet vroegtijdig worden aangevraagd bij en afgestemd worden met de netbeheerder.

Op dit moment wordt ook gewerkt aan een uitbreiding (verdubbeling) van de batterijcapaciteit door het aanbrengen van een batterijpakket in de aanhanger. Daarmee wordt een verbetering verwacht van de actieradius en daarmee van de mogelijkheden tot inzet van de ZE kraanwagen. Door het gewicht van het additionele batterijpakket gaat dit wel ten koste van de laadcapaciteit vanwege de wettelijke limiet op het te vervoeren gewicht.

4.2.2 *Analyse van de demonstratie van de ZE stenentrekker*

De ZE stenentrekker is een initiatief van BREYTNER en H.N. Post en Zonen. Het voertuig is ontwikkeld door Emoss en heeft een actieradius van 150 kilometer.

Tabel 8: Informatie ZE stenentrekker

Kenteken	64-BRL-3
Type	EMOSS 5028
Max. massa	50 ton GCW
Eigen gewicht	9.400 kg
Laadvermogen	30 - 35 ton
Motorvermogen	350 kW
Batterij pakket	280 kWh
Actieradius, max. 50% lading	150 km

4.2.2.1 *Type activiteiten*

In VERZET wordt de trekker in meerdere logistieke activiteiten ingezet. In de bouw wordt het voertuig als stenentrekker ingezet voor het transport van de bestratingmaterialen voor Gemeente Rotterdam door Struyk Verwo Infra (SVI). SVI gebruikt de stenentrekker om straatstenen naar verschillende werken in gemeente Rotterdam te rijden. Dit heeft gedurende de monitoringperiode sporadisch plaatsgevonden (namelijk op zeven maandagen).

Op dinsdagen tijdens de monitoringperiode werd de trekker gebruikt voor het transport van containers in de haven van Rotterdam. Vanaf de verlader in het Botlekgebied wordt de ZE trekker gebruikt om containers naar een bargeterminal 7 kilometer verderop te rijden. Deze activiteiten worden uitgevoerd door een chauffeur van H.N. Post en Zonen.

In de avond wordt de ZE trekker ook nog door een tweede vervoerder, namelijk Huntsman, ingezet voor dezelfde verlader in het Botlekgebied.

Op dagen dat het voertuig niet wordt ingezet in de bouw of voor het transport van containers wordt de trekker gebruikt door PLUS Retail voor de distributie naar supermarkten.



Figuur 10: De zero-emissie stenen trekker van BREYTNER en H.N. Post en Zonen.
Bron: BREYTNER.

4.2.2.2 *Ervaringen uit de praktijk*

TNO heeft met verschillende partijen gesproken over de inzet van de ZE trekker en de ervaringen van de impact van het gebruik van een elektrische vrachtwagen op de dagelijkse operationele inzet. Er is gesproken met H.N. Post en Zonen, met stenenleverancier Struyk Verwo Infra en met PLUS Retail. Struyk Verwo Infra en PLUS Retail maken gebruik van de ZE trekker voor de uitvoering van hun operaties. H.N. Post en Zonen is als logistiek dienstverlener betrokken.

Daarnaast is de data die is verzameld in ViriCiti geanalyseerd. De beschikbare data is omvangrijker dan voor de ZE kraanwagens in verband met hogere inzet van de ZE trekker. De analyse is voor de ZE trekker is echter wel beperkter in verband met gebrek aan gegevens over de belading en beperkte inzet voor (bouw)werkzaamheden met zware materialen. Dit is niet opgevraagd in verband met de arbeidsintensiviteit hiervan voor planner/gebruikers van het voertuig.

4.2.2.2.1 *Interviews*

Actieradius

Door de geïnterviewde partijen wordt aangegeven dat de actieradius geen beperkende factor vormt in het uitvoeren van de dagelijkse activiteiten. Belangrijke factoren die hierin meespelen zijn dat de actieradius goed aansluit op het type werkzaamheden, dat het afzetgebied dichtbij ligt en/of dat de inzetbaarheid van het voertuig planbaar is.

PLUS Retail voert dagelijks ongeveer drie distributieritten uit met de ZE trekker. Tijdens elke laad-losbeurt bij het distributiecentrum van PLUS wordt de accu van de trekker bijgeladen met een snellaadunit. De tijd die nodig is voor het opladen is vergelijkbaar met de tijd van het laden/lossen, waardoor er vrijwel geen tijdsverlies is en er geen grote aanpassingen in de planning hoeven te worden gedaan. Alleen bij het plannen van de ritcombinaties wordt rekening gehouden met de actieradius en de tijd voor laden.

Voor de geplande werkzaamheden van SVI voor Gemeente Rotterdam was de actieradius geen beperkende factor. SVI kon op dagbasis vijf ritten maken met 30 ton lading binnen regio Rotterdam, waarbij het voertuig tussentijds in 1,5 uur opgeladen werd bij een publiek snellaadpunt in Rotterdam. SVI benadrukt wel dat een dichtbijgelegen afzetgebied belangrijk is en ervaarde het als een uitdaging om de ZE stenentrekker op dezelfde dag voor andere klanten in te zetten indien er relatief weinig vrachten nodig waren voor de Gemeente Rotterdam. SVI geeft daarom aan dat de inzet van de ZE stenentrekker makkelijker is bij voldoende en planbare vrachten. Meerdere afnemers en flexibiliteit in leveringsfrequenties zouden kunnen helpen om dat te bereiken.

Laden

De ZE trekker werd tijdens de monitoringperiode geladen op het terrein van H.N. Post & Zonen aan een lader van 139 kW tijdens de nacht, bij een mobiele snellaadunit bij PLUS en bij publieke snellaadpunten. Op basis van de ervaringen van de gebruikers heeft het voertuig ongeveer 45 – 90 minuten nodig om tot 85%-90% op te laden. De kraan (los object) heeft een aparte batterij van 74 kWh welke toereikend is voor de werkzaamheden.

De beschikbaarheid van laadlocaties is nog beperkt en vormt een uitdaging. Er kan niet met alle merken laders worden geladen en niet elk publiek oplaadpunt is toegankelijk voor zware voertuigen of de trailer moet eerst worden afgekoppeld. Daarnaast zijn publieke oplaadpunten niet altijd beschikbaar. Bij de inzet van de ZE trekker is daar rekening mee gehouden en werd er alleen bij de activiteiten van SVI opgeladen bij een derde partij.

De geïnterviewde partijen geven verder aan dat er af en toe storingen optreden bij de laadunits doordat de communicatie tussen de laadunit en de trekker niet altijd goed werkt. Indien dit probleem optrad werd soms gebruik gemaakt van een dieseltrekker om alsnog de geplande activiteiten te kunnen uitvoeren.

4.2.2.2 Analyse monitoringgegevens

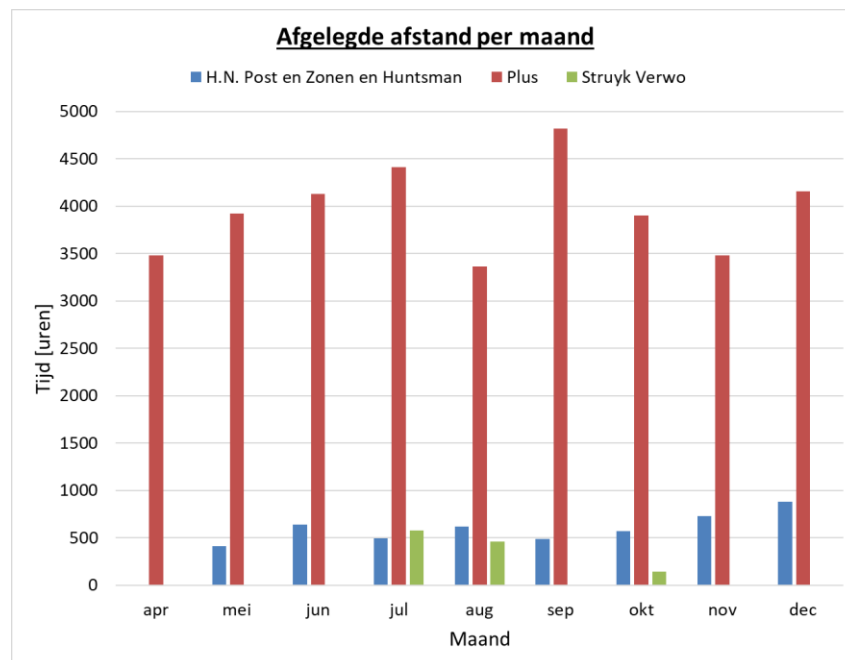
In de periode april 2021 – december 2021 is de ZE trekker maandelijks voor gemiddeld 4.630 kilometer ingezet. Dit is aanzienlijk meer dan de inzet van de ZE kraanwagen (gemiddeld 790 kilometer per maand). Het energiegebruik van de ZE trekker wisselt tussen 1,49 en 1,70 kWh per kilometer met een gemiddelde van 1,58 kWh/km.

Tabel 9: Inzet van de ZE stenentrekker en gemiddeld energiegebruik.

Maand	Totaal energiegebruik [kWh]	Gereden afstand [km]	Gereden tijd [uur]	ratio [kWh/km]	ratio [kWh/uur]
April, 2021	5897,72	3477,28	75,78	1,70	77,82
Mei, 2021	7077,01	4332,38	91,15	1,63	77,64
Jun, 2021	7460,54	4767,22	103,17	1,56	72,32
Jul, 2021	8700,04	5484,52	114,83	1,59	75,76
Aug, 2021	6760,58	4437,94	91,77	1,52	73,67
Sept, 2021	7983,19	5303,63	111,17	1,51	71,81
Okt, 2021	7079,88	4612,24	98,35	1,54	71,99
Nov, 2021	6273,77	4209,44	83,97	1,49	74,72
Dec, 2021	8303,08	5033,13	97,50	1,65	85,16

TNO weet op basis van interviews op welke dagen de trekker voor welke activiteiten werd ingezet.

Figuur 11 laat zien hoe de verdeling van de inzet was over de verschillende activiteiten per maand. De ZE trekker is voornamelijk ingezet door Plus.



Figuur 11: Gereden afstand per maand per activiteit

Mate van invloed van verschillende factoren op technische prestatie

In tegenstelling tot de analyse van de inzet van de ZE kraanwagen is er voor de ZE stenentrekker geen extra informatie beschikbaar met betrekking tot het geladen gewicht. Om die reden wordt er in deze analyse niet ingegaan op het effect van de belading op het energiegebruik.

Doordat de belading niet bekend is bij TNO, terwijl dit mogelijk wel een belangrijk effect heeft op het gemiddeld energiegebruik van de ZE (stenen)trekker, kunnen er geen duidelijke conclusies worden getrokken ten aanzien van het effect van andere factoren naast belading (bijvoorbeeld temperatuur, rijgedrag, gemiddelde snelheid/wegtype) op het energiegebruik.

4.2.2.3 *Conclusie*

De ZE (stenen)trekker is vaker en constanter ingezet dan de ZE kraanwagen. Echter, terwijl de ZE kraanwagen volledig voor bouwactiviteiten is ingezet, is de ZE trekker beperkt ingezet in de bouw. Het voertuig is wel ingezet in andere logistieke segmenten. De lessen vanuit de prestaties van het voertuig en de impact op het logistieke operatie zijn echter nog steeds relevant voor de bouwsector doordat de logistieke structuren (zie Hoofdstuk 3) van de gemonitorde activiteiten in andere logistieke segmenten, namelijk punt-punt leveringen en leveringen op verschillende locaties (rondritten), ook in de bouw voorkomen.

Uit de analyse volgt dat de ervaringen met de ZE trekker over het algemeen zeer positief zijn en dat de actieradius nauwelijks beperking vormde voor de uitvoering van de dagelijkse activiteiten. Er waren geen grote aanpassingen in de planning nodig. Wel zijn er van tevoren type werkzaamheden of afzetlocaties gezocht die goed aansluiten bij de actieradius van het voertuig. Dit heeft ervoor gezorgd dat de ZE trekker veelvuldig kon worden ingezet. Net als bij de ZE kraanwagen wordt het gebrek aan (geschikte) laadlocaties door de gebruikers van het voertuig wel als uitdaging genoemd voor verdere opschaling van de inzet van ZE zware vrachtauto's, zoals de inzet bij langere ritten of ritten die vooraf minder planbaar zijn.

5 Total Cost of Ownership (TCO)

Met behulp van het Panteia TCO-model⁶ voor elektrische trucks heeft TNO berekend hoeveel het bezit en gebruik van de twee typen elektrische vrachtauto's de eindgebruiker kost en hoe dit zich verhoudt tot vergelijkbare dieselvarianten.

De totale jaarlijkse kosten van een truck bestaan uit meerdere componenten.

In deze analyse zijn de volgende kostenposten opgenomen:

- **Jaarlijkse afschrijving:** De jaarlijkse afschrijving bestaat uit de totale aanschafkosten van het voertuig en het accupakket min de restwaarde en (eventuele) subsidies verdeeld over de afschrijvingsperiode. De afschrijvingsperiode, of economische levensduur, van het voertuig is in deze analyse aangenomen op 7 jaar. De benodigde inputgegevens voor het schatten van deze kostenpost zijn aangeleverd door de eindgebruikers op basis van de daadwerkelijk aanschafkosten en projectsubsidie en aannames voor levensduur en restwaarde.
- **Vaste voertuigkosten:** De vaste voertuigkosten bestaan uit belastingen, rente en de verzekering. Deze kosten zijn niet afhankelijk van gereden kilometers of ingezette uren. De benodigde inputgegevens voor het schatten van deze kostenpost zijn aangeleverd door de eindgebruikers op basis van de daadwerkelijk gemaakte kosten.
- **Chauffeurskosten:** De totale chauffeurskosten zijn afhankelijk van het totale aantal uren dat het voertuig wordt ingezet. De benodigde inputgegevens voor het schatten van deze kostenpost zijn aangeleverd door de eindgebruikers op basis van de daadwerkelijk gemaakte uren.
- **Onderhoud, banden en reparaties:** Een vast bedrag per jaar voor onderhoud, banden en reparaties. De benodigde inputgegevens voor het schatten van deze kostenpost zijn aangeleverd door de eindgebruikers op basis van ervaringen met conventionele voertuigen en aannames voor de ZE-varianten.
- **Energiekosten:** Het energiegebruik per kilometer in combinatie met de dieselprijs, AdBlue, elektriciteitsprijs en de jaarlijks gereden afstand resulteren in de totale energiekosten van het voertuig. De benodigde inputgegevens voor het schatten van deze kostenpost zijn aangeleverd door de eindgebruikers op basis van het huidige contract met de energieleverancier en de geraamde kosten voor installatie en gebruik van de oplaadinfrastructuur (vaste aansluitingen en mobiele snelladers). De kosten hiervan zitten verwerkt in de energieprijzen.
- **Overhead:** De overhead bestaat onder andere uit loonkosten en huisvesting. De benodigde inputgegevens voor het schatten van deze kostenpost komen voort uit het Panteia model en bestaan uit geraamde percentages van overige kostenposten.
- **Energieopslagsystemen:** De kosten van het losse accupakket voor de snellaadsystemen bestaan uit een vaste afschrijvingscomponent voor aanschaf. De benodigde inputgegevens voor het schatten van deze kostenpost zijn aangeleverd door de eindgebruikers op basis van de daadwerkelijke aanschafkosten en aannames voor levensduur en restwaarde.

⁶ <https://topsectorlogistiek.nl/tco-vracht/>

5.1 Invoerparameters en scenario's

De mate van inzet (in kilometers en uren) van de gemonitorde voertuigen bepaalt de hoogte van de kosten wanneer deze worden uitgedrukt in euro per kilometer of euro per uur. Dit komt door verschillende vaste kostenposten die niet inzet-afhankelijk zijn, zoals de afschrijvingskosten, overhead, belastingen en verzekeringen. Om dat effect inzichtelijk te maken is naast het daadwerkelijke inzet-scenario ook de TCO berekend voor een scenario waarin de voertuigen zouden zijn ingezet zoals beoogd (optimale inzet voor de bouw).

De twee TCO-scenario's zijn als volgt gedefinieerd:

- Scenario 1: "Zoals ingezet"
- Scenario 2: "Beoogde / optimale inzet in de bouw".

De inzet in kilometers en uren in scenario 1 is bepaald op basis van monitoring van de kraanwagen in de periode mei 2020 t/m maart 2021 en van de stenentrekker in de periode april 2021 t/m december 2021. Dit is inclusief de eerste twee maanden van ingebruikname, waarin een effect op energieverbruik zichtbaar is door het leereffect van chauffeurs. Voor het elektriciteitsverbruik is in alle scenario's gerekend met het gemiddelde verbruik in kWh/km, zoals gemeten tijdens de gemonitorde periode. De overige input voor de TCO, inclusief de inzet in scenario 2, is gebaseerd op aangeleverde informatie van de eindgebruikers (Vlot Logistics en BREYTNER). Voor de TCO-berekening zelf en keuzes en aannames die daarmee gepaard gaan, baseert TNO zich volledig op het Panteia TCO-model.

In scenario 1 is de ZE trekker ook voor werkzaamheden anders dan bouwlogistiek ingezet, zoals voor supermarktdistributie. Scenario 2 berekent de TCO daarentegen op basis van de beoogde inzet in de bouw. Omdat wordt aangenomen dat bij bouwactiviteiten meer complexiteit komt kijken is het kilometrage van de ZE trekker in scenario 2 lager dan in scenario 1.

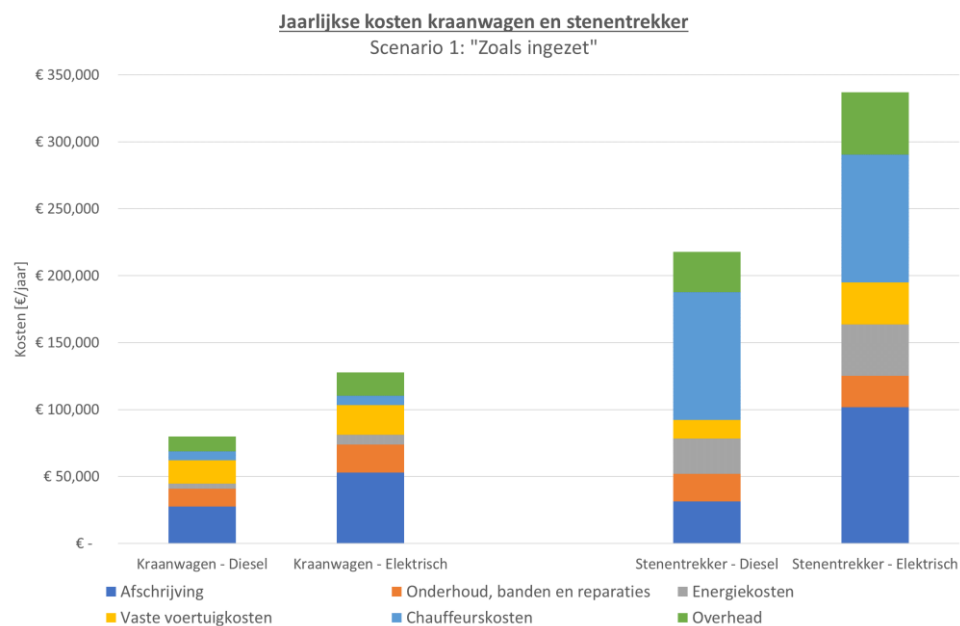
Tabel 10: Scenariodefinities voor de TCO-berekeningen op basis van aangedragen informatie vanuit eindgebruikers Vlot Logistics en BREYTNER.

Voertuig	Parameter	Eenheid	Scenario 1	Scenario 2
Kraanwagen	Kilometers	km/jaar	9.500	25.000
	Inzet	uur/jaar	235	1.840
	Elektriciteitsverbruik	kWh/km	2,13	2,13
	Diesilverbruik	liter/km	0,30	0,30
Stenentrekker	Kilometers	km/jaar	55.600	35.250
	Inzet	uur/jaar	3.356	1.880
	Elektriciteitsverbruik	kWh/km	1,58	1,58
	Diesilverbruik	liter/km	0,33	0,33
Algemeen	Dieselprijs	€/liter	1,27	1,27
	Elektriciteitsprijs depot	€/kWh	0,29	0,29
	Elektriciteitsprijs publiek	€/kWh	0,48	0,48

5.1.1 TCO-resultaten zoals gemonitord

De TCO-berekeningen zijn voor zowel de stenentrekker als de kraanwagen gemaakt, waarbij de kosten zijn berekend voor de elektrische trucks en dieselvarianten. Daaruit volgt dat de totale kosten van de elektrische trucks in het

gemonitorde scenario (scenario 1) op dit moment 55% - 65% hoger zijn dan de kosten van de dieselvarianten, zoals ook te zien is in Figuur 12. De extra kosten komen voornamelijk uit de extra voertuigafschrijving en de hogere energiekosten (inclusief de kosten van de benodigde oplaadsystemen). In de afschrijvingskosten is ook de afschrijving van het mobiele energieopslagsysteem (accupakket) van de mobiele snellaadunit meegenomen. Het accupakket wordt in deze TCO nu volledig toegerekend aan deze ZE voertuigen, maar in praktijk zal de benuttingsgraad hoger zijn doordat de mobiele snellaadunit (en daarmee ook het accupakket) wordt gedeeld met andere voertuigen. Datzelfde geldt voor de kosten van de oplaadsystemen die in de energiekosten zijn verwerkt.



Figuur 12: Kosten per jaar. Vergelijking tussen de diesel- en elektrische voertuigen gebaseerd op de gemiddelde jaarlijkse inzet tijdens de monitoringsperiode.

De totale kosten kunnen worden uitgedrukt in kosten per uur of kosten per kilometer, dit is weergegeven in Tabel 11. De kosten in Tabel 11 zijn gebaseerd op de inzet van de elektrische trucks zoals is waargenomen in de monitoringsperiode.

Tabel 11: Kosten per uur van de elektrische voertuigen ten opzichte van dieseltrucks bij inzet vergelijkbaar met monitoringsperiode.

Voertuigen	Eenheid	Diesel	Uitstootvrij
Kraanwagen	k€/jaar	79,9	127,8
	€/km	8,4	13,5
	€/uur	339,8	543,8
Stenentrekker	k€/jaar	217,8	337,0
	€/km	3,9	6,1
	€/uur	64,9	100,4

5.1.1.1 Energiekosten

De kosten van het elektriciteitsgebruik van de ZE trucks liggen bij dezelfde inzet hoger dan de brandstofkosten van dieselvoertuigen in scenario 1. Dit komt mede door de relatief hoge elektriciteitsprijs en opzichte van de dieselprijs, als gevolg van

het opnemen van de kosten voor laadinfrastructuur in de energieprijis. Voor de ZE kraanwagens zijn de kosten van elektriciteitsgebruik bijna twee keer zo hoog als de brandstofkosten van de dieselvariant. Bij de ZE stenentrekker is dit ongeveer anderhalf keer zoveel, dit is het gevolg van een lager energiegebruik tijdens de inzetperiode.

5.1.1.2 *Onderhoudskosten en reparaties*

Voor de onderhoudskosten en reparaties is op basis van aangeleverde input van de eindgebruikers een vaste kostenpost per jaar aangehouden. Dit is een inschatting op basis van ervaringen met vergelijkbare inzet en onderhoud van de dieselvarianten. In onderstaande tabel worden de aannames ten aanzien van de onderhoudskosten getoond (zie Tabel 12).

Tabel 12: Geraamde onderhoudskosten per voertuigtype en kostenpost per jaar.

Voertuigen	Kostenpost	Diesel (onderhoud/jaar)	Uitstootvrij (onderhoud/jaar)
Kraanwagen	Voertuig	€ 7.200,-	€ 15.000,-
	Kraan	€ 5.000,-	€ 5.000,-
Stenentrekker	Voertuig	€ 15.000,-	€ 15.000,-
	Kraan	€ 500,-	€ 500,-

De kraan van de kraanwagen is een stuk zwaarder dan van de stenentrekker en dit is terug te zien in de geraamde onderhoudskosten, zowel bij de diesel als de uitstootvrije variant. Het onderhoud aan de dieseltrekker van de kraanwagen is een stuk goedkoper dan van de dieselvariant van de stenentrekker.

De monitoringsperiode tijdens deze proeftuin is te kort om een compleet beeld te krijgen van de benodigde reparatie- en onderhoudskosten. Dit is onder andere omdat binnen één jaar eventuele lange termijn-problemen nog niet opspelen en onderhoud- en reparatiekosten vaak wat meer verspreid over de jaren vallen. Bovendien gaat het hier om een eerste inzet van nieuw-ontworpen trucks en moet er in de testfase in verhoogde mate nog rekening worden gehouden met uitval en extra onderhoud⁷. De hoogte van onderhoud- en reparatiekosten kan om deze redenen nog niet voldoende worden geëvalueerd en als zodanig worden meegenomen in de TCO. Uit eerdere studies⁸ blijkt wel dat de onderhoud- en reparatiekosten van elektrische voertuigen aanzienlijk minder kunnen zijn dan voertuigen met een verbrandingsmotor. Dit komt doordat de motor van conventionele voertuigen uit veel meer onderdelen bestaat die kunnen slijten.

5.1.2 *Scenario-analyse*

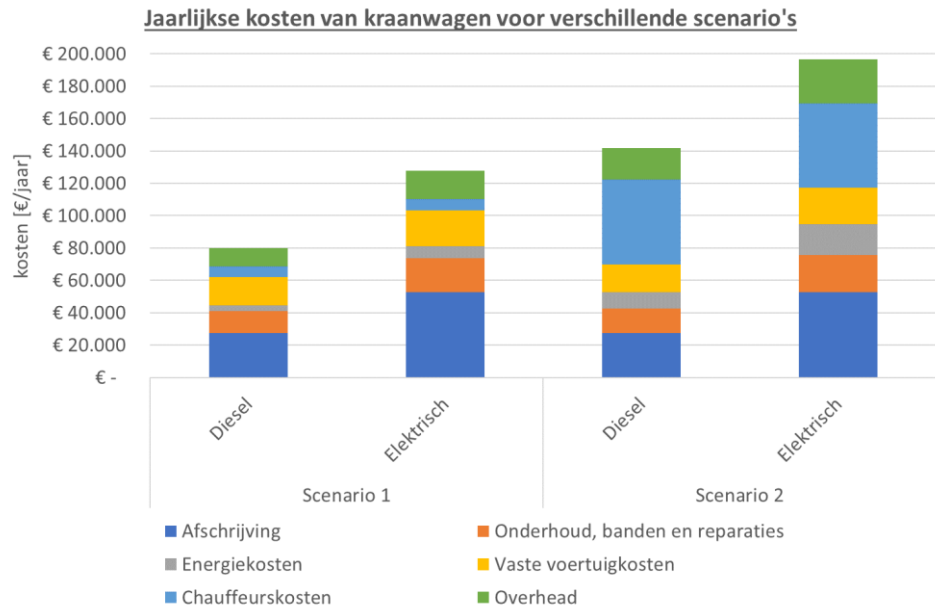
De beperkte inzet van de ZE kraanwagen heeft een verhogend effect op de kosten. De grote mate van inzet van ZE stenentrekker in andere toepassingen dan de bouw maakt de berekende TCO niet representatief voor specifieke inzet in de bouw. Daarom zijn de TCO's ook berekend voor een scenario waarin de voertuigen optimaal voor de bouw worden ingezet (vergelijkbaar met de inzet van dieselvoertuigen in de bouw).

⁷ https://www.ing.nl/media/ING_EBZ_tijdperk_zero-emissie-voor-trucks-breekt-aan_tcm162-180450.pdf

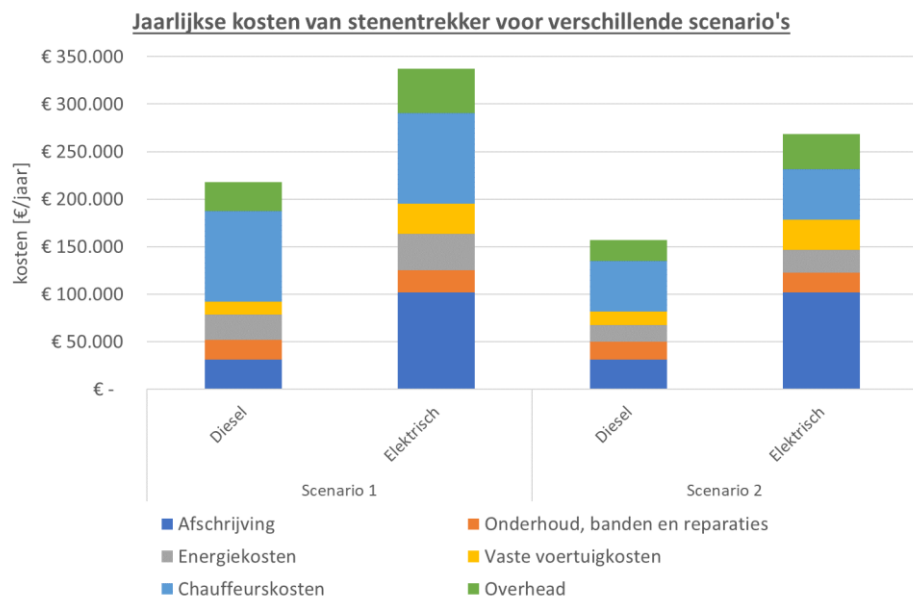
⁸ Zie onder andere: https://mijn.bovag.nl/downloads/onderzoek-cijfers/rapport-bovag-onderzoek-effect-ev-op-aftersales/bovag_ev_trucks-en-bussen_rapportage_15-april-2019VMS%20 en <https://theicct.org/sites/default/files/NL-TCO-BETs-Europe-fact-sheet-v2-nov21.pdf>

In Figuur 13 en Figuur 14 zijn de resultaten voor de alternatieve scenario's uitgezet naast het gemonitorde scenario. De totale kosten van de ZE kraanwagen stijgen, vanwege de hogere inzet en dus hogere energiekosten, bandenkosten, chauffeurskosten en overheadkosten.

De ZE stenentrekker heeft bij de optimale inzet in de bouw een lagere inzet dan is gemonitord tijdens de proeftuin (wegens inzet in andere logistieke toepassingen dan bouw), daardoor zijn de totale jaarlijkse kosten lager.



Figuur 13: TCO-resultaten voor de diesel- en elektrische kraanwagen in scenario 1 en 2.



Figuur 14: TCO-resultaten voor de diesel- en elektrische stenentrekker in scenario 1 en 2.

Wanneer de kosten wederom worden uitgedrukt in euro's per kilometer of euro's per uur (Tabel 13), dan komt naar voren dat de elektrische voertuigen bij optimale inzet nog steeds duurder in gebruik zijn dan hun dieselvarianten. De kosten per kilometer en de kosten per uur nemen voor de kraanwagen echter wel af. Dit geldt niet voor de kosten van de ZE stenentrekker, omdat deze bij volledige inzet voor de bouw per jaar minder kilometers maakt dan bij de inzet zoals het geval was gedurende de proef.

Voor de kraanwagen nemen in scenario 2 de kosten per kilometer met circa 40% af en nemen de kosten per uur zelfs met circa 80% af. Relatief gezien nemen de kosten van de elektrische voertuigen als gevolg van optimalere inzet ook sneller af dan die van de dieselvoertuigen.

Tabel 13: Kosten per uur van de elektrische voertuigen ten opzichte van dieseltrucks in scenario 1 (inzet vergelijkbaar met monitoringsperiode) en scenario 2 (optimale inzet in de bouw).

		Scenario 1		Scenario 2	
		Diesel	ZE	Diesel	ZE
Kraanwagen	k€/jaar	79,9	127,8	141,9	196,6
	€/km	8,4	13,5	5,7	7,9
	€/uur	339,8	543,8	77,1	106,9
Stenentrekker	k€/jaar	218,0	337,0	156,8	268,6
	€/km	3,9	6,1	4,5	7,6
	€/uur	64,9	100,4	83,4	142,9

De elektrische voertuigen zijn in beide scenario's duurder in gebruik dan de dieselvoertuigen bij de aangenomen inputvariabelen, inzet en energieprijzen. Relatief gezien zijn de ZE stenentrekker en de ZE kraanwagen circa 40%-70% duurder dan een vergelijkbare dieselvariant.

Tabel 14: Relatieve kosten zero-emissie voertuigen ten opzichte van de dieselvariant.

	Scenario 1	Scenario 2
Kraanwagen	160%	140%
Stenentrekker	155%	170%

5.1.3 Conclusie TCO-uitkomsten

De TCO-berekeningen laten zien dat met de inputgegevens van de scenario's, zoals samengevat in Tabel 10, de TCO's van de ZE voertuigen 40%-70% (afhankelijk van type voertuig) hoger zijn dan van de dieselvarianten. Een kanttekening daarbij is dat de kosten van het losse accupakket van de snellaadunits zijn meegenomen in de afschrijving en daarmee volledig worden toegewezen aan de voertuigen in deze TCO. In de praktijk zullen ook andere voertuigen gebruikmaken van de laadinfrastructuur waardoor de bezetting stijgt en deze kostencomponent in de TCO daalt. Dat geldt ook voor het mobiele opslagsysteem van de mobiele snellaadunit.

Bovendien is de verwachting dat de aanschafkosten van ZE trucks zullen afnemen zodra massaproductie gaat plaatsvinden. Ook wordt verwacht dat de onderhouds- en reparatiekosten van elektrische voertuigen lager worden dan van conventionele voertuigen.

De TCO van ZE trucks ligt in de berekende scenario's nog aanzienlijk hoger dan de TCO van dieseltrucks. Bovenstaande kanttekeningen en verwachte ontwikkelingen in acht nemend, zal de TCO van ZE trucks naar verwachting dalen en dichterbij de TCO van dieseltrucks toegroeien. Tot die tijd is de betalingsbereidheid voor zero-emissie voertuigen een belangrijk aspect. Dit kan bijvoorbeeld gestimuleerd worden door subsidies of het stellen van duurzaamheidseisen bij aanbestedingen of contracten gekoppeld aan kortingen/bonussen bij de inzet van zero-emissie transport.

6 Conclusie

De ervaringen die zijn opgehaald door middel van interviews, de analyse van de gegevens die de voertuigen opslaan tijdens gebruik en de TCO-analyse, leiden tot de volgende inzichten:

- Over het algemeen geldt dat de actieradius van de gemonitorde voertuigen geen beperking vormde voor het uitvoeren van logistieke activiteiten. Met name tijdens de inzet van de ZE trekker waren er nauwelijks aanpassingen in de traditionele planning nodig. De typen werkzaamheden sloten goed aan bij de actieradius van de ZE trekker (meerdere korte ritten met mogelijkheden voor tussentijds snelladen). In het geval van de inzet door Plus werden er bijvoorbeeld gedurende de dag meerdere distributeritten gedaan, waarbij het voertuig tijdens het laden/lossen op het DC kon opladen.
- De praktijkervaringen laten zien dat met beperkte extra inspanning (beter plannen van activiteiten) de elektrische trucks goed kunnen worden ingezet voor de gekozen logistieke toepassingen. Het ging bij alle toepassingen om meerdere korte ritten op een dag met verschillende laadstrategieën:
 - op het distributiecentrum met een mobiele snellaadunit tijdens het laden/lossen;
 - bij een publiek oplaadpunt via een snellader tijdens de pauze van de chauffeur.
- Uit de interviews volgde wel dat het nog als uitdaging werd ervaren om de ZE trucks voor spontane / niet-planbare activiteiten in te zetten, wegens onzekerheid over de actieradius / toegang tot geschikte (snel-)laadpunten onderweg.
- Een toename van het aantal oplaadpunten verspreid over de regio zou de inzet van de elektrische trucks, ook bij langere ritten, aanzienlijk kunnen bevorderen door meer mogelijkheden voor tussentijds snelladen en de planning vereenvoudigen. Het is dus noodzaak om een grote beschikbaarheid van (snel)laadpunten te hebben op strategische locaties, verspreid over de regio waar de elektrische truck wordt ingezet. Een belangrijke kanttekening is dat de kosten van de laadinfrastructuur een reden zijn waarom de energiekosten van de elektrische trucks hoger zijn dan van dieseltrucks. Daardoor worden er via het rijden van meer kilometers geen aanschafkosten terugverdiend. Dat effect wordt versterkt indien meer laadinfrastructuur leidt tot een lagere benutting ervan. Een toename van oplaadpunten bevordert de TCO dus alleen als er ook veel méér trucks in de regio komen.
- De kosten per uur / kilometer zijn op dit moment nog hoger voor de elektrische trucks ten opzichte van hun dieselvarianten. Op termijn wordt verwacht dat de aanschafprijs van elektrische trucks zal afnemen vanwege massaproductie. Ook wordt verwacht dat de onderhoudskosten aanzienlijk lager zullen worden dan de onderhoudskosten voor dieseltrucks. Dit is op basis van de resultaten uit dit project echter niet te verifiëren. Een toename van de bezetting van de laadinfrastructuur bij gebruik door meerdere elektrische trucks kan bovendien zorgen voor een reductie van de energiekosten.

De praktijkdemonstraties laten zien dat ZE transport in de bouwsector, ondanks de nog beperkte actieradius van de huidig beschikbare ZE trucks, ook op korte termijn al mogelijk is. Bij meerdere, korte ritten op een dag is de inzet van een ZE truck met beperkte inspanning te realiseren, zonder grote aanpassingen te hoeven maken in de operationele planning en uitvoering. De huidige inzet van de ZE zware vrachtwagens in de praktijkdemonstraties levert echter nog geen verbeterd inzicht in het onderhoud ten opzichte van de huidige dieselvarianten. Daarvoor is de periode van monitoring nog te kort en zijn de effecten van inleren in het rijgedrag en onderhoud en reparaties door 'kinderziektes' nog te groot. Belangrijke voorwaarden voor verdere opschaling van de inzet van ZE zware vrachtauto's (op ook langere ritten en ritten die vooraf minder planbaar zijn) is de beschikbaarheid van een voldoende dekkende laadinfrastructuur, die ook toegankelijk is voor zware vrachtauto's, onder andere zodat er meer vertrouwen wordt gecreëerd bij gebruikers over het kunnen afronden van de rit.

A Monitoringsplan

Voorafgaand aan de ingebruikname van de ZE-voertuigen in de eerste inzetperiode is een voorstel gedaan voor monitoring van de prestaties van de inzet op de volgende punten:

- Performance van ZE elektrische vrachtwagen en vrachtwagenkraan onder verschillende omstandigheden
 - Met of zonder lading (leeg - halfvol - vol)
 - Op snelweg - in binnenstad
 - Verschillend rijgedrag
 - Verschillende laad/los-uitvoering: 25%, 50%, 75%, 100% van laadkraancapaciteit
 - Bij verschillende scenario's die een volledige inzetcyclus / dag beschrijven, bijvoorbeeld:
 - Laden op hub
 - Vervoer 100% beladen van hub naar bouwplaats (range 15 km)
 - Lossen op bouwplaats / laden op bouwplaats
 - Vervoer 0% beladen van bouwplaats naar hub (range 15 km)
 - Opladen op hub
 - Volgende inzetcyclus
 - (eventueel meerdere inzetcycli)
 - Opladen overnacht
- Performance KPI's:
 - Verbruik batterijpakket
 - Bereik - range in km's vanuit uitgangspunten: 100%, 80%, 50% batterij tot 0%, 5%, 10% batterij
 - Rijtijden - laad/lostijden
- Performance van opladen
 - Bij verschillende oplaadpunten (snelladen, mobiel oplaadpunt, vast oplaadpunt, ...)
 - Onder verschillende omstandigheden:
 - Temperatuur batterij
 - Oplaadduur van batterij:
 - 0% -> 100%
 - 10% -> 100%
 - 10% -> 80%
 - 50% -> 100%
 - 50% -> 80%

Het is in de praktijk niet altijd mogelijk gebleken om alle bovenstaande gewenste prestatie indicatoren ook daadwerkelijk te monitoren. De indicatoren die zijn meegenomen in de analyse van de prestaties zijn: lading, wegtype, kraangebruik en rijgedrag.

B ViriCiti-parameters definities

De prestaties van de ZE-voertuigen worden continue automatisch vastgelegd vanuit de voertuigsystemen (CANBUS, ...) en in het dashboard van ViriCiti beschikbaar gesteld voor analyse. Hieronder volgt een overzicht van de parameters die in het dashboard van ViriCiti worden weergegeven.

In deze parameters ontbreken de gegevens van de transportopdracht betreffende de te vervoeren lading, die wel relevant zijn voor de prestaties van het voertuig. Deze worden voor de ZE-kraanwagen opgevraagd bij de vervoerder (Vlot Logistics) en periodiek aangeleverd via een Excel formulier. De template van het Excel invulformulier is weergegeven in Bijlage C.

Term	Definition
Charging	Vehicle has no positive speed or energy readings and is not idling.
CO ₂ produced	Particles produced = energy used * CO ₂ emissions per kWh (default value: 0.5925 kg/kWh) * percentage of non-renewable electricity used
CO ₂ saved	CO ₂ saved = distance driven * emissions per litre (default: 2.642 kg/l) * non-electric bus consumption rate (default: 35l / 100km)
Driving	Speed of the vehicle > 0km/h and time difference between two speed readings < 30 seconds
Fast-charging	Power from charger > 43kWh
Idling	Speed of vehicle <= 0km/h and power output is positive
In service	The time period in which the vehicle was either driving or idling for < 10 minutes
NO _x produced	NO _x produced = energy used * NO _x emissions per kWh (default value: 0 g/kWh) * percentage of non-renewable electricity used
NO _x saved	NO _x saved = distance driven * emissions per litre (default: 4.44 g /l) * non-electric bus consumption rate (default: 35l / 100km)
Particles produced	Particles produced = energy used * particle emissions per kWh (default value: 5*10 ⁻³ g/kWh) * percentage of non-renewable electricity used
Particles saved	Particles saved = distance driven * emissions per litre (default: 111*10 ⁻³ g/l) * non-electric bus consumption rate (default: 35l / 100km)
Regenerating Energy	Speed of vehicle was > 0km/h and power output is negative
Slow-charging	Power from charger < 43kWh
Remaining range	Calculated from 10 days of historic data. The vehicle must have driven at least 15km and used up at least 30% of its SOC for this day to be included in the calculations.

Performance

Parameter	Definition
Average speed	Total distance driven in selected time period / total time driven. Units: km/h or mi/h
CO ₂ net result	Calculated based on company emission settings. CO ₂ net result = CO ₂ produced - CO ₂ saved. Units: kg
Consumption driving	Total energy consumption while the vehicle was driving. Units: kWh
Consumption in service	Total energy consumption while the vehicle was in service. Units: kWh
Consumption overall	Total energy consumption while the vehicle was driving or idling. Units: kWh
Distance Driven	Difference between odometer readings of start and end of selected time period. Units: km/mi
ODO (end value)	End value of the odometer on a given day. Units: km/mi
NO _x net result	Calculated based on company emission settings. NO _x net result = NO _x produced - NO _x saved. Units: g
Number of fast charging sessions	Number of fast charging sessions over selected period of time. NOTE: This parameter will soon be removed and may return empty values.
Number of slow charging sessions	Number of slow charging sessions over selected period of time. NOTE: This parameter will soon be removed and may return empty values.
Particles net result	Calculated based on company emission settings. Particles net result = particles produced - particles saved. Units: g
Regeneration rate	Percentage of regenerated energy for a vehicle. (Energy regenerated driving / Energy consumed)*100

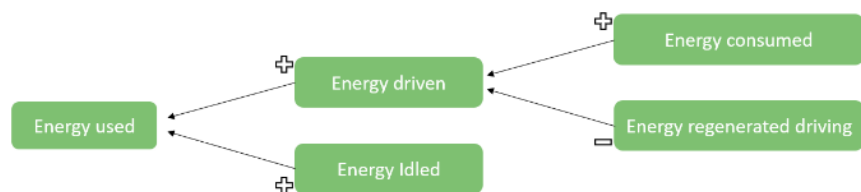
Time

Parameter	Definition
Time charging	Time the vehicle was charging. No positive speed or energy readings and no idling state
Time driving	Time the vehicle was driving
Time driving consuming	Time the vehicle was consuming energy. Vehicle must have been driving and energy output must have been positive
Time fast charging	Time the vehicle was fast charging and not idling, recovering or driving
Time idling	Time the vehicle was idling
Time in service	Total time the vehicle was driving or idling for less than 10 minutes
Time not in service	Total time the vehicle was not driving and idling for longer than 10 minutes
Time slow charging	Time the vehicle was fast charging and vehicle was not idling, recovering or driving)

Energy (kWh)

Parameter	Definition
Energy charged	Total energy charged while vehicle was in charging state
Energy consumed driving	Total energy consumed while vehicle was driving and energy was positive
Energy driven	Total energy consumed while vehicle was driving. Energy driven = energy consumed driving - energy regenerated driving
Energy gained fast charging	Total energy output while vehicle was fast charging
Energy gained slow charging	Total energy output while vehicle was slow charging
Energy idled	Total energy consumed while the vehicle was idling
Energy regenerated driving	Total energy regenerated while the vehicle was driving
Energy used	Total energy consumption while vehicle was driving or idling or if there was any positive power or speed reading. Energy used = energy driven + energy idled
Energy used in service	Total energy consumption while vehicle was driving or idling < 10 minutes. Energy used in service = energy driven + energy idled for less than 10 minutes.
Energy used not in service	Total energy consumption while vehicle was idling for > 10 minutes

This diagram illustrates how the different ViriCiti terms for energy consumption fit together.



State of charge*

*SOC can be replaced by fuel for Diesel, Hydrogen & CNG vehicles

Parameter	Definition
SOC charged	Percentage of the vehicle battery that was charged
SOC used	Percentage of the battery used by the vehicle - both in service and out of service. $SOC\ used = SOC\ in\ service - SOC\ not\ in\ service$
SOC used driving	Percentage of the battery used while the vehicle was driving. Regenerated energy is included in this calculation
SOC used idling	Percentage of the battery used while the vehicle was idling. Regenerated energy is included in this calculation
SOC used in service	Percentage of the battery used while the vehicle was in service
SOC used not in service	Percentage of the battery used while the vehicle was not in service

C Invulformulier ritregistratie ZE kraanwagen (Excel-template)

Vlot Logistics Specials		elektrische kraan								planning Ger								telf 06-53213906	
Ritlijst																			
RITNR:		vertrektijd:06.00										Kenteken:		15-BPH-4					
Chauffeur:												Datum:		1-sep					
Start locatie			Eind locatie			Aankomst		Duur		Activiteit		Batterij		Km stand		Toelichting			
Naam	Adres	Stad	Vertrek	Naam	Adres	Stad	Aankomst	Duur	Taak	begin%	eind %	begin	eind	soort lading en gewicht					
			6.00	condor	Duivenland	zoetermeer	7.00	1.00	rijden										
condor	Duivenland	zoetermeer	7.00	condor	Duivenland	zoetermeer	8.00	1.00	lossen	100	70	4500		lossen 8 ton steiger materiaal					
condor	Duivenland	zoetermeer	9.00	condor	de Jongweg	rotterdam	9.15	0.15	rijden	55	52	4575		aanhangwagen ophalen					
condor	de Jongweg	rotterdam	9.35	condor	de Jongweg	rotterdam	11.00	1.25	laden	48	40	4581		20 ton steiger materiaal					
condor	de Jongweg	rotterdam	11.15	condor	de Jongweg	rotterdam	13.15	2.00	elektrisch opladen	35	48	4586		bijladen tot 48%					
condor	de Jongweg	rotterdam		condor	voltaweg	delft			rijden										
condor	de Jongweg	rotterdam	13.50	condor	voltaweg	delft	14.30	0.40	lossen	29	28	4609		lossen 20 ton steiger materiaal					
condor	voltaweg	delft		condor	de Jongweg	rotterdam	15.30		rijden	14		4627		leeg					
Bijzonderheden:			totaal uren							KM-stand				4627					
			pauze											4500					
tussen door bijgeladen			Totaal:			9.5								Rittotaal 127					
Opmerkingen:																			
Truck problemen:																			