

DKTI Funda(ce)ment

Een analyse van de inzet van ZE zware vrachtwagens en ZE werktuigen in de bouw



TNO 2024 R11864 – 14 oktober 2024
DKTI Funda(ce)ment

Een analyse van de inzet van ZE zware vrachtwagens en ZE werktuigen in de bouw

Auteurs	S.A. (Siem) van Merriënboer, A. (Annette) Rondaij, M.J. (Michiel) Zult
Exemplaar nummer	2024-STL-RAP-100354868
Aantal pagina's	69 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	RVO
Projectnaam	DKTI - proeftuin ZE bouw - VLOT
Projectmanager	J. (Jannette) de Bes-van Staalduinen
Projectnummer	060.48857

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

De in dit rapport gebruikte foto's zijn aangeleverd door Vlot Smart Solutions B.V. en/of P. van der Velden Lease B.V. en zijn met hun toestemming in dit rapport opgenomen..

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de ervaringen opgedaan door TNO in het DKTI project Funda(ce)ment met de aanschaf, ontwikkeling en de inzet en gebruik van zero emissie (ZE) elektrische zware vrachtwagens en werktuigen in de bouw. Het project DKTI Funda(ce)ment is een door RVO gesubsidieerd project vanuit de DKTI editie 2021 regeling (Demonstratie Klimaat Technologieën en -Innovaties in transport, DKTI-transport¹). De doelstelling van het project is om in een realistische gebruikersomgeving aan te tonen in hoeverre zowel zero-emissie (ZE) bouwlogistiek als een zero-emissie (ZE) bouwplaats te verwezenlijken is ten aanzien van de inzet van ZE bouwvoertuigen, ZE bouwmachines en bijbehorende laadinfrastructuur. Daarbij wordt ook gekeken naar de totale levensduurkosten (Total Cost of Ownership, TCO) van deze systemen.

In het project zijn de volgende ZE voertuigen en ZE mobiele werktuigen ontwikkeld:

- ZE-truck met haakarmsysteem (DAF CF Electric FAN)
- Kleine (7 ton) ZE-truck met aanhangwagen (IVECO)
- ZE-betonmixertrailer (15m³) type 'Liebherr' (Wattsnew E-Box 100)
- ZE-betonmixertrailer (15m³) type 'Stetter' (Wattsnew E-Box 100)
- ZE-kiepertrailer

Daarnaast zijn de volgende ZE voertuigen, ZE mobiele werktuigen en bijbehorende mobiele laadinfrastructuur aangeschaft:

- 2x mobiele snelladers (Alfen, 300kW Lanova Hypercharger)
- 2x elektrische zware (50 ton) trucks (Volvo FM Electric)
- 2x elektrische verreiker (Faresin 6.26)
- 1x elektrische meeneemheftruck type Kooiaap (HIAB)

De rol van TNO binnen dit project is onderzoek uitvoeren naar geschikte zero emissie (ZE) vervoersconcepten voor bouwgerelateerde transportstromen en optimale inzet van ZE bouwvoertuigen, ZE bouwmachines en bijbehorende laadinfrastructuur. Monitoring van de inzet van de verschillende systemen (via telematica data) vervult daarbij een belangrijke rol als informatiebron. Als aanvulling hierop zijn de ervaringen van gebruikers en betrokkenen op basis van interviews verzameld. Daarnaast wordt op basis van de gemonitorde data een analyse gemaakt van de totale levensduurkosten (Total Cost of Ownership, TCO) van de ZE systemen daar waar mogelijk.

Het is in de praktijk erg lastig gebleken om de ZE voertuigen, ZE mobiele werktuigen en ZE laadinfrastructuur gemeenschappelijk ingezet te krijgen binnen een praktijkdemonstratie bouwproject, vanwege timing (de ZE systemen zijn op verschillende momenten in de loop van het project beschikbaar gekomen) en beschikbaarheid van een geschikt bouwproject. Uiteindelijk is gekozen om de ZE systemen afzonderlijk in te zetten daar waar mogelijkheden ontstonden. Voor de ZE 50-ton truck van Van der Velden heeft de inzet buiten de bouwsector plaatsgevonden, namelijk container transport.

¹ [Demonstratie klimaattechnologieën en -innovaties in transport \(DKTI-transport\) \(rvo.nl\)](https://www.rvo.nl/nieuws/2021/04/demonstratie-klimaattechnologie-en-innovaties-in-transport)

Daar waar sprake is geweest van daadwerkelijke inzet en monitoring van deze inzet binnen dit project, leveren de resultaten daarvan een positief beeld op ten aanzien van toepassing in de praktijkomgeving van de bouwsector. De inzet heeft plaatsgevonden conform de ontwikkelde ZE logistieke concepten voor de inzet van ZE voertuigen, ZE bouwmachines en bijbehorende laadinfrastructuur.

Voor de voornaamste typen transportritten in de bouwlogistieke keten (directe ritten en rondritten) zijn generieke ZE logistieke concepten gedefinieerd voor de inzet van ZE voertuigen en de mogelijkheden tot bijladen op basis van beschikbare locaties van laadinfrastructuur. Tevens zijn voor de inzet van ZE bouwmachines op de bouwplaats en de energievoorziening daarvan generieke ZE logistieke concepten gedefinieerd. Daarin zijn vier mogelijkheden tot energievoorziening gedefinieerd:

1. netaansluiting op de bouwplaats of transport van bouwmachine naar extern laadpunt voor bouwmachines met vaste accu's,
2. mobiele accucontainer op de bouwplaats met netaansluiting of transport van mobiele accucontainer naar extern laadpunt voor bouwmachines met vaste accu's,
3. mobiele waterstofcontainer met brandstofcel of waterstofaggregaat op de bouwplaats en transport van waterstofcontainer tussen leverancier en bouwplaats voor bouwmachines met vaste accu's, en
4. netaansluiting op de bouwplaats of transport van verwisselbare accu's naar extern laadpunt voor bouwmachines met verwisselbare accu's.

De 50-ton Volvo trucks bieden een groter bereik en betere energieprestaties dan de 50-ton trucks van 4 jaar gelden in het DKTi project VERZET met name door de grotere accucapaciteit (netto 369 kWh ten opzichte van 280 kWh). Dit komt in de praktijk neer op een verbetering op bereik van 80 tot 120 km/dag (VERZET, afhankelijk van belading) naar 240 km/dag (Fundament, na 240 km wordt er in de praktijk bijgeladen) zonder bijladen. Op energieverbruik is dit een verbetering van gemiddeld 213 kWh/100km (VERZET ZE kraanwagen) en 158 kWh/100km (VERZET ZE stenentrekker) naar 118 tot 144 kWh/100 km (Fundament Vlot Logistics truck, afhankelijk van inzetomstandigheden) en 110 kWh/100km (Fundament Van der Velde truck). Een inzetprofiel met langere ritten op constante snelheid is voordeliger voor het gemiddelde energieverbruik per kilometer ten opzichte van een inzetprofiel in een stedelijke omgeving met meer optrekken en remmen.

De TCO analyse van de 50-ton Volvo truck van Vlot Logistics voor inzet voor Stihl laat zien dat het verschil in totale levensduurkosten tussen een diesel truck en een elektrische variant nog maar zeer beperkt is (elektrische variant is 2% duurder per km dan de diesel op basis van inzet zoals gemonitord gedurende het project). Doordat de elektrische variant goedkoper is in gebruik en onderhoud wordt geadviseerd om zoveel mogelijk km's te maken, waardoor het omslagpunt binnen bereik komt (jaarkilometrage omslagpunt 62.000 km, huidig jaarkilometrage 54.000 km).

De betonmixertrailers type 'Stetter' en 'Liebherr' (15m³) zijn in accucapaciteit overgedimensioneerd (accucapaciteit is meer dan het maximaal dagverbruik) en kunnen zonder problemen functioneren als vervanging van een diesel variant betonmixertrailer onder de aanname dat 'overnight charging' altijd mogelijk is. Ondanks deze goede prestaties en inzetmogelijkheden is het in de praktijk zeer moeizaam gebleken de betonmixer trailers ingezet te krijgen. De les die we hieruit kunnen trekken is dat er sprake moet zijn van zeer hoge urgentie of een noodzakelijke voorwaarde om tot inzet in de bouw te komen.

De snellaadstations zijn ingezet op de depots van Van der Velden en Vlot Logistics en op een bouwplaats van Dura Vermeer. De snellader van Van der Velden stond op het depot van Van der Velden en had een openbaar karakter. Deze is gebruikt door elektrische auto's en trucks, waarbij een deel van de laadsessies op hoog vermogen zijn geweest. Voor de inzet van de snellader van Vlot Logistics op de bouwplaats van Dura Vermeer wordt het hoge vermogen van de snellader nauwelijks gebruikt, aangezien daar voornamelijk personenauto's van werknemers worden opgeladen gedurende de ochtend en middag. Daar ligt nog ruimte tot verhoogde inzet van laadinfrastructuur voor met name zero emissie mobiele werktuigen op de bouwplaats.

Al met al is een beeld ontstaan van een zeer conservatieve en behoudende bouwsector ten aanzien van de bereidheid om te experimenteren met het inzetten van nieuwe zero-emissie voertuigen, mobiele werktuigen en/of laadinfrastructuur. Dit kan een gevolg zijn van de meerkosten op de korte termijn voor de inhuur en inzet van deze systemen of het vermijden van risico's in een bouwsector die toch al onder druk staat door bijv. arbeidstekorten, hoge prijzen bouwmaterialen, stikstofcrisis. De indruk van de betrokken consortiumpartners is dat voor een brede toepassing en opschaling van de inzet van schone zero-emissie voertuigen, mobiele werktuigen en/of laadinfrastructuur in de bouwsector de urgentie en druk om dit ook daadwerkelijk te doen moet worden verhoogd. Dit vereist het afdwingen van de inzet van schone en bij voorkeur emissieloze voertuigen, mobiele werktuigen en bijbehorende laadinfrastructuur middels vergunningen, duurzame aanbestedingen en (lokale) regelgeving, zoals de zero-emissie zones door overheid en opdrachtgevers.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
1.1 DKTI Funda(ce)ment	7
1.2 Rolverdeling projectpartners	8
1.3 Leeswijzer	9
2 Aanpak activiteiten TNO	10
3 ZE logistieke concepten voor emissieloze bouw	12
3.1 Logistiek concept en logistieke grondvorm	12
3.2 ZE logistieke concepten bouwvoertuigen	13
3.3 ZE logistieke concepten bouwmachines	24
4 Monitoring	28
4.1 Voorbereiding van de monitoring	28
4.2 Analyse gebruik en inzet ZE-systemen in praktijkomgeving	29
4.3 Conclusies monitoring	44
5 Total Cost of Ownership	46
5.1 TCO resultaten	49
5.2 TCO conclusies	55
6 Conclusies en aanbevelingen	56
Ondertekening	58
Bijlagen	
Bijlage A: Monitoringsplannen	59
Bijlage B: Databronnen	64
Bijlage C: Interviewvragenlijsten	65

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de ervaringen opgedaan door TNO in het DKTI project Funda(ce)ment met de aanschaf, ontwikkeling en de inzet en gebruik van zero emissie (ZE), elektrische zware vrachtwagens en mobiele werktuigen in de bouw.

1.1 DKTI Funda(ce)ment

Het project DKTI Funda(ce)ment is een door Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO) gesubsidieerd project vanuit de DKTI editie 2021 regeling (Demonstratie Klimaat Technologieën en -Innovaties in transport, DKTI-transport²). Het project is een publiek-private-samenwerking (PPS) van de volgende projectpartners: Vlot Smart Solutions B.V., P. van der Velden Lease B.V., Emoss Mobile Systems B.V., TNO, Cementbouw B.V. en Dura Vermeer Bouw Zuid West B.V. Met het project willen de projectpartners aantonen dat de voertuigtechnologie klaar is voor de uitrol naar divers ZE-bouwvoertuigen en ZE-bouwmachines. Daarnaast willen de projectpartners overtuigend bewijs leveren dat door middel van nieuwe (slimme) bouwlogistieke concepten, de binnenstedelijke woningbouwopgave zero-emissie uitgevoerd kan worden. In Nederland is nog geen showcase voorhanden waaruit blijkt dat er op operationeel vlak en qua totale levensduurkosten (Total Cost of Ownership, TCO) op grote schaal elektrisch bouwmaterieel ingezet kan worden. Mogelijke oplossingen hiervoor zijn de inzet van mobiele snellaadinfrastructuur, het integreren van snelladen in de logistieke planning en de inzet van een bouwhub aan de rand van de Rotterdamse milieuzone. Om bovenstaande projectdoelen te realiseren, zijn de volgende activiteiten gedefinieerd met bijbehorende beoogde projectresultaten:

1. Ontwikkelen van een representatieve vloot aan ZE bouwlogistieke voertuigen: opstellen van technische specificaties, ontwikkelen en bouwen van full-scale prototypes en deze in de praktijk testen op inzetbaarheid. De resultaten van deze activiteit betreffen: de technische specificaties en de full-scale prototypes van de te ontwikkelen ZE-systemen. De ZE-systemen worden gebouwd en in de praktijk getest op operationele inzetbaarheid. De te ontwikkelen ZE-systemen betreffen:
 - ZE-truck met haakarmsysteem (DAF CF Electric FAN)
 - 7 ton ZE-truck met aanhangwagen (IVECO)
 - ZE-betonmixertrailer (15m³) type 'Liebherr' (Wattsnew E-Box 100)
 - ZE-betonmixertrailer (15m³) type 'Stetter' (Wattsnew E-Box 100)
 - ZE-kiepertrailer
2. Investeren in extra ZE bouwlogistieke voertuigen, ZE bouwmaterieel en mobiele snellaadinfrastructuur om aan de voorwaarde van een representatieve vloot te kunnen voldoen. Deze investering wordt tevens gebruikt om aan te tonen dat de ZE voertuigen grootschalig operationeel kunnen worden ingezet en om te voorkomen dat beperkte (snel)laadinfrastructuur voor ZE bouwmaterieel het project zal belemmeren in voortgang.

² [Demonstratie klimaattechnologieën en -innovaties in transport \(DKTI-transport\) \(rvo.nl\)](https://www.rvo.nl/nieuws/2021/04/demonstratie-klimaattechnologieen-en-innovaties-in-transport)

3. De aangeschafte ZE-systemen betreffen:
 - 2x mobiele snelladers (Alfen, 300kW Lanova Hypercharger)
 - 2x elektrische 50t trucks (Volvo FM Electric)
 - 2x elektrische verreiker (Faresin 6.26)
 - 1x elektrische meeneemheftruck type Kooiaap (HIAB)
4. De inzet en operaties van de ontwikkelde en aangeschafte ZE-systemen met bijbehorende mobiele laadinfrastructuur worden een jaar lang uitvoerig gemonitord in een praktijkdemonstratie op allerlei aspecten. De ingewonnen data uit de praktijkdemonstratie zal worden gebruikt voor een analyse van de inzetbaarheid door TNO.
5. Het actief delen van de projectresultaten door alle projectpartners met geïnteresseerde stakeholders om opschalings- en replicerbaarheidsmogelijkheden onder de aandacht te brengen en daarmee de transitie naar zero-emissie bouwlogistiek- en bouwplaatsen te bevorderen. Tastbare uitkomsten die uit dit resultaat voortkomen zijn publicaties en presentaties.

1.2 Rolverdeling projectpartners

TNO is een onafhankelijke onderzoeksorganisatie. TNO heeft binnen dit project als rol om onderzoek te doen naar geschikte Zero-Emissie (ZE) vervoersconcepten voor bouwgerelateerde transportstromen en optimale inzet van ZE bouwvoertuigen, ZE bouwmachines en bijbehorende laadinfrastructuur. Monitoring van de inzet van de verschillende systemen (via telematica data) vervult daarbij een belangrijke rol als informatiebron. Daarnaast wordt op basis van de gemonitorde data een analyse gemaakt van de totale levensduurkosten (Total Cost of Ownership, TCO) van de ZE systemen daar waar mogelijk.

Vlot Smart Solutions is onderdeel van Vlot Logistics en houdt zich bezig met het ontwikkelen en inzetten van innovaties in de bouwlogistiek. Binnen het consortium zal Vlot optreden als penvoerder en projectmanager. Vlot zal investeren in het diverse ZE-bouwmaterieel en derhalve een groot aandeel hebben in het uitvoeren van de innovaties en ontwikkelingen daarvan tijdens de praktijkdemonstratie. Tot slot is Vlot ook betrokken bij de ontwikkeling van de bouwhub in Rotterdam.

Van der Velden Lease is een partij die zich richt op lange en korte verhuur, onderhoud en export van bedrijfswagens. In dit project zal Van der Velden optreden als verhuurder van het ZE-bouwmaterieel en mobiele laadinfra. Zij zullen met hun kennis en ervaring de focus leggen op de ontwikkeling van de benodigde onderhoudsregimes van de zero-emissie voertuigen, waarbij het belang ligt bij de onderhoudsprocedures voor de gehele levensduur van deze machines.

Emoss ontwerpt, ontwikkelt, produceert en test innovatieve aandrijflijnen voor elektrische voertuigen en heeft uitgebreide ervaring met ontwikkeling en implementatie van elektrische aandrijflijnen voor speciale voertuigen. Binnen dit project is Emoss verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de elektrisch aandrijflijnen.

Cementbouw is actief op het gebied van de productie van en handel in bouwmaterialen en bouwstoffen en verricht voor een belangrijk deel ook de bijbehorende logistieke processen. Tijdens dit project zal Cementbouw met de elektrische betonmixertrailers van 15m³ rijden van de betoncentrale naar de woningbouwplaats.

Dura Vermeer is een landelijk opererend bouw- en infrastructuur onderneming, werkzaam in de sectoren bouw, infrastructuur, engineering en dienstverlening. Dura Vermeer Bouw Zuid West is gericht op de sector Bouw en Vastgoed en ontwikkelt woning- en utiliteitsbouw. In dit project is Dura Vermeer van essentieel belang door hun uitgebreide kennis en expertise op het gebied van duurzaam bouwen en als bouwonderneming zullen zijn dit project van locatie(s) voorzien (te beginnend met woningbouwproject Hefkwartier) om verschillende ontwikkelingen toe te passen en exploiteren.

Alfen is een organisatie die zich bezighoudt met het produceren van transformatorstations, behuizingen en schakelapparatuur. Alfen zal in dit project optreden als leverancier en ervaringsdeskundige van de mobiele snellaadunits.

1.3 Leeswijzer

Deze rapportage betreft de eindrapportage van de inbreng van TNO in het DKTI project Funda(ce)ment. Voor TNO ligt de focus op een analyse van de eerste ervaringen met de inzet en het gebruik van verschillende ZE voertuigen, ZE mobiele werktuigen en laadinfrastructuur met betrekking tot technische prestatie en operationele inzet. Hierin wordt daar waar mogelijk gebruik gemaakt van gemonitorde data vanuit een API koppeling met de automatisch gegenereerde datastream (telematica data) vanuit het voertuig dan wel mobiele werktuig. Als aanvulling hierop zijn de ervaringen van gebruikers en betrokkenen op basis van interviews verzameld.

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 Zero-Emissie (ZE) vervoersconcepten voor bouwgerelateerde transportstromen en optimaal gebruik en inzet van ZE bouwvoertuigen, ZE bouwmachines en laadinfrastructuur. Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op het monitoringsplan voor de ZE voertuigen, ZE mobiele werktuigen en laadinfrastructuur en beschrijft daar waar monitoringsdata beschikbaar is voor elk systeem de resultaten vanuit de monitoring. Hoofdstuk 5 laat de uitkomsten uit de TCO-berekeningen zien voor twee ZE voertuigen: de haakarm truck (DAF CF Electric FAN) en de 50t ZE truck (Volvo FM Electric) van Vlot Logistics in verschillende scenario's. Tot slot presenteert hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen.

2 Aanpak activiteiten TNO

TNO is binnen het project verantwoordelijk voor een drietal activiteiten:

1. onderzoek naar geschikte Zero-Emissie (ZE) vervoersconcepten voor bouwgerelateerde transportstromen en optimaal gebruik en inzet van ZE bouwvoertuigen, ZE bouwmachines en ZE laadinfrastructuur;
2. de monitoring van de inzet van de verschillende systemen in een praktijkomgeving;
3. analyse van de total cost of ownership (TCO) van verschillende ZE-systemen.

De gehanteerde aanpak binnen deze activiteiten wordt hieronder kort nader toegelicht.

Ad 1:

Onderzoek naar geschikte Zero-Emissie (ZE) vervoersconcepten is door TNO in de periode maart 2023 t/m januari 2024 uitgevoerd op basis van deskresearch. Hiervoor is voortgeborduurd op de ZE transportconcepten zoals ontwikkeld binnen het DKTI-project VERZET³ en heeft aanvullende ontwikkeling plaatsgevonden ten behoeve van de optimale inzet van ZE bouwmachines. De resultaten van het deskresearch onderzoek worden beschreven in hoofdstuk 3.

Ad 2:

De monitoring van de inzet van de verschillende systemen in een praktijkomgeving was idealiter gepland om binnen een gemeenschappelijk demonstratieproject (proeftuin bouwproject van Dura Vermeer) plaats te vinden. Het is om verschillende redenen niet gelukt om daarvoor een geschikt demonstratie bouwproject te vinden, waar alle ZE-systemen kunnen worden ingezet.

De redenen daarvoor zijn onder meer:

- de ontwikkeling en aanschaf van verschillende ZE-systemen heeft aanzienlijke vertraging opgelopen door Covid;
- daardoor werden steeds later in het project op verschillende momenten ZE-systemen opgeleverd en kwamen deze op verschillende momenten in de tijd beschikbaar voor inzet;
- de betrokken aannemer in het project Dura Vermeer was wel welwillend om een bouwproject aan te dragen, maar de daadwerkelijk verantwoordelijke projectleiders waren vaak zeer terughoudend en risicomijdend met als gevolg dat het zeer lastig was om een bouwproject te vinden voor de inzet van de ZE-systemen.

Uiteindelijk is er voor gekozen om per ZE-systeem een praktijkdemonstratie te zoeken waar het ZE-systeem inzetbaar was. Dit heeft uiteindelijk geleid tot de inzet van drie ZE-systemen in verschillende praktijkomgevingen voor een aaneengesloten periode. De monitoring van deze ZE-systemen en de analyse van de resultaten worden in hoofdstuk 4 uitvoerig beschreven.

³ van Merrienboer S.A., Rondaij, A., Sprenger, L., Tol, D., Bhoraskar, A., DKTI VERZET – Lessen en ervaringen uit de praktijk van de inzet van zware zero-emissie vrachtauto's in de bouw, TNO-rapport, TNO 2022 R11105, 27 juni 2022.

Ad 3:

Conform het DKTI-project VERZET wordt ook in dit project een total cost of ownership (TCO) berekening gemaakt van verschillende binnen het project aangeschafte, dan wel ontwikkelde, ZE-systemen. De selectie van systemen die in aanmerking komen voor een TCO berekening is gemaakt op basis van het criterium voldoende input voor een TCO-berekening. Dit betekent een voldoende lange aaneengesloten periode waarin het systeem in een praktijkomgeving is ingezet.

Dit heeft geleid tot een TCO berekening voor de volgende twee ZE-systemen:

- 50t elektrische truck (Volvo FM Electric), inzet in distributie van Stihl groothandel voor bouwmaterialen;
- ZE-truck met haakarmsysteem (DAF CF Electric FAN), inzet in containertransport voor VEPCO.

3 ZE logistieke concepten voor emissieloze bouw

Dit hoofdstuk beschrijft resultaten van het onderzoek naar mogelijkheden voor zero emissie (ZE) logistieke concepten behorende bij de inzet van ZE bouwvoertuigen en ZE bouwmachines met bijbehorende mobiele laadinfrastructuur. We beperken ons in dit onderzoek tot batterij-elektrische voertuigen en bouwmachines. Voor de uitwerking van een ZE logistiek concept wordt een inventarisatie gemaakt van de factoren die van invloed zijn op de inrichting daarvan. Op basis daarvan worden generieke zero emissie logistieke concepten uitgewerkt voor de inzet van bouwvoertuigen en bouwmachines. Vervolgens worden voor de bouwvoertuigen en bouwmachines die binnen het DKTi project Fundament zijn ontwikkeld en aangeschaft de logistieke concepten nader gespecificeerd. Tot slot worden conclusies en aanbevelingen gegeven naar aanleiding van de praktijkdemonstratie, waarin de ZE logistieke concepten en ZE bouwvoertuigen en ZE bouwmachines zijn ingezet.

3.1 Logistiek concept en logistieke grondvorm

Een logistiek concept biedt een integrale benadering van een goederenstroom⁴. Een integrale aanpak betekent dat men alle beslissingen over de goederenstroom, de planning en besturing van de goederenstroom, de ondersteunende ICT en de organisatie goed op elkaar afstemt.

Een integraal logistiek concept bestaat uit vier elementen:

1. de grondvorm
2. het planning- en besturingssysteem
3. het informatiesysteem
4. de personele organisatie

Voordat het logistieke concept goed kan worden ingevuld, moeten eerst de doelstellingen van de onderneming, de gekozen strategie en de daaruit af te leiden logistieke doelstellingen duidelijk zijn. Het logistieke concept is pas klaar als de prestatie-indicatoren zijn bepaald waarmee men de kwaliteit van de logistieke prestaties kan volgen. Alle elementen moeten steeds goed op elkaar aansluiten. De invulling van het concept bepaalt de logistieke prestaties en de winst die een onderneming daarmee kan maken. We beperken ons in de verdere uitwerking van een zero emissie logistiek concept voor de inzet van ZE bouwvoertuigen tot de logistieke grondvorm. De logistieke grondvorm beschrijft de inrichting en structuur van de fysieke goederenstroom, in dit geval van bouwmaterialen. Het zero emissie logistiek concept beschrijft tevens de inzet van elektrische bouwvoertuigen en bijbehorende laadinfrastructuur in de logistieke keten.

⁴ Fysieke Distributie Toegevoegde waarde in ketenperspectief, van Goor, W. Ploos van Amstel, M.J. Ploos van Amstel, 2018.

Specifiek voor deze toepassing wordt ook een zero emissie logistiek concept voor de inzet van bouwmachines op een bouwplaats voor de verwerking van de bouwmaterialen uitgewerkt. Ook hier wordt de uitwerking beperkt tot de logistieke grondvorm, waarbij de inzet van elektrische bouwmachines en laadinfrastructuur wordt meegenomen in een zero emissie logistiek concept.

3.2 ZE logistieke concepten bouwvoertuigen

3.2.1 Factoren van invloed

De inzet van ZE bouwlogistieke voertuigen in een bouwlogistieke keten, voor het transporteren van bouwmaterialen tussen leveranciers en bouwplaatsen, wordt voornamelijk bepaald door het maximale bereik van het voertuig in totaal aantal kilometers (**actieradius**).

Dit hangt af van de volgende factoren:

- Accucapaciteit
- Vermogen van de elektrisch motor van het voertuig
- Belasting van de elektrische motor, welke weer afhankelijk is van rijgedrag en beladingsgraad
- Regeneratie vanuit afremmen.

Naast het maximale bereik van het voertuig zijn de specifieke kenmerken van de **logistieke keten** bepalend voor de mogelijkheden van inzet en inrichting van de logistieke keten.

Hieronder vallen:

- Transportafstanden van ketentrajecten
- Wegprofielen van ketentrajecten (hoofdwegennet, snelweg, binnenstedelijk wegennet, ...)
- Inzetprofiel in termen van aantal stops/drops tijdens een transportrit.

Het maximale bereik van elektrische voertuigen kan worden verlengd door tijdens een transportrit bij te laden op locaties met **laadinfrastructuur**. Deze locaties kunnen aan een transportrit worden toegevoegd als tussenstop of er is sprake van beschikbare laadinfrastructuur op herkomst en/of bestemmingslocaties van een transportrit. Het bijladen vergt tijd en zal kosten verhogend en levertijd vertragend werken. Het uitdenken van een optimale laadstrategie (wanneer en waar opladen / bijladen?) bij een specifieke inzet is dan ook een belangrijk element van een ZE logistiek concept.

Sommige bouwvoertuigen beschikken over **hulpfuncties** aan het voertuig (bijvoorbeeld: laadkraan, betonmixer, kieper, haakarm, etc.). Deze hulpfuncties worden (bij voorkeur) ook aangedreven door een elektrische motor en vragen elektrische energie. Deze kan worden geleverd door een separate extra accu voor de hulpfunctie of door gebruik te maken van de accu van het voertuig. In het laatste geval zal dat invloed hebben op het bereik van het voertuig. Al deze elementen worden meegenomen bij het ontwerpen van ZE logistiek concepten voor de inzet van bouwvoertuigen.

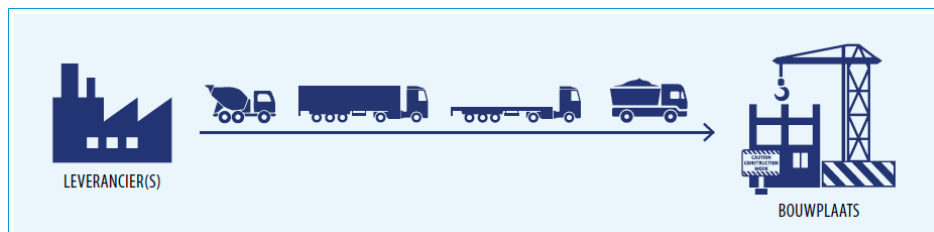
3.2.2 Generieke ZE logistieke concepten bouwvoertuigen

In de Outlook Bouwlogistiek⁵ worden 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 beperkte ruimte op en rond de bouwplaats waardoor er in enkele gevallen ‘onnodige’ kilometers worden gereden met halflege 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, 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)."

De bouwlogistieke keten wordt voornamelijk gekenmerkt door twee verschillende typen transportritten: **directe ritten** en **rondritten**.

Transportritten met volle belading, welke tijdens de ruwbouw fase van een bouwproject of voor infrastructuur bouwprojecten (GWW, Grond- , Weg- en Waterbouw) veel voorkomen, worden gekenmerkt als '**directe ritten**' conform logistieke structuur 1 (punt-punt leveringen) uit de Outlook Bouwlogistiek, zie Figuur 3.1.

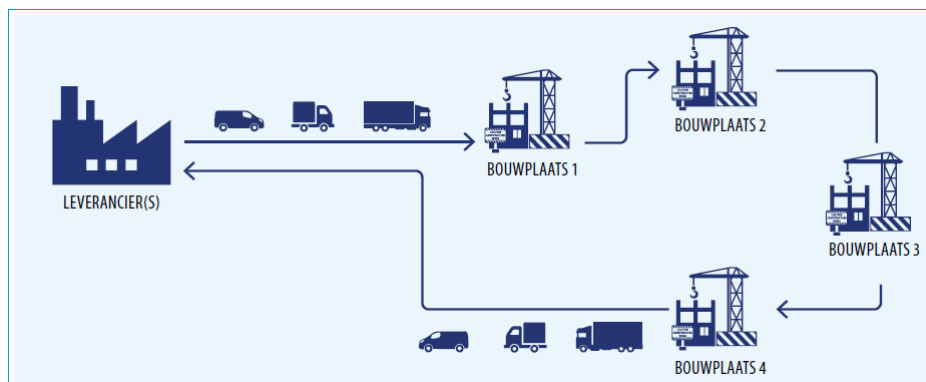


Figuur 3.1: Logistieke structuur 1: punt-punt leveringen (directe ritten).

Bron: Outlook Bouwlogistiek, 2020.

Transportritten met meerdere stops/drops op verschillende locaties, welke tijdens de afbouw fase van een bouwproject veel voorkomen, worden gekenmerkt als '**rondritten**' conform logistieke structuur 2 (leveringen op verschillende locaties) uit de Outlook Bouwlogistiek, zie Figuur 3.2.

⁵ TNO. (2020). Outlook Bouwlogistiek: Scenario's voor reductie van vervoersbewegingen en CO2-uitstoot in de stad voor (grootschalige) nieuwbouwprojecten in 2030. Delft: Topsector Logistiek.



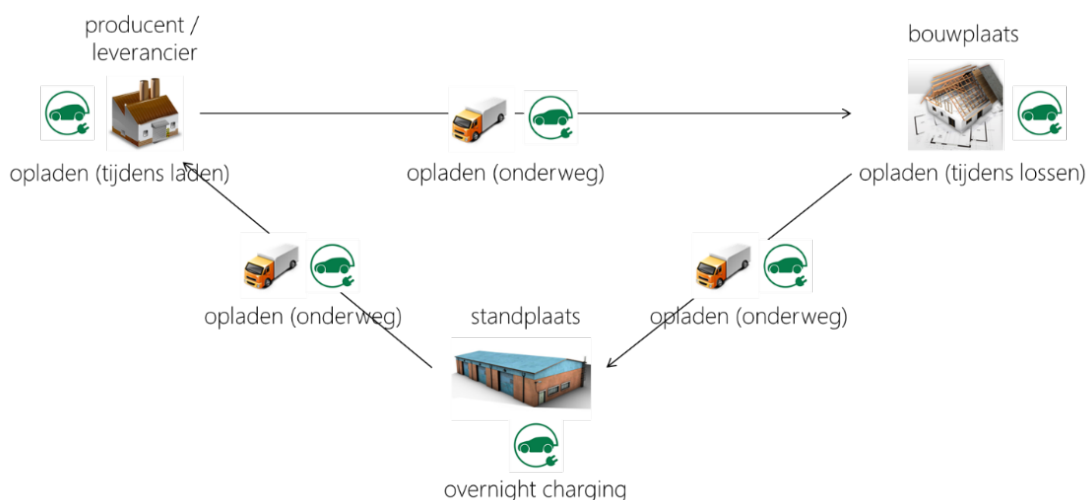
Figuur 3.2: Logistieke structuur 2. leveringen op verschillende locaties (rondritten).

Bron: Outlook Bouwlogistiek, 2020.

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

3.2.2.1 Directe ritten (logistieke structuur 1: punt-punt leveringen)

De verschillende mogelijkheden tot inzet en opladen gedurende het transport bij directe ritten (punt-punt leveringen) worden in Figuur 3.3 schematisch weergegeven en vervolgens nader toegelicht.



Figuur 3.3: Inzet van zero-emissie vrachtwagens bij directe ritten (punt-punt leveringen).

Bij de inzet van de zero-emissie zware vrachtwagens voor 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% State Of Charge (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 van vier tot vijf jaar geleden ten tijde van het project DKTI VERZET kwam dit neer op een theoretische actieradius tussen 100 km (zonder tussentijds opladen) en maximaal 400 km (met tussentijds 3x opladen en een werkdag van 9 uur). Bij de maximaal haalbare actieradius is in het voorbeeld van DKTI VERZET 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 1). Zoals bekend waren de mogelijkheden tot tussentijds opladen onderweg of op een bouwplaats ten tijde van DKTI VERZET echter nog heel beperkt.

Tabel 1: Voorbeeld laadschema en actieradius op basis van ZE-technologie DKTI VERZET (2019-2021).

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
Totaal			400	540

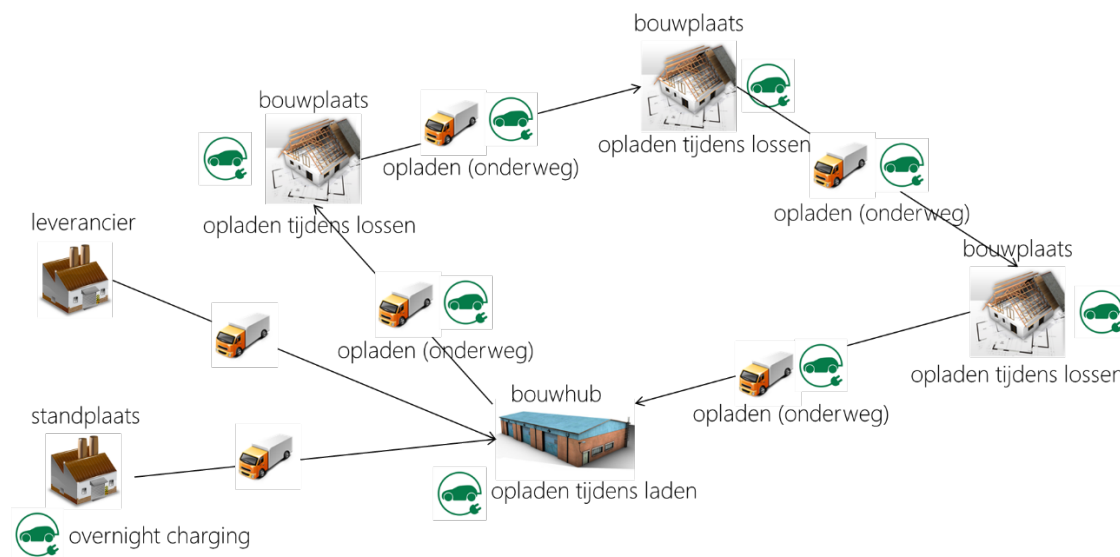
Met de huidige ZE-technologie van de zware bouwvoertuigen, zoals aangeschaft en ingezet binnen het DKTI-project Funda(ce)ment, zijn de mogelijkheden voor levering aanzienlijk verbeterd. De theoretische actieradius is verbeterd naar minimaal 240 km (zonder tussentijds opladen) en maximaal 480 km (met tussentijds 1x opladen en een iets kortere werkdag van 8 uur en 20 min). Dit levert een aangepast vergelijkbaar laadschema met verbeterde actieradius op (zie Tabel 2). De maximale actieradius op een werkdag stijgt daarmee 20%, waarbij maar 1x hoeft te worden opgeladen en 40 minuten tijdswinst op een werkdag wordt bereikt ten opzichte van de mogelijkheden ten tijde van het DKTI-project VERZET.

Tabel 2: Voorbeeld laadschema en actieradius op basis van huidige ZE-technologie DKIT Funca(ce)ment (2021-2024).

Activiteit	Gem. snelheid (km / uur)	Energie-verschil (SOC)	Afstand (km)	Duur (min)
Rijden	66	-80%	240	220
Opladen		+80%		60
Rijden	66	-80%	240	220
Totaal			480	500

3.2.2.2 Rondritten (logistieke structuur 2: leveringen op verschillende locaties)

De verschillende mogelijkheden tot inzet en opladen gedurende het transport bij rondritten (leveringen op verschillende locaties) worden in Figuur 3.4 schematisch weergegeven en vervolgens nader toegelicht.



Figuur 3.4: Inzet van zero-emissie vrachtwagens bij rondritten (leveringen op verschillende locaties).

Bij rondritten kan een ontkoppelpunt (bouwhub of groothandel), waar leveringen van bouwmaterialen van verschillende leveranciers aan één of meerdere bouwlocaties worden gebundeld, helpen om de logistiek efficiënter te organiseren. In het schema van Figuur 3.4 is ervan uitgegaan dat de standplaats van de zero-emissie vrachtwagens niet samenvalt met de bouwhub en er afstand moet worden afgelegd bij de start van een werkdag. Leveringen vanaf producenten / leveranciers aan de bouwhub worden nu nog met conventionele voertuigen uitgevoerd, maar dit kan ook elektrisch worden 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 bouwhub kan worden opgeladen tijdens het laden van de vrachtwagen of als de vrachtwagen niet wordt ingezet. Daarnaast vindt op de standplaats van de zero-emissie vrachtwagens 'overnight charging' plaats in de nacht. In de huidige situatie is de actieradius van ZE vrachtwagens in combinatie met eventuele (beperkte) mogelijkheden voor tussentijds opladen onderweg of op een bouwplaats al veel minder beperkend voor de inzet dan ten tijde van DKTI VERZET. In de praktijkdemonstraties gaan we, gegeven deze beperkingen, analyseren wat de huidige mogelijkheden zijn op basis van de gemonitorde data van de dagelijkse inzet.

3.2.3 Bouwvoertuigen DKTI Fundacement

In het DKTI-project Fundacement worden de volgende bouwvoertuigen ontwikkeld, aangeschaft en ingezet in praktijkdemonstraties:

- ZE-truck met haakarmsysteem (DAF CF Electric FAN)
- Kleine (7 ton) ZE-truck met aanhangwagen (IVECO)
- 2x ZE-betonmixertrailer (15m³) (Wattsnew E-Box 100)
- ZE-kiepertrailer
- 2x elektrische zware (50 ton) trucks (Volvo FM Electric)

Per bouwvoertuig wordt kort besproken welke ZE logistieke concepten het best passen bij de inzet van het voertuig.

3.2.3.1 Volvo 50-ton truck (2x)

De Volvo 50-ton truck is een ZE vrachtwagen trekker met generieke inzetmogelijkheden, maar door de eigenaars (Van de Velde en Vlot Logistics) aangeschaft met als oogmerk om deze tijdens het DKTI-project en daarna in te zetten voor transport van bouwmaterialen in de bouwsector. De kenmerken van het voertuig staan in onderstaande tabel vermeld.

Tabel 3: Kenmerken Volvo 50-ton truck.

50t Volvo FM Electric		
Inrichting	Trekker/oplegger	
Massa rijklaar	10.845	Kg
Max. massa samenstel	44.000	Kg
Laadvermogen	9.755	Kg
Accucapaciteit (bruto/netto)	540/369	kWh
Elektrisch vermogen	498	kW
Actieradius	260	km
Aantal assen	2	
Aantal wielen	6	



In de praktijkdemonstratie is de Volvo ingezet voor rondritten vanaf het distributiecentrum (DC) van Stiho in Utrecht. De standplaats van de Volvo is Vlot Logistics in Rotterdam. Het (gemiddelde) inzetprofiel van het ZE logistieke concept voor Stiho is in hoofdstuk 4. Monitoring beschreven (zie Tabel 9).

3.2.3.2 7-ton truck met aanhangwagen

In het DKTI-project is een 7-ton truck ontwikkeld. Deze is in juli 2024 opgeleverd. De specificaties voorafgaand aan de bouw zijn als volgt:

Tabel 4: Kenmerken 7 ton truck IVECO.

7-Ton truck (IVECO) met aanhangwagen (HAPERT)		
Inrichting	7-ton truck met aanhangwagen	
Massa rijklaar	749	kg
Max. massa voertuig	5.200	kg
Max. massa samenstel	8.700	Kg
Laadvermogen voertuig	2.450	kg
Laadvermogen aanhangwagen	2.750	kg
Accucapaciteit (netto)	111	kWh
elektrisch vermogen	140	kW
actieradius	200	km
Aantal assen	2	
Aantal wielen	4	



De 7-ton truck is een lichte vrachtwagen met open bak inclusief een aanhangwagen, welke speciaal bedoeld is voor binnenstedelijk vervoer, vanwege de wendbaarheid en relatief lichte totaalgewicht van het voertuig. Daarmee is het voornamelijk bedoeld voor rondritten vanaf een bouwhub naar een of meerdere bouwplaatsen in een binnenstedelijk gebied (logistieke structuur 2).

3.2.3.3 Kiepertrailer

In het DKTI-project is ook een kiepertrailer ontwikkeld. Deze is in september 2024 opgeleverd. Dit is geen trekkend voertuig, maar een oplegger met een zelfstandige batterij/accu en elektrische motor die de laadbak kantelt. De specificaties voorafgaand aan de bouw zijn als volgt:

Tabel 5: Kenmerken kiepertrailer.

Kieper		
Inrichting	kiepertrailer	
Max. massa trailer	42000	kg
Laadvermogen trailer	34000	kg
Accucapaciteit	31	kWh
Elektrisch vermogen	35	kW
Aantal kiepbeurten op 1 accu	15	
Aantal assen	3	
Aantal wielen	6	



De kiepertrailer is een typisch bouwvoertuig voor transport van bulk bouwmaterialen, zoals: zand, grind, bouw- en sloopafval.

Het inzetprofiel van een kiepertrailer is vooral gericht op directe ritten vanaf een leverancier (bulkmaterialen) naar een bouwplaats (infrastructuur, GWW) (logistieke structuur 1). Het energieverbruik voor de hulpfunctie van de kiepertrailer, het kantelen van de laadbak, wordt gehaald uit de aparte batterij/accu op de kiepertrailer.

3.2.3.4 Haakarm

In het DKTI-project is een haakarm truck ontwikkeld. De specificaties van de haakarm truck zijn als volgt:

Tabel 6: Kenmerken haakarm truck.

Haakarmtruck (DAF CF Electric FAN)		
Inrichting	20 ton haakarm	
Massa rijklaar	16.395	kg
Max. massa samenstel	37.000	kg
Laadvermogen	12.065	kg
Hefcapaciteit haakarm	18.000	ton
Hefcapaciteit kraan	23.000	tonmeter
Accucapaciteit (bruto/netto)	350/290	kWh
Elektrisch (motor)vermogen	210	kW
Actieradius	200	km
Aantal assen	3	
Aantal wielen	8	



De haakarm is een vrachtwagen bedoeld voor containertransport, waarbij het haakarmsysteem in staat is om zelfstandig containers te laden/lossen.

Het inzetprofiel van een haakarmsysteem is vooral gericht op directe ritten vanaf herkomst naar bestemming ter verplaatsing van een container met of zonder inhoud (logistieke structuur 1). Het energieverbruik voor de hulpfunctie van de haakarm, het laden/lossen van een container met een hydraulisch haakarmmechisme, wordt gehaald uit de batterij/accu van de vrachtwagen. Daar is dus geen extra batterij voor op de vrachtwagen aanwezig.

3.2.3.5 Betonmixertrailer (2x)

In het DKTI project zijn twee betonmixertrailers ontwikkeld. Een betonmixer is een systeem om betonmortel te vervoeren van een betoncentrale naar een bouwplaats. Een betonmixertrailer is geen trekkend voertuig, maar een oplegger met een zelfstandige accu en elektrische motor die de betonmixer aandrijft. Deze wordt bij voorkeur getrokken door een elektrisch aangedreven trekker zoals de 50-ton truck van Volvo. De specificaties van de betonmixers zijn als volgt:

Tabel 7:: Kenmerken betonmixertrailer type ‘Stetter’ en ‘Liebher’.

Betonmixertrailer type ‘Stetter’ en type ‘Liebher’		
Inrichting	<i>betonmixertrailer</i>	
Eigen gewicht trailer	13.000	kg
Max. massa samenstel	50.000	Kg
Laadvermogen trailer	27.000	kg
Accucapaciteit trailer	100	kWh
elektrisch vermogen trailer	93	kW
Max. draaitijd betonmixer	20	uren
Aantal assen	3	
Aantal wielen	12	



Een betonmixer wordt ingezet voor het transport van stortklaar beton vanaf de betoncentrale naar bouwplaatsen. Afhankelijk van de vraag kan dit een directe rit naar een bouwplaats zijn (logistieke structuur 1) of een rondrit met het lossen van beton bij meerdere bouwplaatsen (logistieke structuur 2). Het energieverbruik voor de hulpfunctie van de betonmixertrailer, het kantelen van de laadbak, wordt gehaald uit de aparte batterij/accu op de kiepertrailer.

3.3 ZE logistieke concepten bouwmaschinen

De logistieke concepten voor ZE bouwmaschinen beschrijven de interne bouwplaatslogistiek om werken met ZE bouwmaschinen mogelijk te maken (bijvoorbeeld het verplaatsen van verwisselbare accu's of het verplaatsen van machines naar laadpunten) en het transport van energievoorzieningssystemen van en naar bouwplaatsen of het transport van bouwmaschinen van en naar laadpunten.

3.3.1 Factoren van invloed

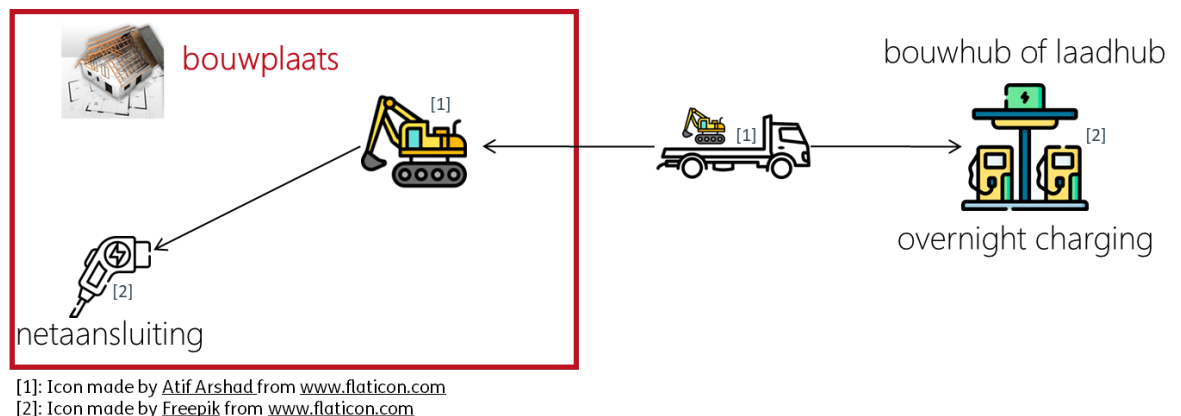
Voor succesvol gebruik van zero-emissie bouwmaschinen zijn er verschillende factoren die op elkaar afgestemd dienen te worden, namelijk:

- Het **inzetprofiel**: dit is het patroon van het **vermogen** dat de elektrische motor vraagt en de **draaiuren** van de machine gedurende de dag. Dit bepaalt het energieverbruik.
- De **accucapaciteit**: dit bepaalt hoeveel energie maximaal kan worden opgeslagen in de accu van de machine.
- Het **energieaanbod**: de beschikbaarheid van laadinfrastructuur.
- De **laadstrategie**: de planning en uitvoering van het laden van zero-emissie bouwmaschinen.

3.3.2 Generieke ZE logistieke concepten bouwmaschinen

Er kunnen vier generieke logistieke structuren worden onderscheiden voor opties van het laden van zero-emissie machines:

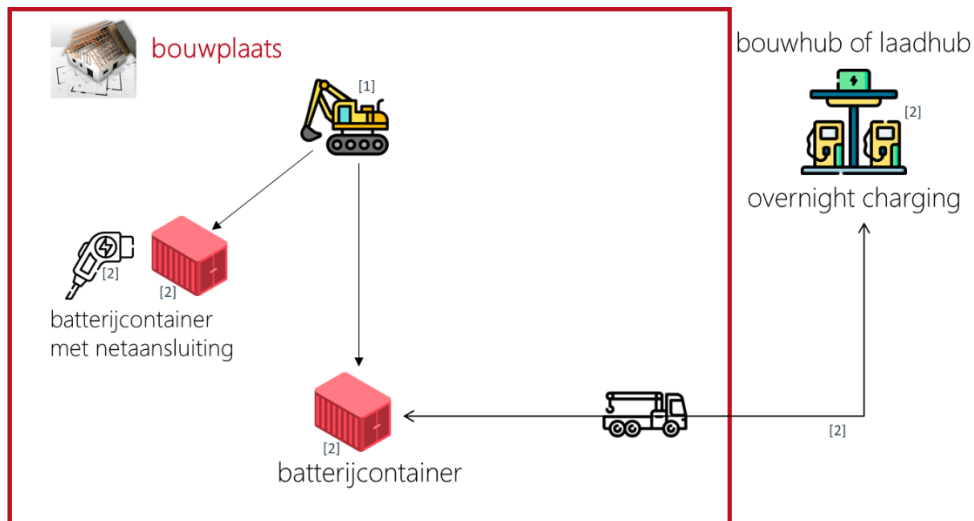
- 1) Machines met een vaste accu kunnen op de bouwplaats worden geladen via een **directe netaansluiting** of worden getransporteerd naar een extern laadpunt (zoals een bouwhub of laadhub, waar elektrische bouwmaschinen van stroom kunnen worden voorzien).



Figuur 3.5: Logistiek concept 1: machines met een vaste accu, direct laden bij een laadpunt.

- 2) Machines met een vaste accu kunnen op de bouwplaats worden geladen via een **accu container / batterij container**. Deze container is gevuld met batterijen en dient als energieopslag. Accucontainers kunnen met een laag vermogen continue worden gevoed door een directe netaansluiting en kunnen energie leveren om piekvermogens op te vangen. Daarmee kunnen bouwmaschinen met een hoger vermogen

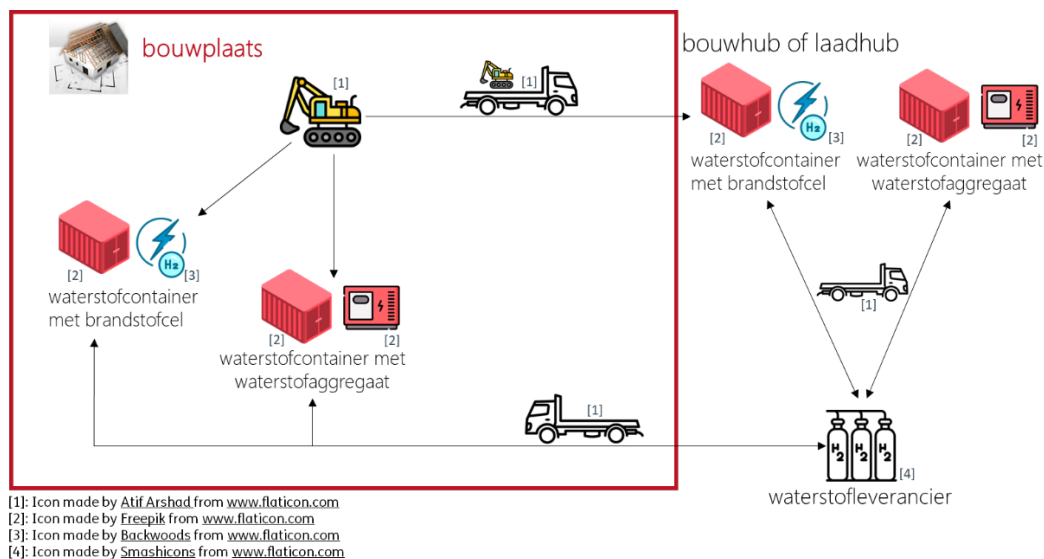
worden opgeladen dan mogelijk is met een netaansluiting. Ook worden ze ingezet om te laden op een moment dat er weinig capaciteit op het net is [1]. Als er geen aansluiting is op de bouwplaats, dan is er transport nodig om de container naar een extern laadpunt te brengen als deze leeg is.



[1]: Icon made by Atif Arshad from www.flaticon.com
 [2]: Icon made by Freepik from www.flaticon.com

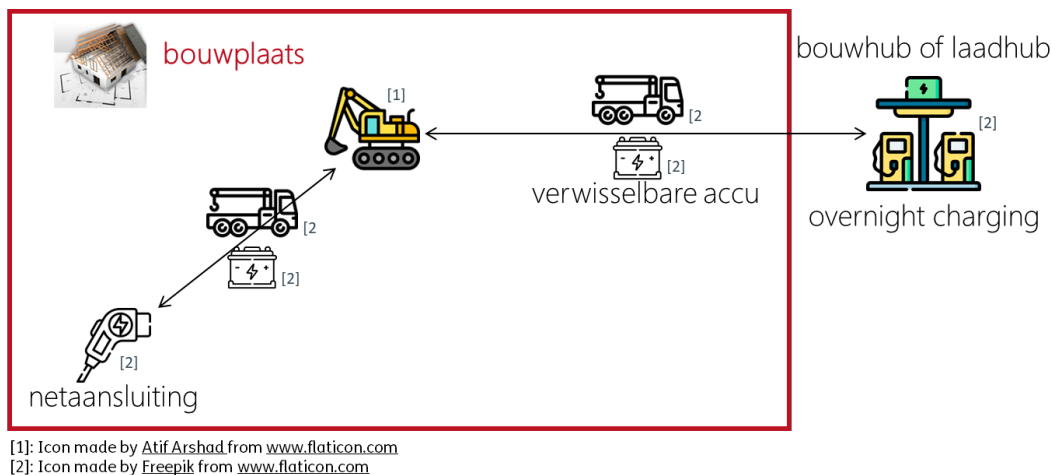
Figuur 3.6 : Logistiek concept 2: laden van machines met een vaste accu via een batterij container met een netaansluiting of met transport naar een extern laadpunt om de container op te laden.

- 3) Machines met een vaste accu kunnen ook middels een **waterstofcontainer** op de bouwplaats of op een externe locatie worden geladen. Dit is een container gevuld met waterstof en kan, net als de accu container, dienen als energieopslagsysteem. De container kan worden gekoppeld aan een container met een brandstofcel (die waterstof omzet in elektriciteit) of aan een waterstofaggregaat. Als de waterstofcontainer leeg is, zijn er transporten nodig door de waterstofleveranciers om de container voor een volle container te verwisselen.



Figuur 3.7 : Logistiek concept 3: laden van machines met een vaste accu via een waterstofcontainer op de bouwplaats of een externe locatie en met transport door de waterstofleverancier voor het vullen van de container.

- 4) Machines met een **verwisselbare accu** kunnen op de plek van de werkzaamheden blijven aangezien lege accu's uit de machine kunnen worden gehaald en kunnen worden verwisseld door volle accu's. Voor het verwisselen van de accu's is een knijperwagen (kipper met autolaadkraan) nodig. Ook dienen de verwisselbare accu's te worden getransporteerd tussen de machines en het laadpunt. Het laadpunt kan op een externe locatie zijn of op de bouwplaats indien er een aansluiting aanwezig is.



Figuur 3.8: Logistiek concept 4: laden van machines met verwisselbare accu's.

3.3.3 Bouwmachines DKTi Fundacemant

In het DKTi-project Fundacemant zijn de volgende bouwmachines aangeschaft, aangeschaft en ingezet in praktijkdemonstraties:

- 2x verreiker
- 1x meeneemheftruck kooiaap

De verreikers zijn gedurende het project niet gemonitord. Dit was te ingewikkeld om technisch te realiseren met beperkte meerwaarde voor het project. De verreikers zijn ingezet op locatie VlotLogistics Hub010 en de Urban Mining Hub van Dura Vermeer en daar ook opgeladen (direct aan het net of via het snellaadstation). Er zijn geen bijzonderheden te vermelden ten aanzien van laden van de verreikers op locatie.



De meeneemheftruck staat achter op de trailer van Stihl. Ook de meeneemheftruck is gedurende het project niet gemonitord. Door middel van een interview met de chauffeur is een indruk gekregen van de inzet en het gebruik van de meeneemheftruck. De chauffeur was erg positief over het gebruik van de meeneemheftruck. Het is met name positief ervaren dat de heftruck nagenoeg stil is tijdens gebruik. Slechts één keer per twee dagen inzet is bijladen nodig (overnight op standplaats VlotLogistics Hub010).



4 Monitoring

Dit hoofdstuk beschrijft de voorbereiding en uitvoering van de monitoring van het gebruik en de inzet van de verschillende ZE-systemen (voertuigen, bouwmachines en laadinfra) in een praktijkomgeving. De monitoring was idealiter gepland om binnen een gemeenschappelijk demonstratieproject (proeftuin bouwproject van Dura Vermeer) plaats te vinden. Zoals in hoofdstuk 2 reeds aangegeven, is dit gedurende de uitvoering van het project om diverse redenen niet gelukt. De monitoring heeft uiteindelijk plaatsgevonden voor een aantal ZE-systemen in verschillende praktijksituaties. De monitoring en analyse van de daarin verzamelde data worden in dit hoofdstuk nader toegelicht.

4.1 Voorbereiding van de monitoring

In de voorbereiding op de monitoring van de verschillende ZE-systemen is een voorstel gedaan voor een monitoringsplan met KPI's specifiek voor ZE-voertuigen, ZE-bouwmachines en de laadinfra (zie bijlage A). In het monitoringsplan worden alle benodigde datavelden gedefinieerd omtrent de inzetbaarheid, milieu aspecten en kosten van de ZE-systemen.

- **Inzetbaarheid.** De impact van de actieradius en oplaadtijden op de (logistieke) operatie, planning en flexibiliteit van inzet. Afhankelijkheid van de actieradius van bepalende factoren (belading, type rit (snelweg – in binnenstad), buitentemperatuur, gebruik van hulpfuncties (zoals kraaninzet);
- **Milieuaspecten.** Elektriciteitsverbruik in vergelijking met dieselverbruik bij vergelijkbare inzet.
- **Kosten.** Het verschil in TCO van de elektrische variant van het voer-/werktuig (huidig en mogelijke toekomstige situatie) en de dieselvariant. Dit wordt in scenario's uitgewerkt.

Deze zijn gebruikt om de databehoeftes voor de verschillende systemen te communiceren met de leveranciers en te kijken hoe hier invulling aan gegeven kon worden. Sommige leveranciers van systemen werken met geautomatiseerde dashboards die een overzicht geven van de prestaties op basis van verschillende KPI's. Binnen het project is de voorkeur gegeven aan gebruik van een geautomatiseerde data-koppeling (API: Application Programming Interface) om de benodigde gegevens te ontsluiten, aangezien hiervoor een geautomatiseerd data monitoringsproces kan worden ingericht. Dit is voor een aantal ZE-systemen ook gelukt en, gezien de beschikbaarheid van geautomatiseerde data-koppeling (API) en de doorlooptijd van het DKTI project, is voor deze systemen maandelijks een monitoringsreport uitgedraaid (zie Tabel 8).

Tabel 8: Voorbeeld overzicht monitoringsreport DKTI Funda(ce)ment (juni 2024).

Trucks	Inzet frequentie*	#werkdagen	Totaal km	km/werkdag	kWh/100km	#trips/werkdag
totaal/gemiddelde waarde	n.v.t.	totaal	totaal	gemiddelde	gemiddelde	gemiddelde
Vlot Volvo truck	frequent	20	2775	138	133	11.2
Van der Velden Volvo truck	regelmatig	8	1732	209	116	8
Haakarm	regelmatig	6	1029	171	129	4.5
7-ton T/O combinatie	n.v.t.					
Kiepertrailer	n.v.t.					

Betonmixers	inzet frequentie*	#werkdagen	#draaiuren	uren/werkdag	%SOC/werkdag	%SOC/draaiuur
totaal/gemiddelde waarde	n.v.t.	totaal	totaal	gemiddelde	gemiddelde	gemiddelde
Betonmixer 'Stetter'	niet ingezet					
Betonmizer 'Liebherr'	niet ingezet					

Snellaadstations	inzet frequentie*	#werkdagen	#laadsessies	kWh geladen	min/laadsessie	kWh/laadsessie
totaal/gemiddelde waarde	n.v.t.	totaal	totaal	totaal	gemiddelde	gemiddelde
Snellaadstation01 (Vlot)	frequent	16	25	958	39	38
Snellaadstation02 (Vd Velden)	regelmatig	7	9	248	30	27

Uiteindelijk heeft voor de volgende ZE-systemen monitoring van de inzet plaatsgevonden:

- 2x elektrische 50-ton truck (Volvo FM Electric)
- ZE-truck met haakarmsysteem (DAF CF Electric FAN)
- ZE-betonmixertrailer type ‘Stetter’ (15m³) (Wattsnew E-Box 100)
- 2x mobiel snellaadstation (300 kW) inclusief accu

Per ZE systeem worden de monitoringsresultaten en de resultaten van de met de verkregen data uitgevoerde analyses toegelicht.

4.2 Analyse gebruik en inzet ZE-systemen in praktijkomgeving

Om een beeld te verkrijgen van de praktijkinzet van de ZE-systemen is een data-analyse uitgevoerd op de verzamelde data uit de monitoringsrapportages en deze is aangevuld met informatie over de praktijkomgeving waarin het ZE-systeem is ingezet. De aanvullende informatie is verkregen door middel van interviews met de gebruikers van het systeem.

Het gaat specifiek om interviews met chauffeurs van Vlot Logistics en de directeur van Vlot Logistics (Rokus Vlot) ten aanzien van het gebruik van het mobiele snellaadstation op de

bouwhub van Vlot Logistics en op de bouwplaats van DuraVermeer. Op basis van de interviews en de data-analyse zijn de eerste ervaringen van de impact van het gebruik van verschillende ZE-systemen op de operationele dagelijkse inzet in de bouw geformuleerd. Daar waar sprake is geweest van inzet buiten de bouwsector (truck met haakarmsysteem), wordt dit vermeld en is getracht de ervaringen van de inzet te vertalen naar mogelijke consequenties voor inzet in de bouw.

4.2.1 50-ton truck Volvo FM Electric (Vlot)

De 50-ton truck Volvo Electric van Vlot Logistics is in februari 2023 geleverd. In de periode van februari 2023 tot en met heden is deze dagelijks (ma-za) ingezet voor distributie van bouwmaterialen voor groothandel Stiho, vestiging Utrecht. De inzet is conform logistieke structuur 2: rondrit met leveringen op verschillende locaties (zie Figuur 3.2).

Het inzetprofiel is tussentijds gewijzigd. In de tweede periode (okt 2023 t/m jun 2024) is de gemiddelde afstand per werkdag aanzienlijk lager dan in de eerste periode (feb t/m aug 2023). Dat komt doordat de truck in de eerste periode steeds aan het eind van de werkdag de lading voor de volgende dag moest ophalen in Utrecht. Vanaf de tweede periode hoefde dit niet meer. In plaats daarvan leverde een dieseltruck dagelijks de lading af bij de hub van Vlot Logistics. Deze keuze is gemaakt zodat de ZE truck meer klantleveringen zou kunnen doen op een dag. Uit de data is gebleken dat dit ook klopt. Het gemiddeld aantal klantleveringen per werkdag nam toe van 7 naar 10. Daarnaast was er in de eerste periode nog regelmatig een tussentijdse bijlaadsessie op een snellaadstation nodig, in de tweede periode bijna niet meer.

Tabel 9: Voorbeeld inzetprofiel 50-ton truck Volvo voor Stiho.

Activiteit	Van	Naar	Starttijd	Stoptijd	Afstand [km]
rijden	standplaats Hub010, Rotterdam	Klant levering 1	06:00	06:55	24
lossen	Klant levering 1	Klant levering 1	06:55	07:15	
rijden	Klant levering 1	Klant levering 2	07:15	07:30	5
lossen	Klant levering 2	Klant levering 2	07:30	07:50	
rijden	Klant levering 3	Klant levering 3	07:50	08:15	16
lossen	Klant levering 3	Klant levering 3	08:15	08:35	
rijden	Klant levering 3	Klant levering 4	08:35	09:20	22
lossen	Klant levering 4	Klant levering 4	09:20	09:40	
rijden	Klant levering 4	Klant levering 5	10:10	10:50	15
lossen	Klant levering 5	Klant levering 5	10:50	11:10	
rijden	Klant levering 5	Klant levering 6	11:10	11:45	14
lossen	Klant levering 6	Klant levering 6	11:45	12:00	
rijden	Klant levering 6	Stiho vestiging Utrecht	12:00	13:00	44
laden	Stiho vestiging Utrecht	Stiho vestiging Utrecht	13:00	14:00	
rijden	Stiho vestiging Utrecht	standplaats Hub010, Rotterdam	14:00	15:30	72

Analyse van de data gedurende deze twee verschillende periodes levert de volgende resultaten voor de tijd/ruimte prestatie indicatoren voor deze inzet voor Stiho, zie Tabel 10.

Tabel 10: Resultaten van inzet 50-ton truck Volvo voor Stiho ten aanzien van tijd/ruimte.

Prestatie indicator	Periode 1	Periode 2
Totaal aantal werkdagen*	148	168
Gemiddelde afstand per werkdag [km]	225	140
Gem. aantal trips** per werkdag	9	11
Gem. aantal klantleveringen per werkdag	7	10
Gem. aantal publieke snellaadsessies (DC) per werkdag	0.30	0.08
Gem. afstand per trip [km]	25	20
Gemiddelde snelheid [km/uur]	50	40
Gemiddelde stoptijd [min]	19	17

* een werkdag telt vanaf 60 km

** een trip is gedefinieerd als transport over een minimale afstand van 1 km en een stoptijd van minimaal 5 min.

Analyse van de data gedurende deze twee verschillende periodes van de inzet voor Stiho betreffende energieverbruik levert de volgende resultaten, zie Tabel 11.

Tabel 11: Resultaten van inzet 50-ton truck Volvo ten aanzien van energieverbruik.

Prestatie indicator	Periode 1	Periode 2
Gemiddeld totaal energieverbruik [kWh / 100km]	118	144
Gemiddeld energieverbruik auxiliaries [kWh/100km]*	13.2	18.7
Gemiddeld regeneratie [kWh/100km]**	22.0	42.0
Gem. energie per laadsessie overnight charging (AC) [kWh]	229 (62%**)	181 (49%)
Gem. energie per laadsessie snelladen (DC) [kWh]	93 (25%)	136 (37%)
Gem. energie per laadsessie publiek snelladen (DC) [kWh]****	83 (22%)	120 (33%)
Verdeling depot / publiek laden [%]	90 / 10	95 / 5
Aantal laadsessies overnight charging (AC)	149	156
Aantal laadsessies snelladen (DC)	50	41
Aantal laadsessies publiek snelladen (DC)	45	11
Gem. laadtijd overnight charging (AC) [uren/min]	7 uur / 42 min	9 uur / 17 min
Gem. laadtijd snelladen (DC) [min]	34	55
Gem. laadtijd publiek snelladen (DC) [min]	32	44

* gem. energieverbruik auxiliaries is inbegrepen in het gemiddelde energieverbruik; auxiliaries is cabine, airco, driver hulpsystemen e.d., er is geen sprake van hulpfuncties;

** de netto beschikbare batterijcapaciteit is 368 kWh (bruto 540 kWh)

*** Regeneratie is de energie die teruggewonnen wordt bij het remmen. Dus per gereden km wordt er x kWh teruggewonnen. Deze is verwerkt in het totaal energieverbruik.

**** Op het depot van Vlot staat naast een AC lader ook een DC snellader. Publiek snelladen bestaat uit DC laadsessies die op een externe locatie gedaan zijn.

Hoger energieverbruik per km in periode 2

Wat allereerst opvalt is dat het gemiddelde energieverbruik (kWh/100km) in periode 2 aanzienlijk hoger is dan in periode 1.

Dit kan komen door een combinatie van factoren:

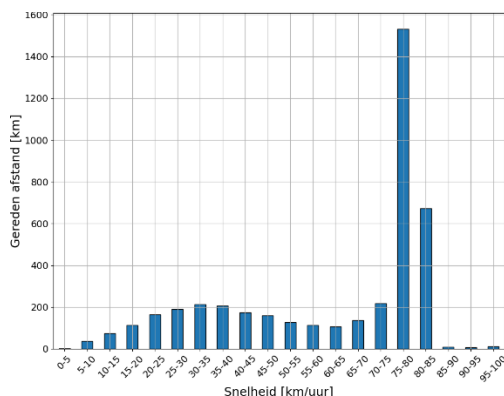
- 1. In periode 2 is de regeneratie erg hoog. Dat komt door het andere inzetprofiel, waarbij meer in stedelijk gebied wordt gereden.
De energie die wordt teruggewonnen bij het remmen wordt vervolgens namelijk niet met 100% efficiëntie weer ingezet. Uit de Volvo data blijkt ook dat er in periode 2 2.7x per km wordt geremd, terwijl er in periode 1 2.0x per km wordt geremd.
- 2. Periode 2 bestaat gemiddeld meer uit koudere maanden (oktober, november, december, januari, februari, maart, april, mei, juni, juli), terwijl er in periode 1 relatief weinig koude maanden voorkomen (februari, maart, april, mei, juni, juli, augustus).

In Tabel 12 zijn overeenkomende maanden uit periode 1 en periode 2 voor verschillende resultaten ten aanzien van energieverbruik naast elkaar gezet (periode 1 = 2023, periode 2 = 2024). Daarmee zou het effect van verschillende seizoenen weggenomen moeten zijn.

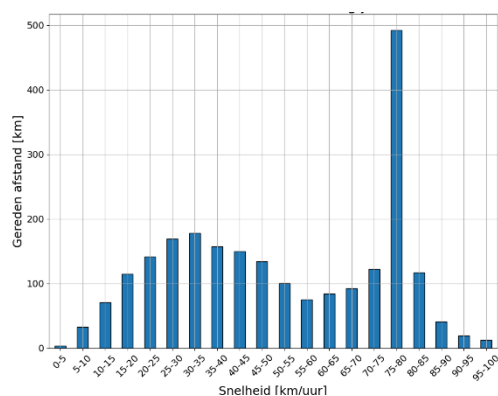
Tabel 12: Resultaten ten aanzien van energieverbruik voor overeenkomende maanden uit 2023 (periode 1) en 2024 (periode 2) naast elkaar gezet.

	Km/dag		Gem. verbruik [kWh/100km]		Gem. auxiliaries [kWh/100km]		Gem. regeneratie [kWh/100km]		Gem. gebruik rem [aantal/100km]		Gem. sterk remmen [aantal/100km]	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Periode	'23	'24	'23	'24	'23	'24	'23	'24	'23	'24	'23	'24
Jaar												
Feb	226	120	129	154	13.2	16.9	18.6	43.3	196	349	0.2	0.83
Maa	240	144	123	148	11.9	18.2	18.3	42.8	172	309	0.24	0.93
Apr	223	156	126	143	13.1	17.2	24	41.7	217	301	0.27	0.73
Mei	220	148	116	129	12.8	16.9	22.7	42.3	199	292	0.31	0.24
Jun	219	139	110	133	12.9	18.7	24.2	45	203	324	0.25	1.15
Jul	214	191	108	113	13.8	12.2	22	33.3	158	NaN	0.42	0.52
Aug	233	237	105	108	14.4	11	24.4	30.9	186	181	0.32	0.19

Op basis van tabel 8 lijkt verklaring 1 aannemelijk. Er wordt aanzienlijk meer geremd in periode 2 en er wordt ook relatief vaker sterk geremd. In periode 1 wordt er meer op constante snelheid gereden, 57% van de kilometers worden afgelegd op een snelheid tussen 70 en 85 km/uur, in periode 2 is dit 32% (zie snelheid vs. afstand verdeling figuren 4.1 en 4.2). In periode 2 is het auxiliaries verbruik per kilometer hoger (gemiddeld 12.8 kWh/100km in periode 1 vs. 17.6 kWh/100km in periode 2), o.a. doordat er meer stops zijn waardoor er vaker stilstand is. In juli en augustus 2024 lijkt het inzetprofiel weer op die van periode 1 en daar is het verschil in energieverbruik tussen 2023 en 2024 erg klein.



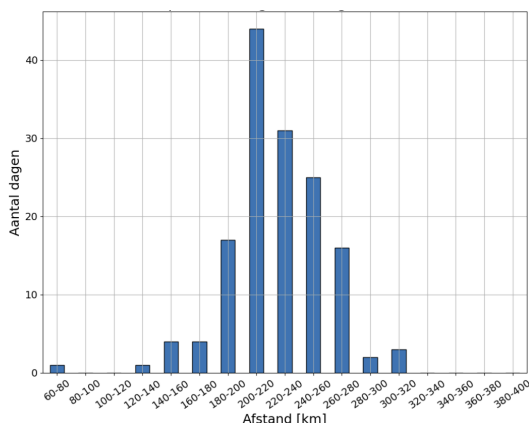
Figuur 4.1 : Snelheid vs. afstand verdeling juni 2023
50-ton truck Vlot (periode 1)



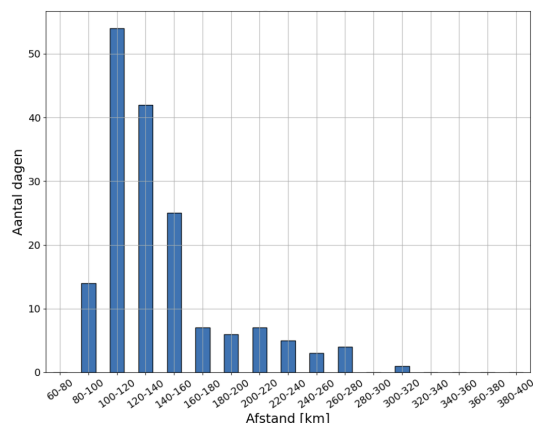
Figuur 4.2 : Snelheid vs. afstand verdeling juni 2024
50-ton truck Vlot (periode 2)

Wijziging inzetprofiel leidt tot minder publieke laadsessies

In periode 2 daalt het aantal publieke laadsessies naar 1 keer per 12 dagen (0.08 per werkdag) ten aanzien van 1 keer per 3 dagen (0.3 per werkdag) in periode 1. Dat is ook te zien in figuren 4.3 en 4.4. In periode 1 komen er nog veel werkdagen boven 240 km uit, vanaf waar de chauffeur besluit om tussentijds bij te laden. Dit komt neer op zo'n 30% van de werkdagen. In periode 2 komen zulke werkdagen bijna niet meer voor.

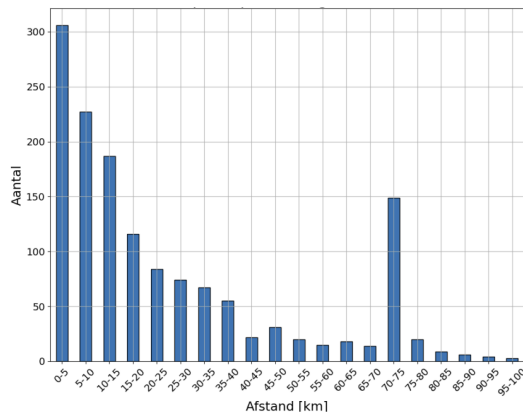


Figuur 4.3 : Afstand per werkdag verdeling periode 1
50-ton truck Vlot

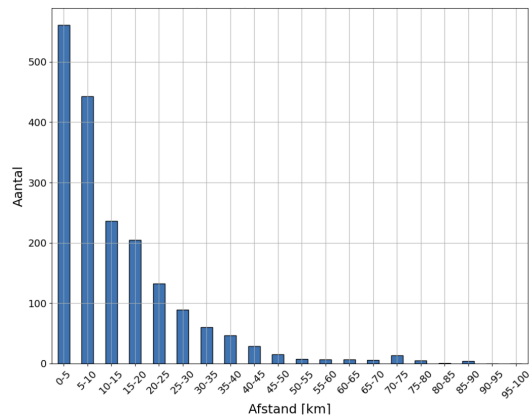


Figuur 4.4: Afstand per werkdag verdeling periode 2
50-ton truck Vlot

Daarnaast gaat de gemiddelde afstand per trip omlaag en worden er meer trips gemaakt zodat er meer klantleveringen gedaan kunnen worden. In periode 1 is er een duidelijke piek te zien tussen 70 – 75 km, die representeert het ophalen van de lading voor de volgende dag in Utrecht aan het eind van iedere werkdag. In periode 2 is deze rit weggevallen.



Figuur 4.5: Afstand per trip verdeling periode 1
50-ton truck Vlot



Figuur 4.6: Afstand per trip verdeling periode 2
50-ton truck Vlot

4.2.2 50-ton truck Volvo FM Electric (Van der Velden)

De Volvo truck van Van der Velden is in november 2023 geleverd. Pas vanaf juni 2023 is deze ingezet, namelijk voor het bedrijf VEPCO met als toepassing containertransport op/rondom de corridor Rotterdam – Venlo. De inzet is conform logistieke structuur 1: directe ritten (zie Figuur 3.1). De hoeveelheid werkdagen waarover data beschikbaar is, is beperkt, doordat de truck pas sinds kort is ingezet.

Analyse van de data gedurende deze periode levert de volgende resultaten van prestatie indicatoren voor deze inzet ten aanzien van tijd/ruimte factoren, zie Tabel 13.

Tabel 13: Resultaten van inzet 50-ton truck Volvo ten aanzien van tijd/ruimte.

Prestatie indicator	
Totaal aantal werkdagen*	36
Gemiddelde afstand per werkdag [km]	232
Gem. aantal trips** per werkdag	6.5
Gem. aantal publieke snellaadsessies (DC) per werkdag	0.31
Gem. afstand per trip [km]	37
Gemiddelde snelheid [km/uur]	57
Gemiddelde stoptijd [min]	16

* een werkdag telt vanaf 60 km

** een trip is gedefinieerd als transport over een minimale afstand van 1 km en een stoptijd van minimaal 5 min.

Analyse van de data gedurende deze periode van de inzet betreffende energieverbruik levert de volgende resultaten, zie Tabel 14.

Tabel 14: Resultaten van de inzet 50-ton truck ten aanzien van energieverbruik.

Prestatie indicator	
Gemiddeld energieverbruik [kWh / 100km]	110
Gemiddeld energieverbruik auxiliaries [kWh/100km]*	13.1
Gemiddeld regeneratie [kWh/100km]**	17.5
Gem. energie per laadsessie overnight charging (AC) [kWh]	203 (55%**))
Gem. energie per laadsessie snelladen (DC) [kWh]	132 (38%)
Gem. energie per laadsessie publiek snelladen (DC) [kWh]	132 (38%)
Verdeling depot / publiek laden [%]	83 / 17
Aantal laadsessies overnight charging (AC)	37
Aantal laadsessies snelladen (DC)	11
Aantal laadsessies publiek snelladen (DC)	11
Gem. laadtijd overnight charging (AC) [uren/min]	9 uur / 47 min
Gem. laadtijd snelladen (DC) [min]	45
Gem. laadtijd publiek snelladen (DC) [min]	45

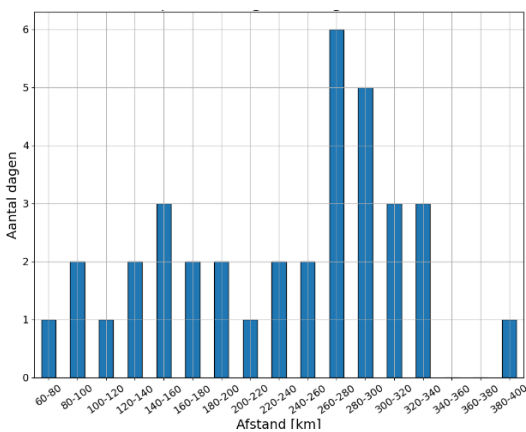
* gem. energieverbruik auxiliaries is inbegrepen in het gemiddelde energieverbruik;

** de netto beschikbare batterijcapaciteit is 368 kWh (bruto 540 kWh)

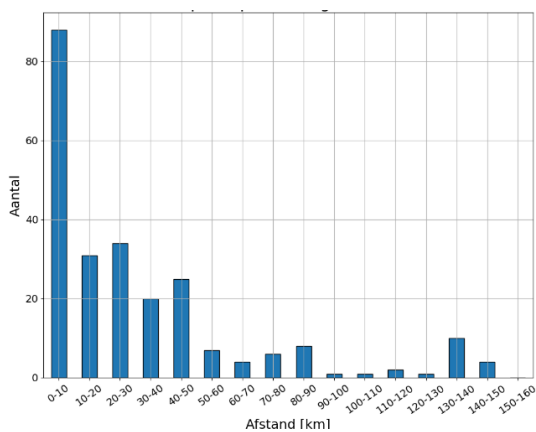
*** Regeneratie is de energie die teruggewonnen wordt bij het remmen. Dus per gereden km wordt er x kWh teruggewonnen.

Van der Velden truck rijdt langer door zonder tussentijds bij te laden

Figuur 4.7 laat zien dat de Van der Velden truck vaker lange dagen maakt qua afstand: 56% van de werkdagen wordt een afstand van meer dan 240 km afgelegd (ten opzichte van 30% Vlot periode 1). Echter wordt er ook bij deze truck maar op 30% van de werkdagen tussentijds bijgeladen. Daarmee kan geconcludeerd worden dat er bij deze truck pas later wordt besloten om tussentijds bij te laden. Bij de Vlot truck lag dit punt op 240 km, bij deze truck ligt dit punt op 280 km. Dat komt mede door het feit dat het gemiddelde energieverbruik van deze truck relatief lager is (110 kWh/100km vs. 118 kWh/100km Vlot periode 1). De data van deze truck beslaat wel enkel zomermaanden (juni, juli, augustus).



Figuur 4.7: Afstand per werkdag verdeling 50-ton truck Van der Velden



Figuur 4.8 : Afstand per trip verdeling 50-ton truck Van der Velden

4.2.3 Truck met haakarmsysteem (DAF CF Electric FAN)

De truck met haakarmsysteem is in december 2023 opgeleverd en vanaf december 2023 ingezet en gemonitord. De inzet is dus niet dagelijks geweest, maar op basis van behoefte/klantvraag. Er is dan ook moeilijk een gemiddeld inzetprofiel vast te stellen, maar in grote lijnen komt dit neer op een direct rit vanaf een leverancier naar een klant conform logistieke structuur 1 (zie Figuur 3.1). Een voorbeeld inzetprofiel kan er als volgt uitzien:

Tabel 15: Voorbeeld inzetprofiel truck met haakarmsysteem.

Activiteit	Van	Naar	Starttijd	Stoptijd	Afstand
rijden	standplaats Hub010	leverancier	06:30	07:20	43
laden	leverancier	leverancier	07:20	07:40	-
rijden	leverancier	klant	07:40	09:10	54
lossen	klant	klant	09:10	09:30	-
rijden	klant	standplaats Hub010	09:30	10:30	48

De prestaties van de inzet van de truck met haakarmsysteem ten aanzien van tijd/ruimte factoren gedurende deze periode levert de volgende resultaten, zie Tabel 16.

Tabel 16: Resultaten van inzet truck met haakarmsysteem ten aanzien van tijd/ruimte.

Prestatie indicator	Waarde
Totaal aantal werkdagen*	67
Gem. afstand per werkdag [km]	112
Gem. aantal trips per werkdag**	3.8
Gem. aantal klantleveringen per werkdag	1.8
Gem. afstand per trip [km]	28
Gemiddelde snelheid [km/uur]	54
Gemiddelde stoptijd [min]	112

* een werkdag telt vanaf 60 km

** een trip is gedefinieerd als transport over een minimale afstand van 1 km en een stoptijd van minimaal 5 min.

Analyse van de data gedurende deze periode van de inzet betreffende energieverbruik levert de volgende resultaten, zie Tabel 17.

Tabel 17: Resultaten van de inzet truck met haakarmsysteem ten aanzien van energieverbruik.

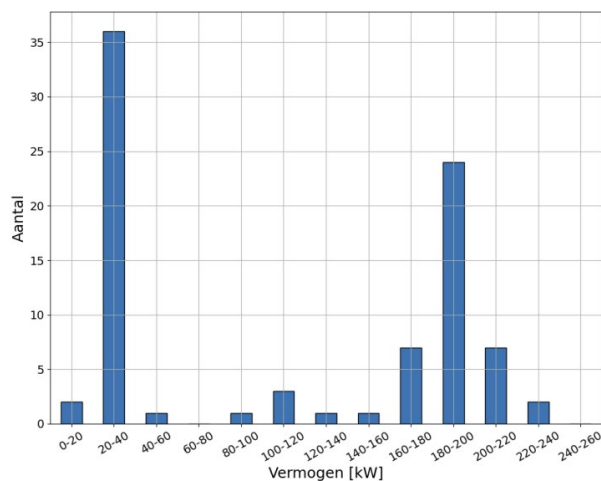
Prestatie indicator	Waarde
Gem. energieverbruik [kWh / 100km]	161
Gem. energieverbruik tijdens idling [kWh/100km]*	15.0
Gem. regeneratie [kWh/100km]**	19.3
Gem. energie per laadsessie depot (DC) [kWh]	138
Gem. energie per laadsessie publiek snelladen (DC) [kWh]	117
Verdeling depot / publiek laden (aandeel energie) [%]	87 / 13
Aantal laadsessies depot (DC)	73
Aantal laadsessies publieke snelladen (DC)	12
Gem. laadtijd depot (DC) [uren/min]	2 uur / 18 min
Gem. laadtijd publiek snelladen (DC) [min]	47

* Betreft de bijdrage aan het totale energieverbruik dat plaats heeft gevonden tijdens idling t.o.v. het aantal gereden km. Dit is onderdeel van het gemiddelde energieverbruik en komt er dus niet nog bij op.

** Regeneratie is de energie die teruggewonnen wordt bij het remmen. Dus per gereden km wordt er x kWh teruggewonnen.

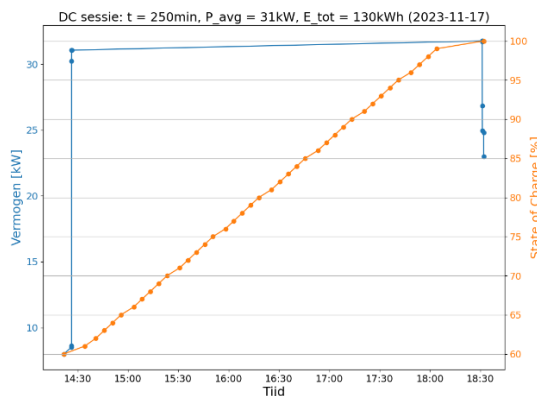
Variatie in gemiddeld vermogen DC laadsessies

De haakarm truck beschikt enkel over de mogelijkheid om DC te laden en het depot van Vlot beschikt over een 300 kW DC snellader en een mobiele 63A DC lader. Figuur 4.9 laat de verdeling van gemiddelde vermogens waarmee geladen is zien. Hieruit blijkt dat ruim de helft van de laadsessies op een hoog vermogen zijn geweest van rond de 200 kW, dus op de 300 kW snellader. De truck zelf kan op max. 250 kW laden. Daarnaast gaat hier om het gemiddelde vermogen over de laadsessie (boven 80% SOC gaat het laadvermogen meestal omlaag door battery management system). Input van de gebruiker geeft aan dat ze in principe eerder of voor de 300kW lader kiezen, mits deze beschikbaar is. De mobiele 63A lader is geschikt wanneer er ruim voldoende tijd is om te laden.

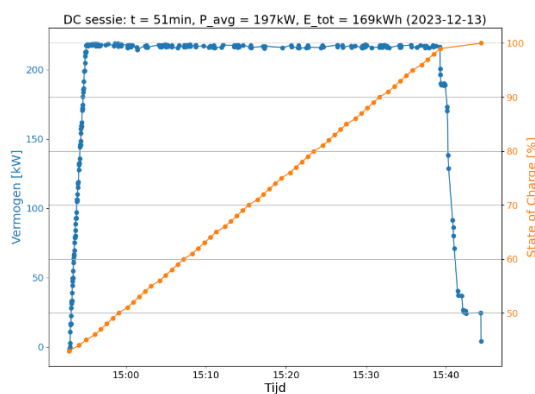


Figuur 4.9 : Gemiddeld vermogen per laadsessie verdeling haakarm truck

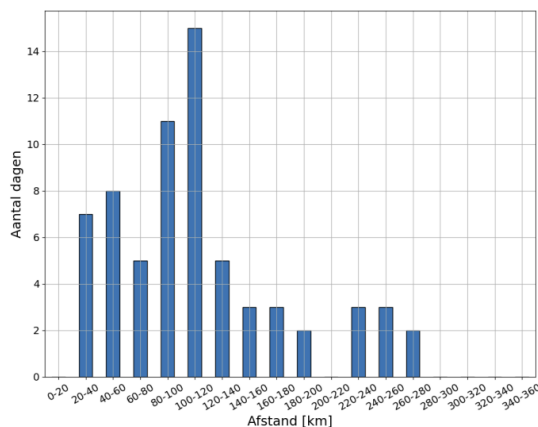
Figuren 4.10 en 4.11 laten de twee meest voorkomende varianten van laadsessies zien uit de data. De oranje lijn representeert de state of charge tijdens het laden en de blauwe lijn het vermogen waarmee geladen wordt.



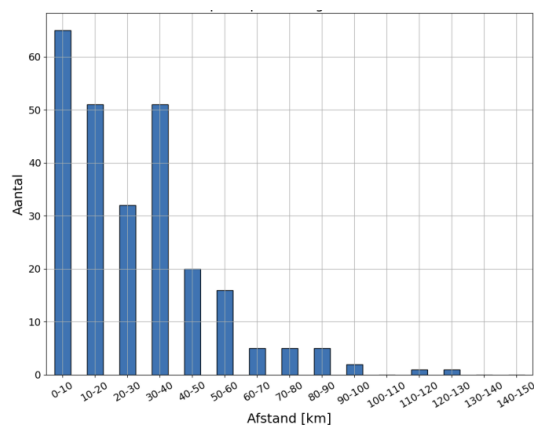
Figuur 4.10: Typische laag vermogen laadsessie haakarm truck



Figuur 4.11: Typische hoog vermogen laadsessie haakarm truck



Figuur 4.12: Afstand per werkdag verdeling haakarm truck



Figuur 4.13 : Afstand per trip verdeling haakarm truck

4.2.4 Betonmixertrailer type 'Stetter' (15m³)

De betonmixertrailer 'Stetter' is in mei 2023 opgeleverd en vanaf die periode tot en met okt 2023 incidenteel ingezet en gedurende deze periode gemonitord. Daarna is er geen vraag naar de inzet van de elektrische betonmixertrailer geweest en derhalve ook geen inzet. Ook voor de betonmixertrailer type 'Liebher' geldt dat het tot op heden nog niet gelukt is deze met enige regelmaat in te zetten in de praktijkomgeving van de bouw. De inzet is dus niet dagelijks geweest, maar op basis van behoefte/klantvraag. Er is dan ook moeilijk een gemiddeld inzetprofiel vast te stellen, maar in grote lijnen komt dit neer op een direct rit vanaf een leverancier naar een klant conform logistieke structuur 1 (zie Figuur 3.1). Het is ook mogelijk dat er deellieferingen op verschillende bouwplaatsen worden gedaan. In dat geval komt de inzet meer overeen met een rondrit conform logistieke structuur 2 (zie Figuur 3.2).

De prestaties van de inzet van de betonmixertrailer zijn enkel ten aanzien van energieverbruik tijdens inzet gemonitord en geanalyseerd en weergegeven in tabel 14.

Tabel 14: Resultaten van de inzet betonmixertrailer ten aanzien van energieverbruik

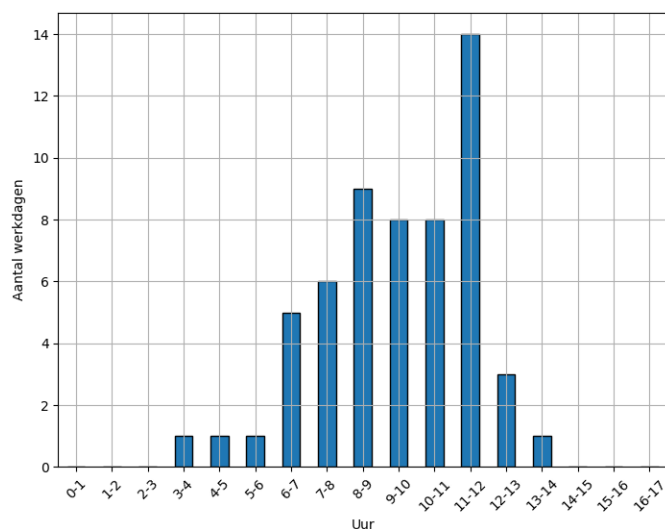
Prestatie indicator	Waarde
Totaal aantal werkdagen	57
Gemiddeld vermogen	4.7 kW
Gemiddeld energieverbruik per werkdag*	44.8 kWh
Gemiddeld aantal draaiuren per werkdag	9 uur / 30 min
Gemiddelde laadtijd per werkdag	2 uur / 2 min
Gemiddeld oplaadvermogen	22 kW AC
Aandeel tijd hoog toerental**	9.0%
Aandeel energieverbruik hoog toerental**	33%
Gemiddeld verbruik hoog toerental**	21 kW
Gemiddeld verbruik laag toerental **	3.4 kW

* De betonmixer heeft een batterijcapaciteit van 100 kWh

** De betonmixer draait tijdens arbeid meestal op 800 RPM (=laag toerental) en soms voor kortere periodes op 1800 RPM (=hoog toerental). Tijdens laden/lossen draait de betonmixer op een hoog toerental.

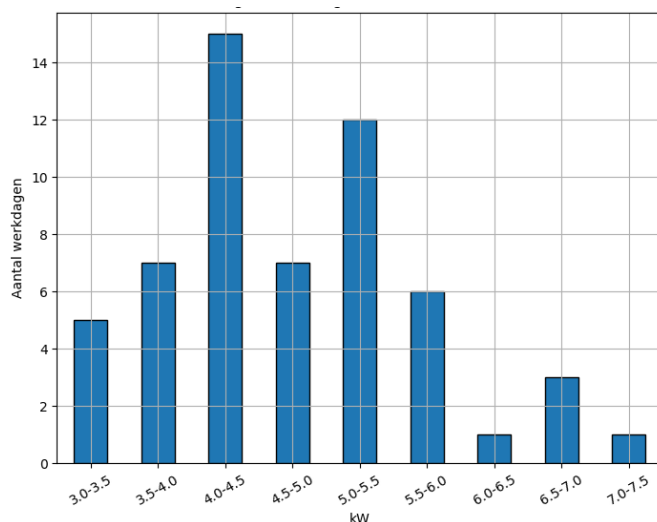
Betonmixertrailer kan lange dagen maken

De resultaten laten zien dat de betonmixer uitstekend in staat is om hele werkdagen te draaien. Gemiddeld 9 à 10 uur per dag en de langste werkdag die gemaakt is draaide hij ruim 13 uur (zie figuur 4.14). Op dat moment was er nog 22% SOC over. Bij een gemiddeld vermogen van 4.7 kW is het mogelijk om richting de 20 uur te draaien, wat het ook mogelijk maakt om slechts 1 keer per 2 werkdagen weer volledig op te laden. De machine laadt dan weer op in ongeveer 4 à 5 uur bij 22 kW AC laden.



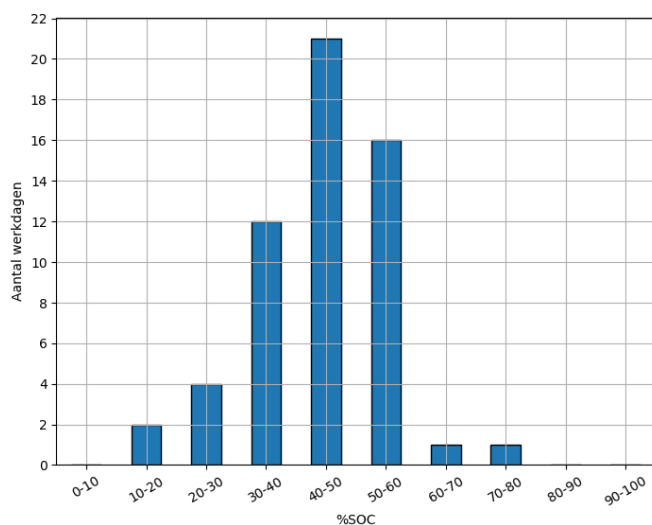
Figuur 4.14: Variatie in draaiuren per werkdag betonmixertrailer

Figuur 4.15 laat de variatie in gemiddeld vermogen per werkdag zien van de betonmixer. Ongeveer 80% van de werkdagen is het gemiddelde vermogen tussen de 4 en 6 kW. 10% van de dagen is het verbruik hoog, namelijk tussen de 6 en 7.5 kW. Echter, ook op die dagen kan er ruim 13 uur gedraaid worden.



Figuur 4.15 : Variatie in gemiddeld vermogen betonmixertrailer

Figuur 4.16 laat de variatie in Depth of Discharge (DoD) per werkdag zien. DoD is hier de hoeveelheid SOC die is verbruikt gedurende een werkdag. Ongeveer 70% van de werkdagen ligt de Depth of Discharge onder de 50%. In dat geval kunnen er 2 van zulke werkdagen op rij gedraaid worden, zonder tussentijds bij te laden.



Figuur 4.16 : Variatie in Depth of Discharge per werkdag betonmixertrailer

Ondanks deze goede prestaties en inzetmogelijkheden (ruim voldoende accucapaciteit) is het in de praktijk zeer moeizaam gebleken de betonmixer trailers ('Stetter' en 'Liebherr') ingezet te krijgen. Ook een aanbod van de eigenaar om ervaring op te doen met de inzet zonder daarvoor kosten in rekening te brengen heeft hierin geen verandering gebracht. De les die we hieruit kunnen trekken is dat er sprake moet zijn van zeer hoge urgentie of een noodzakelijke voorwaarde om tot inzet in de bouw te komen.

4.2.5 Mobiel snellaadstation (300kW Lanova Hypercharger) inclusief accu

De mobiele snellaadstations van Van der Velden en Vlot logistics zijn respectievelijk in november 2023 en april 2024 opgeleverd. De snellader van Van der Velden is vanaf de opleverdatum in gebruik op de standplaats van Van der Velden, waarbij deze incidenteel is gebruikt voor het opladen van elektrische voertuigen. De snellader van Vlot Logistics is vanaf april 2024 tot en met heden ingezet op bouwplaats Zuiderhof van Dura Vermeer voor het opladen van bouwvoertuigen en/of bouwmachines. Dit is conform logistiek concept 2 uit hoofdstuk 3.3.2. (zie Figuur 3.6).

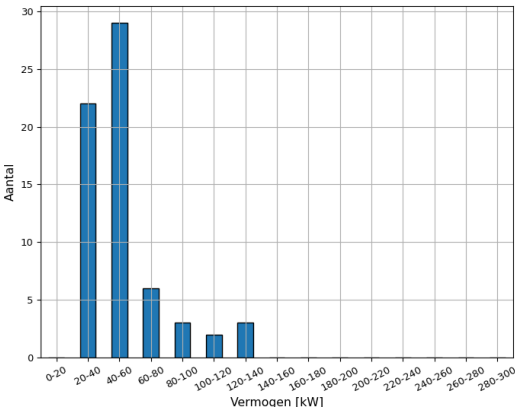
Tabel 18 : Resultaten van inzet snellaadstations

Prestatie indicator	Vlot	Vd Velden
Werkdagen	44	92
Totaal geladen [kWh]	2545	9560
Totaal aantal laadsessies	65	128
Gemiddeld aantal laadsessies per werkdag	1.5	1.4
Gemiddelde hoeveelheid energie per laadsessie [kWh]	39	75
Gemiddelde tijdsduur per laadsessie [min]	45	40
Gemiddeld vermogen per laadsessie [kW]	55	104
Gemiddelde bezetting	1.9%	1.7%
Gemiddelde bezetting nacht (00:00 – 06:00)	0%	0%
Gemiddelde bezetting ochtend (06:00 – 12:00)	5.8%	2.4%
Gemiddelde bezetting middag (12:00 – 18:00)	1.6%	3.4%
Gemiddelde bezetting avond (18:00 – 24:00)	0%	0.9%

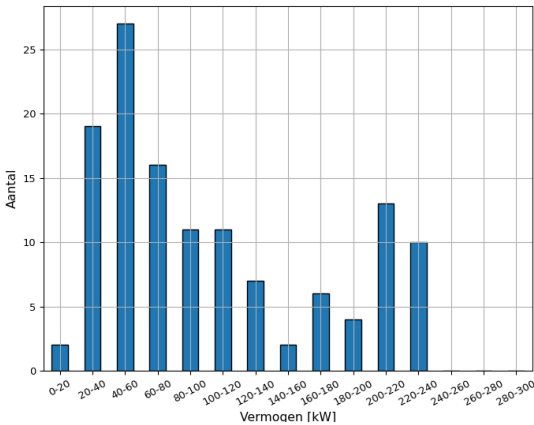


Hoge vermogen van snellader is op de bouwplaats niet benut

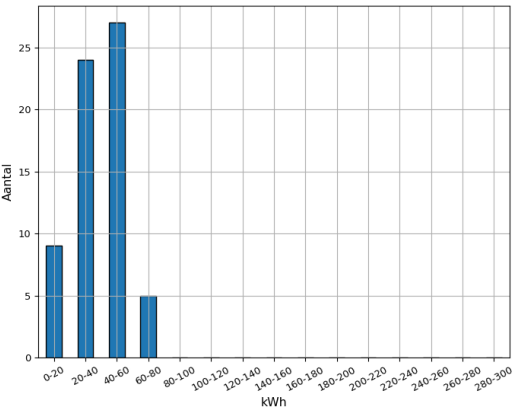
In tabel 18 en onderstaande figuren worden de prestaties van de snellaadstations vergeleken. Figuur 4.17 laat zien dat de systemen op de bouwplaats voornamelijk zijn geladen op een relatief klein vermogen van tussen de 20 en 60 kW. Dat komt doordat deze snellader in de praktijk voornamelijk werd gebruikt voor het laden van elektrische auto's van werknemers. De enige elektrische bouwmachine aanwezig op het terrein was een verreiker. Het hoge vermogen van de snellader wordt beter benut op het depot van Van der Velden (figuur 4.18). Deze had een openbaar karakter en werd zowel gebruikt door elektrische auto's als elektrische vrachtwagens, die vaker op hoge vermogens laden.



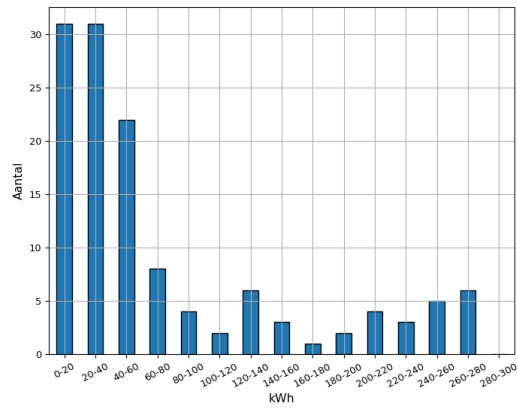
Figuur 4.17: Gemiddeld vermogen per laadsessie verdeling (Vlot)



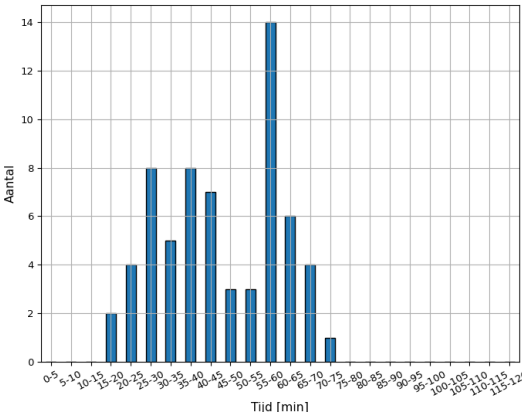
Figuur 4.18 : Gemiddeld vermogen per laadsessie verdeling (Van der Velden)



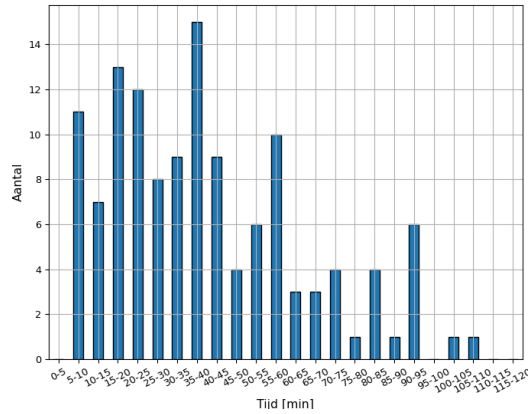
Figuur 4.19 : kWh per laadsessie verdeling (Vlot)



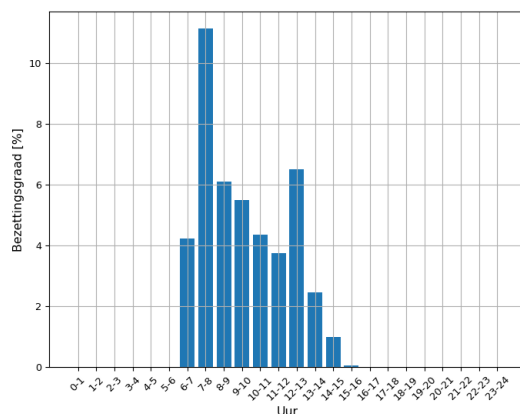
Figuur 4.20 : kWh per laadsessie verdeling (Van der Velden)



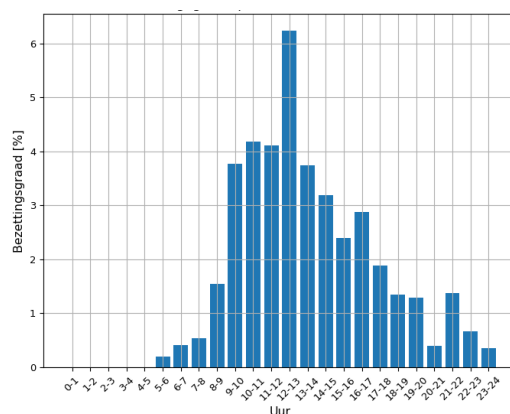
Figuur 4.21: Tijdsduur per laadsessie verdeling (Vlot)



Figuur 4.22: Tijdsduur per laadsessie verdeling (Van der Velden)



Figuur 4.23: Bezettingsgraad per uur (Vlot)



Figuur 4.24 : Bezettingsgraad per uur (Van der Velden)

Snelladers worden voornamelijk in de ochtend en de middag gebruikt

Figuren 4.23 en 4.24 laten de bezettingsgraad per uur zien van beide snelladers, wat aangeeft op welke tijden de snelladers het vaakst zijn gebruikt. De snellader van Vlot op de bouwplaats werd enkel tussen 06:00 en 15:00 gebruikt. De snellader van Van der Velden werd voornamelijk in de ochtend en middag benut (85% van de tijd).

4.3 Conclusies monitoring

Verschillende inzetprofielen voor de 50-ton Volvo truck van Vlot Logistics hebben geleid tot verschillende prestaties op gebied van bereik en energieverbruik. De wijziging in inzetprofiel kwam voort uit de wens om meer klantleveringen per dag te kunnen realiseren (van 7 per dag in periode 1 naar 10 per dag in periode 2) en minder publieke laadsessies overdag nodig te hebben (van 0.3 per dag in periode 1 naar 0.08 per dag in periode 2). Het veranderde inzetprofiel leidde tot meer inzet in een stedelijke omgeving met het daarbij horende rijgedrag van veel remmen en optrekken. Dit heeft nadelige gevolgen gehad voor het gemiddelde energieverbruik per kilometer en gecorrigeerd voor seizoenseffect heeft dat geleid tot een verschil van 14% (141 kWh/100km in periode 2 versus 121 kWh/100km in periode 1).

Ten opzichte van de 50-ton trucks uit het DKTI project VERZET van 4 jaar geleden zijn de prestaties al aanzienlijk verbeterd. De 50-ton Volvo trucks bieden een groter bereik en betere energieprestaties dan de 50-ton trucks van 4 jaar geleden in het DKTI project VERZET met name door de grotere accucapaciteit (netto 369 kWh ten opzichte van 280 kWh). Dit komt in de praktijk neer op een verbetering op bereik van 80 tot 120 km/dag (VERZET, afhankelijk van belading) naar 240 km/dag (Fundament, na 240 km wordt er in de praktijk bijgeladen) zonder bijladen. Op energieverbruik is er sprake van een verbetering ten opzichte van VERZET: van gemiddeld 192 kWh/100km (ZE kraanwagen) en 158 kWh/100km (ZE stenentrekker) naar gemiddeld 118 tot 144 kWh/100 km (afhankelijk van inzetomstandigheden). De 50-ton truck van Van der Velden is met een gemiddelde afstand van 232 km per werkdag op vergelijkbare wijze ingezet als de 50-ton truck van Vlot Logistics in periode 1. Dat heeft geresulteerd in een relatief laag energieverbruik (110 kWh/100km, enkel o.b.v. data over de maanden juni, juli en augustus 2024). Een inzetprofiel met langere ritten op constante snelheid is voordeliger voor het gemiddelde energieverbruik per kilometer ten opzichte van een inzetprofiel in een stedelijke omgeving met meer optrekken en remmen.

De betonmixertrailer type 'Stetter' en 'Liebher'(15m³) zijn qua accucapaciteit overgedimensioneerd en kunnen daardoor lange dagen maken zonder in de problemen te komen op gebied van resterend energieniveau van de accu (State of Charge, SOC). Per werkdag is er gemiddeld 9 uur en 30 min gedraaid op een gemiddeld vermogen van 4.7 kW, wat heeft geresulteerd in een gemiddeld energieverbruik van 44.8 kWh per werkdag. De accucapaciteit is 100 kWh, wat het mogelijk maakt om 20 uur te draaien zonder tussentijds bij te laden. Ondanks deze goede prestaties en inzetmogelijkheden (ruim voldoende accucapaciteit) is het in de praktijk zeer moeizaam gebleken de betonmixer trailers ('Stetter' en 'Liebher') ingezet te krijgen. De les die we hieruit kunnen trekken is dat er sprake moet zijn van zeer hoge urgentie of een noodzakelijke voorwaarde om tot inzet in de bouw te komen.

De snellaadstations zijn op twee verschillende toepassingen ingezet. De snellader van Van der Velden stond op het depot van Van der Velden en had een openbaar karakter. Deze is gebruikt door elektrische auto's en trucks, waarbij een deel van de laadsessies op hoog vermogen zijn geweest. De snellader van Vlot Logistics is ingezet op een bouwplaats van Dura Vermeer. Op de bouwplaats is het hoge vermogen van de snellader nauwelijks gebruikt aangezien daar voornamelijk personenauto's van werknemers zijn opgeladen gedurende de ochtend en middag. Om tot rendabele inzet van de snellaadstations te komen is een verhoging van de gemiddelde bezetting nodig (nu gemiddeld 1,9% Vlot Logistics en 1,7% Van der Velden).

5 Total Cost of Ownership

De Total Cost of Ownership (TCO) bestaat uit kosten van het gebruik (energiekosten en onderhoudskosten) en van het bezit (afschrijvingskosten) berekend over de economische levensduur van de machine. Dit wordt uitgerekend in een kostengetal per gereden kilometer. In deze analyse wordt geëvalueerd hoe de elektrische variant van een machine zich verhoudt t.o.v. de conventionele diesel variant.

De berekening wordt gedaan met behulp o.b.v. het Panteia TCO-model⁶, de monitoringsdata van de machines en input uit de praktijk van Vlot Logistics en Van der Velden. Enkel de haakarm truck (DAF CF Electric FAN) en de 50t ZE truck (Volvo FM Electric) van Vlot Logistics worden geanalyseerd. Andere machines worden niet meegenomen in de analyse, omdat deze zeer beperkt zijn ingezet.

De volgende kosten zijn meegenomen:

1. **Kosten voertuig (jaarlijkse afschrijving):** De kosten van het voertuig bestaan uit de totale aanschafkosten van het voertuig en het accupakket min de restwaarde en (eventuele) subsidies verdeeld over de economische levensduur.
2. **Kosten oplaadsysteem (jaarlijkse afschrijving):** De kosten voor het oplaadsysteem bestaan uit operationele kosten plus aankoop- en installatiekosten.
3. **Energiekosten:** De elektriciteitskosten van de elektrische variant hangen af van de verdeling depot / extern laden, het gemiddelde energieverbruik (kWh / km) en de jaarlijks gereden afstand. Bij de diesel variant wordt het brandstofverbruik en het AdBlue verbruik meegenomen.
4. **Banden- / reparatie- / onderhoudskosten:** De jaarlijkse kosten voor banden en reparatie zijn even hoog ingeschat voor beide varianten. De kosten voor onderhoud zijn twee keer zo hoog voor de diesel variant vergeleken met de elektrische variant.
5. **Rente, belastingen en verzekering:** De kosten voor rente, belastingen en verzekeringen komen deels uit het Panteia model en zijn aangepast / geverifieerd o.b.v. gebruikersinput.
6. **Chauffeurskosten:** De chauffeurskosten zijn gebaseerd op een uurloon (incl. sociale lasten) van ongeveer €31,50 en komen uit het Panteia model. De kosten zijn nagenoeg gelijk voor beide varianten.
7. **Algemene kosten (overhead):** Komen uit het Panteia model en bestaan o.a. uit loonkosten en huisvesting. Deze kosten bestaan uit geraamde percentages van overige kostenposten.

De analyse wordt gedaan op basis van tenminste twee verschillende inzetprofielen (jaarkilometrages) per voertuig, op basis van de monitoring data. In tabellen 19 en 20 staan de input parameters die gebruikt zijn voor de TCO analyse voor zowel elektrisch als diesel.

⁶ Panteia (2024), Total Cost of Ownership-model voor heavy-duty elektrisch wegtransport, <https://topsectorlogistiek.nl/tco-vracht/>

Input parameters

Tabel 19: Input parameters TCO analyse 50t truck

Parameter	Elektrisch	Diesel
Economische levensduur	10 jaar	7 jaar
Aankoopsubsidie	DKTI-subsidie* MIA-subsidie	
Aankoopprijs	€427000	€144000
Netto aankoopprijs	€358000	€144000
Restwaarde einde levensduur	€51000	€33000
Jaarlijkse afschrijving	€30600	€15800
Jaarkilometrage	46350 km	46350 km
Energieverbruik	1.26 kWh / km	0.40 L / km
Energiekosten	Depot: €0.34 / kWh (incl. kosten oplaadsysteem) Extern: €0.54 / kWh	€1.55 / L
Rente	€8600	€3700
Verzekering	€5500	€4900
Banden	€0.046 / km	€0.046 / km
Onderhoud	€0.042 / km	€0.084 / km
Reparatie	€1500 / jaar	€1500 / jaar

* in dit project is gebruik gemaakt van de DKTI subsidie, het is ook mogelijk gebruik te maken van de AanZET subsidieregeling ([Aanschafsubsidie Zero-Emissie Trucks \(AanZET\) \(rvo.nl\)](#)) die vergelijkbaar is in omvang van de subsidie.

Tabel 20: Input parameters TCO analyse haakarm truck

Parameter	Elektrisch	Diesel
Economische levensduur	10 jaar	7 jaar
Aankoopsubsidie	DKTI-subsidie* MIA-subsidie	
Aankoopprijs	€520000	€320000
Netto aankoopprijs	€444000	€320000
Restwaarde einde levensduur	€62400	€73600
Jaarlijkse afschrijving	€38100	€35200
Jaarkilometrage	29120 km	29120 km
Energieverbruik	1.45 kWh / km	0.40 L / km
Energiekosten	Depot: €0.34 / kWh (incl. kosten oplaadsysteem) Extern: €0.54 / kWh	€1.55 / L
Rente	€10400	€8200
Verzekering	€6700	€10900
Banden	€0.046 / km	€0.046 / km
Onderhoud	€0.042 / km	€0.084 / km
Reparatie	€1500 / jaar	€1500 / jaar

* in dit project is gebruik gemaakt van de DKTI subsidie, het is ook mogelijk gebruik te maken van de AanZET subsidieregeling ([Aanschafsubsidie Zero-Emissie Trucks \(AanZET\) \(rvo.nl\)](#)) die vergelijkbaar is in omvang van de subsidie.

Inzetprofielen

De 50t truck wordt geanalyseerd voor de volgende drie inzetprofielen:

- 1. Het verwachte jaarkilometrage conform de gemonitorde inzet overeenkomend met periode 1 van Vlot Logistics, door het gemiddelde dagkilometrage te vermenigvuldigen met 260 werkdagen
- 2. Het verwachte jaarkilometrage conform de gemonitorde inzet overeenkomend met periode 2 van Vlot Logistics, door het gemiddelde dagkilometrage te vermenigvuldigen met 260 werkdagen
- 3. Het jaarkilometrage gemeten over het eerste jaar

De haakarm truck is incidenteel ingezet over een beperkte periode. De TCO-analyse wordt gedaan voor de volgende twee inzetprofielen.

- 1. De gemonitorde inzet geëxtrapoleerd naar een jaarkilometrage (incidentele inzet uit de monitoringsperiode leidt tot 90 werkdagen in een jaar)
- 2. Het verwachte jaarkilometrage wanneer de haakarm volop ingezet zou zijn geweest, door het gemiddelde dagkilometrage (112 km) te vermenigvuldigen met 260 werkdagen

Tabel 21: Jaarkilometrages van inzetprofielen die als input voor de TCO analyse worden gebruikt

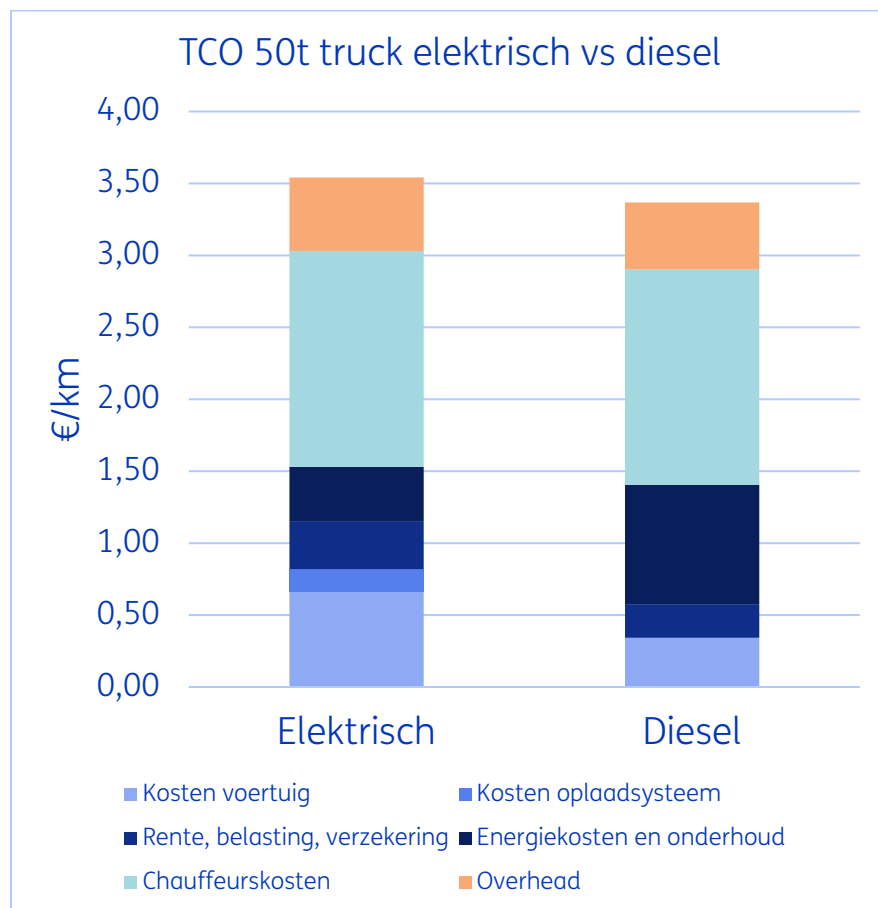
Inzetprofiel	50t ZE truck	Haakarm truck
1	54000 km	10000 km
2	34000 km	29000 km
3	46000 km	-

Daarnaast wordt er voor beide voertuigen gevarieerd met jaarkilometrages om tot een TCO € / km vs. jaarkilometrage grafiek te komen.

5.1 TCO resultaten

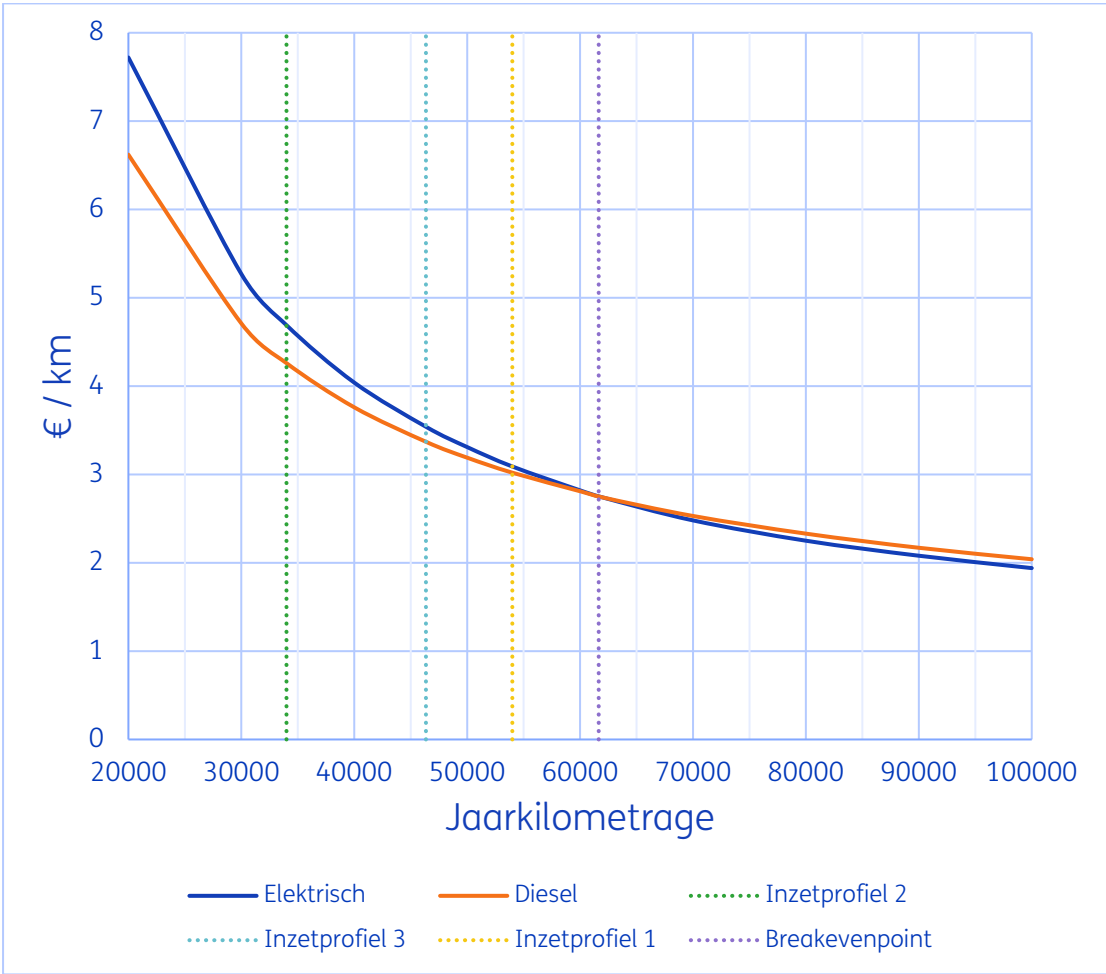
De resultaten van de TCO berekeningen worden achtereenvolgens getoond voor de 50t ZE truck (Volvo FM Electric) en voor de haakarm truck (DAF CF Electric FAN) van Vlot Logistics.

5.1.1 Resultaten 50t ZE truck



Figuur 5.1: TCO uitgesplitst elektrisch vs. diesel 50t truck bij inzetprofiel 3

Figuur 5.1 laat bij inzetprofiel 3 (jaarkilometrage gemeten over eerste jaar) zien hoe de kosten zijn verdeeld over de verschillende kostenposten. De elektrische variant is bij dit inzetprofiel duurder (€3.54 / km vs. € 3.37 / km). De diesel is wel duurder in gebruik en onderhoud. Dit betekent dat wanneer het jaarkilometrage toeneemt, de TCO van de elektrische variant relatief voordeliger uitpakt.



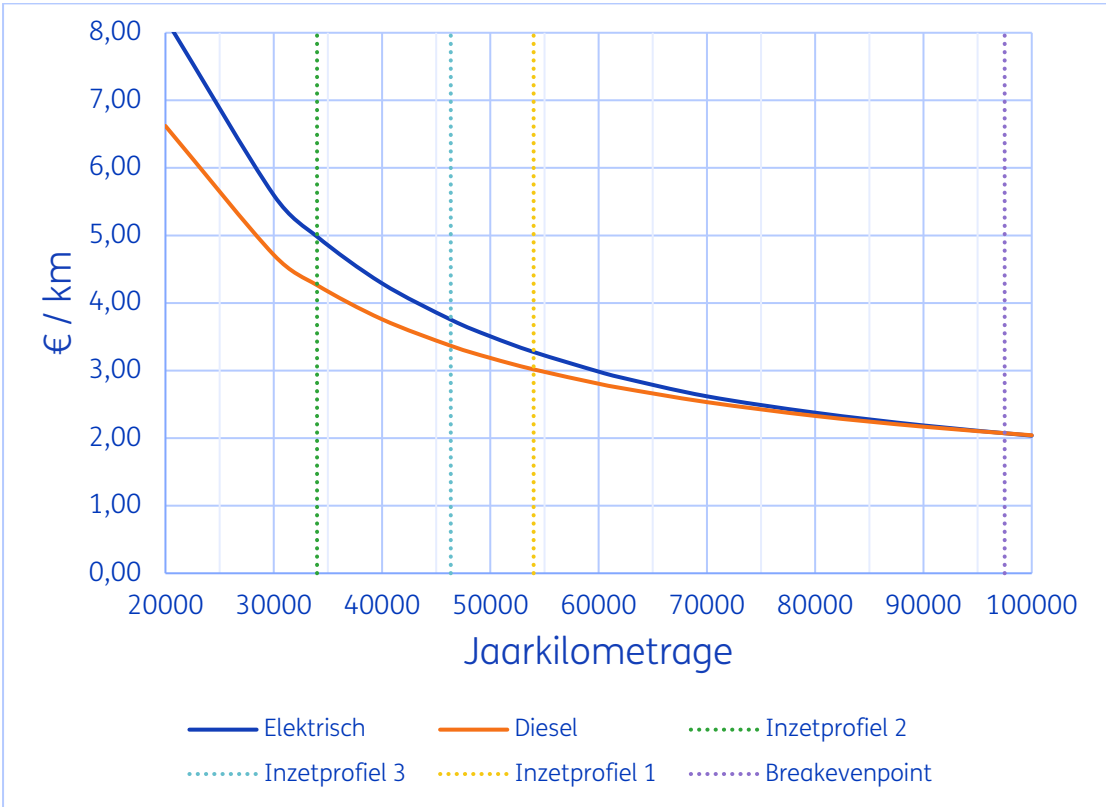
Figuur 5.2 : TCO (€/km) vs. jaarkilometrage grafiek 50t truck elektrisch vs. diesel

De elektrische variant is duurder dan de diesel voor alle drie de inzetprofielen. Echter, de verschillen zijn klein, zoals te zien in tabel 22.

Tabel 22: TCO meerkosten elektrisch t.o.v. diesel 50t truck

Inzetprofiel	Jaarkilometrage	Meerkosten elektrisch per km
1	54000 km	2%
2	34000 km	10%
3	46000 km	5%

Vanaf een jaarkilometrage van 62.000 km zijn de kosten per km van de elektrische variant lager dan de diesel (zie figuur 5.2). Uitgaande van 260 werkdagen in een jaar komt dat neer op een gemiddeld dagkilometrage van 238 km, wat haalbaar is gezien de range van de elektrische variant. Inzetprofiel 1 (gemonitorde inzet conform periode 1 Vlot Logistics) is qua kosten een meer geschikte toepassing voor dit voertuig dan inzetprofiel 2 (gemonitorde inzet conform periode 2 Vlot Logistics) De elektrische variant is goedkoper in gebruik en heeft dus baat bij een hoger jaarkilometrage ten opzichte van de diesel.



Figuur 5.3 : TCO (€/km) vs. jaarkilometrage grafiek 50t truck elektrisch vs. diesel exclusief DKTI- en MIA-subsidie

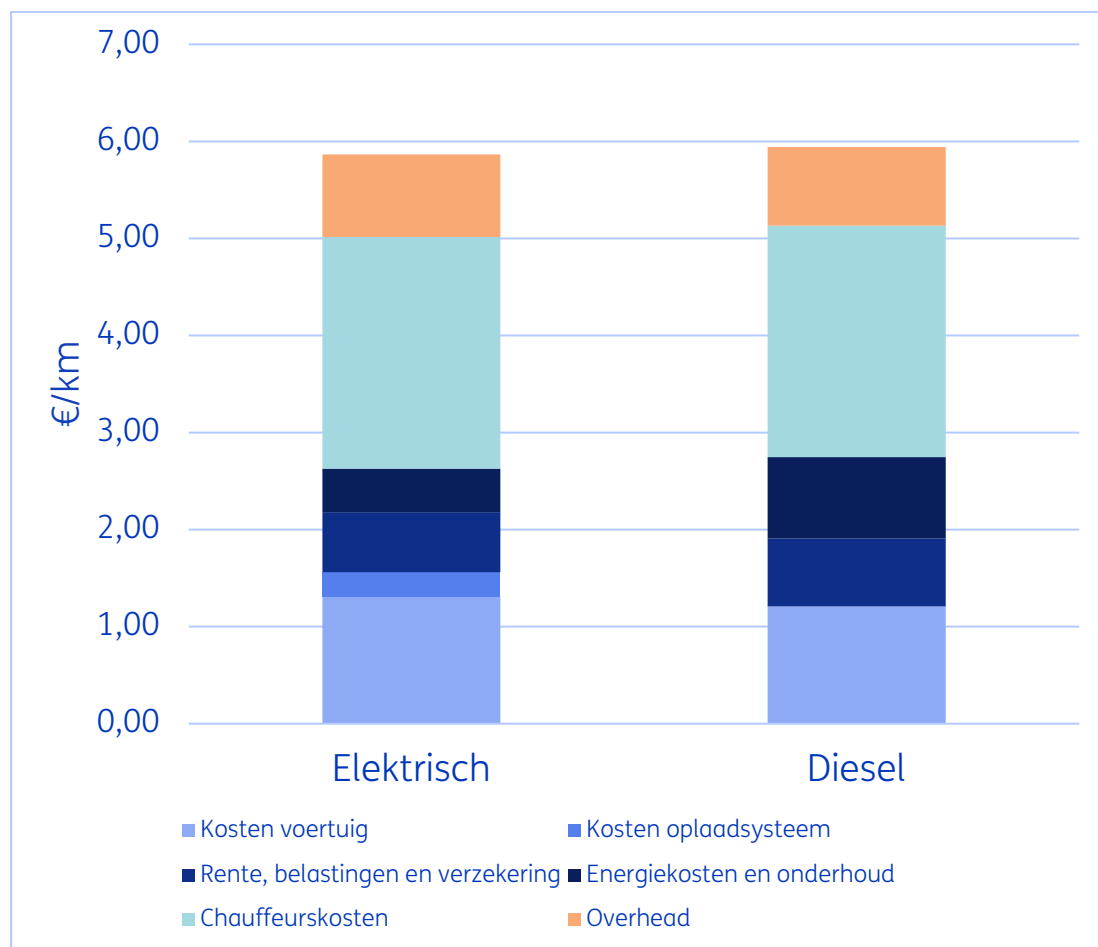
Exclusief aankoopsubsidies (DKTI en MIA) wordt de elektrische variant pas goedkoper dan de diesel bij een jaarkilometrage van tenminste 98000 km (dagkilometrage van 377 km). Bij zo'n jaarkilometrage zou er bijna dagelijks tussentijds moeten worden bijgeladen.

Tabel 23 laat de meerkosten voor elektrisch zien ten opzichte van diesel bij de drie waargenomen inzetprofielen. Voor deze toepassing zijn de subsidies vooralsnog nodig om qua kosten concurrerend te kunnen zijn met de diesel variant.

Tabel 23 : TCO meerkosten elektrisch t.o.v. diesel 50t truck exclusief DKTI- en MIA-subsidie

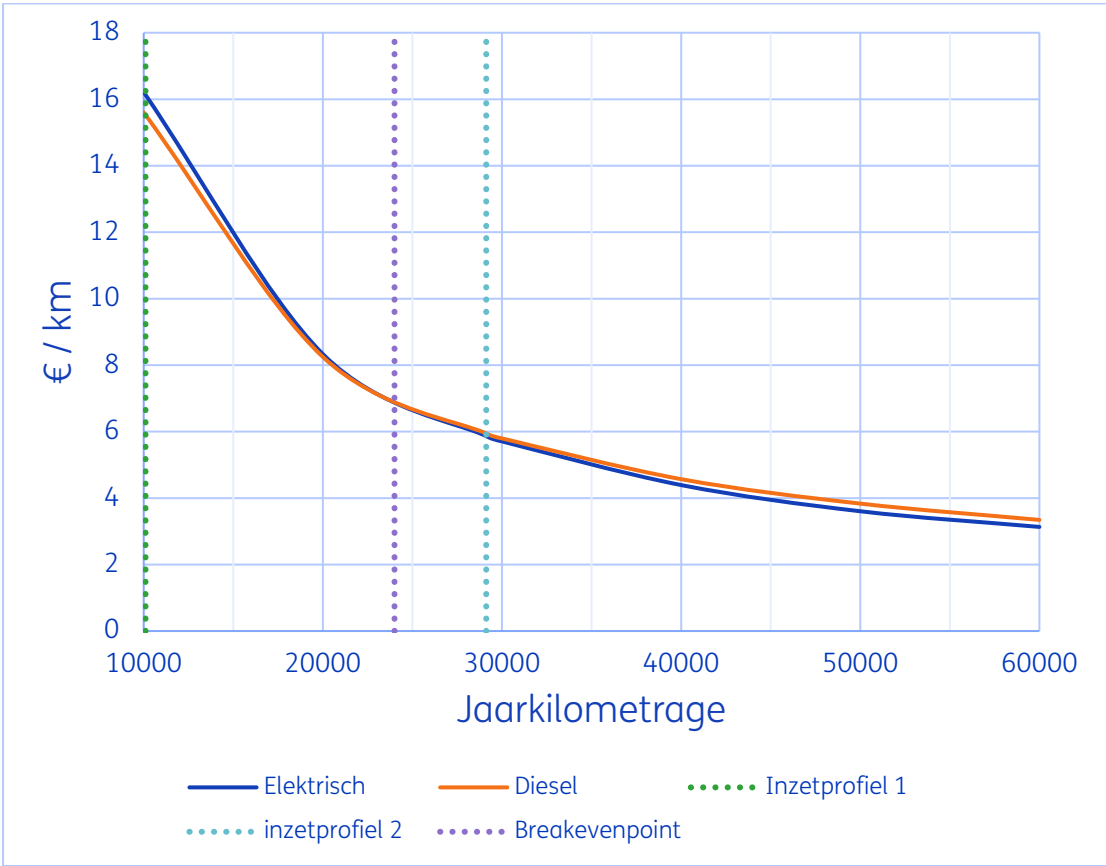
Inzetprofiel	Jaarkilometrage	Meerkosten elektrisch per km
1	54000 km	9%
2	34000 km	17%
3	46000 km	11%

5.1.2 Resultaten haakarm truck



Figuur 5.4: TCO uitgesplitst elektrisch vs. diesel haakarm truck bij inzetprofiel 2.

Figuur 5.4 laat bij inzetprofiel 2 (dagelijkse inzet van 112 km/dag en 260 werkdagen/jaar) zien hoe de kosten zijn verdeeld over de verschillende kostenposten. De elektrische variant is bij dit inzetprofiel goedkoper (€5.86/ km vs. € 5.94 / km). Vergeleken met de 50t ZE truck is de ZE haakarm bij een lager jaarkilometrage al concurrerend ten opzichte van de diesel variant. Dat komt doordat de bruto aankoop prijs van de ZE haakarm 1.6x zo hoog is als de diesel, terwijl de 50t ZE truck 3.0x zo duur is als de diesel variant. Dit verschil kan verklaard worden uit het feit dat de haakarm een aantal dure onderdelen heeft die even duur zijn voor beide varianten, namelijk een haakarm systeem en een kraan. Dat verkleint het relatieve kostenverschil.



Figuur 5.5 : TCO (€/km) vs. jaarkilometrage grafiek haakarm truck elektrisch vs. diesel

Figuur 5.5 laat zien dat de ZE haakarm reeds concurrerend wordt bij een jaarkilometrage van 24.000 km (92 km per dag bij 260 werkdagen). Echter, wanneer de DKTI- en MIA-subsidies niet worden meegenomen verschuift het break-evenpoint naar 45000 km (173 km per dag bij 260 werkdagen), zoals te zien is in figuur 30.

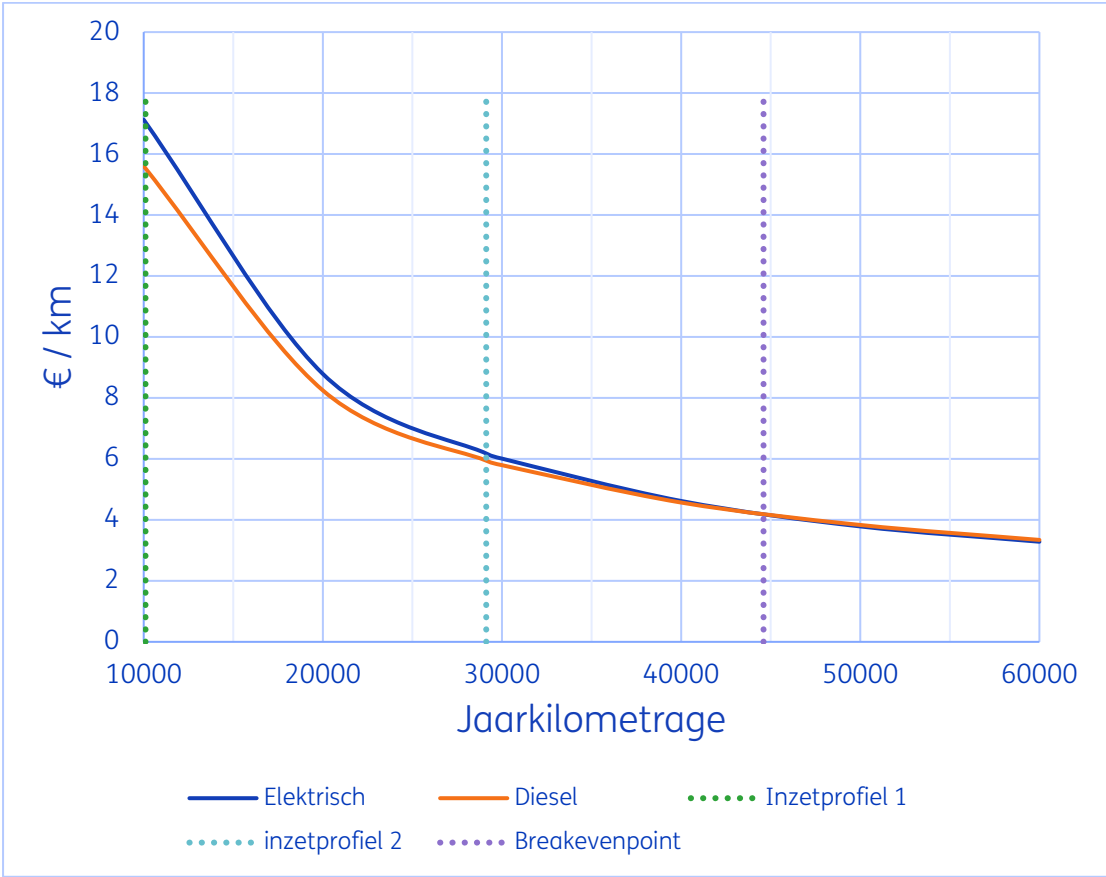
Tabel 24 : TCO meerkosten elektrisch t.o.v. diesel haakarm truck

Inzetprofiel	Jaarkilometrage	Meerkosten elektrisch per km
1	10000	4%
2	29000	-1%

Tabel 24 laat zien dat het relatieve verschil in kosten tussen elektrisch en diesel voor beide inzetprofielen klein zijn, waarbij de elektrische variant goedkoper is voor inzetprofiel 2. In tabel 25 wordt dit weergegeven voor de situatie exclusief subsidies. Voor beide inzetprofielen is de elektrische variant duurder, maar het verschil voor inzetprofiel 2 is klein.

Tabel 25 : TCO meerkosten elektrisch t.o.v. diesel haakarm truck exclusief DKTI- en MIA-subsidie

Inzetprofiel	Jaarkilometrage	Meerkosten elektrisch per km
1	10000	10%
2	29000	4%



Figuur 5.6 : TCO (€/km) vs. jaarkilometrage grafiek haakarm truck elektrisch vs. diesel exclusief DKTI- en MIA-subsidie

5.2 TCO conclusies

De hoeveelheid verzamelde data / lengte van de monitoringsperiode is voor een aantal van de ZE systemen te beperkt om een TCO uit te voeren op basis van praktijkinzet. Enkel voor de haakarm truck (DAF CF Electric FAN) en de 50t ZE truck (Volvo FM Electric) van Vlot Logistics zijn TCO analyses gemaakt op basis van praktijkinzet.

Voor alle drie de geanalyseerde inzetprofielen van de 50t truck is de elektrische variant qua TCO duurder dan de diesel. Het relatieve kostenverschil is echter zeer klein wanneer de truck wordt ingezet conform periode 1 van Vlot Logistics (inzetprofiel 1, 54000 km per jaar). In dat geval is de elektrische variant 2% duurder per km dan de diesel. Vanuit TCO perspectief is het dan ook niet logisch dat de planning van Vlot Logistics vervolgens is aangepast (periode 2, inzetprofiel 2). Daarbij is besloten om de truck minder kilometers te laten maken, met als gevolg dat een deel van de kilometers die in periode 1 elektrisch werden gereden door een diesel truck werden vervangen. Doordat de diesel duurder in gebruik is, is dat nadelig voor de TCO. Wanneer er geen DKTI- en MIA-subsidie op de aankoopprijs zouden zijn toegepast, is de elektrische variant 10% duurder per km dan de diesel bij inzetprofiel 1.

De elektrische haakarm truck kan qua TCO reeds bij een laag jaarkilometrage concurreren met de diesel variant. Voor inzetprofiel 2 (29000 km per jaar) is de elektrische variant zelfs iets goedkoper (-1%). Exclusief DKTI- en MIA-subsidie op de aankoopprijs kan de elektrische variant al bij haalbare jaarkilometrages goedkoper zijn dan de diesel (vanaf 45000 km per jaar, dat is 173 km per dag bij 260 werkdagen). De haakarm ZE truck presteert hierin beter dan de 50t ZE truck. Dat komt doordat de haakarm truck over een aantal kostbare systemen beschikt die even duur zijn voor beide varianten, namelijk een haakarm systeem en een kraan. Hiermee is het relatieve kostenverschil in aankoopprijs tussen elektrisch en diesel een stuk kleiner.

6 Conclusies en aanbevelingen

De intentie van het project Funda(ce)ment was om zoveel als mogelijk de ZE voertuigen, ZE mobiele werktuigen en ZE laadinfrastructuur gemeenschappelijk in te zetten voor een praktijkdemonstratie bouwproject. Het is in de praktijk erg lastig gebleken om dit voor elkaar te krijgen vanwege timing (de ZE systemen zijn op verschillende momenten in de loop van het project beschikbaar gekomen) en beschikbaarheid van een geschikt bouwproject voor het toepassen van al deze ZE systemen. Uiteindelijk is gekozen om de ZE systemen afzonderlijk in te zetten daar waar mogelijkheden ontstonden. Voor de ZE 50-ton truck van Van der Velden heeft de inzet buiten de bouwsector plaatsgevonden, namelijk container transport.

De ervaringen die zijn opgedaan met de inzet van de zero emissie voertuigen, mobiele werktuigen en bijbehorende laadinfrastructuur binnen dit project, leveren ondanks de beperkte inzetmogelijkheden gedurende het project een positief beeld op ten aanzien van toepassing in de praktijkomgeving van de bouwsector. De inzet heeft plaatsgevonden conform de ontwikkelde ZE logistieke concepten voor de inzet van ZE voertuigen, ZE bouwmachines en bijbehorende laadinfrastructuur.

De bouwlogistieke keten wordt voornamelijk gekenmerkt door twee verschillende typen transportritten: directe ritten (logistieke structuur 1) en rondritten (logistieke structuur 2). Voor deze twee type transportritten zijn generieke ZE logistieke concepten gedefinieerd voor de inzet van ZE voertuigen en de mogelijkheden tot bijladen op basis van beschikbare locaties van laadinfrastructuur. Daarnaast zijn voor de inzet van ZE bouwmachines op de bouwplaats en de energievoorziening daarvan generieke ZE logistieke concepten gedefinieerd die de interne bouwplaatslogistiek om het werken met deze ZE bouwmachines mogelijk te maken beschrijven.

Daarin zijn vier mogelijkheden tot energievoorziening gedefinieerd:

1. netaansluiting op de bouwplaats of transport van bouwmachine naar extern laadpunt voor bouwmachines met vaste accu's,
2. mobiele accucontainer op de bouwplaats met netaansluiting of transport van mobiele accucontainer naar extern laadpunt voor bouwmachines met vaste accu's,
3. mobiele waterstofcontainer met brandstofcel of waterstofaggregaat op de bouwplaats en transport van waterstofcontainer tussen leverancier en bouwplaats voor bouwmachines met vaste accu's, en
4. netaansluiting op de bouwplaats of transport van verwisselbare accu's naar extern laadpunt voor bouwmachines met verwisselbare accu's.

De 50-ton Volvo trucks bieden een groter bereik en betere energiestatistieken dan de 50-ton trucks van 4 jaar geleden in het DKTI project VERZET met name door de grotere accucapaciteit (netto 369 kWh ten opzichte van 280 kWh). Dit komt in de praktijk neer op een verbetering op bereik van 80 tot 120 km/dag (VERZET, afhankelijk van belading) naar 240 km/dag (Fundament, na 240 km wordt er in de praktijk bijgeladen) zonder bijladen.

Op energieverbruik is dit een verbetering van gemiddeld 213 kWh/100km (VERZET ZE kraanwagen) en 158 kWh/100km (VERZET ZE stenentrekker) naar 118 tot 144 kWh/100 km (Fundacement Vlot Logistics truck, afhankelijk van inzetomstandigheden). De 50-ton Volvo truck van Van der Velden heeft een gemiddelde daginzet van 232 km/dag en een relatief laag energieverbruik van 110 kWh/100km. Een inzetprofiel met langere ritten op constante snelheid is voordeliger voor het gemiddelde energieverbruik per kilometer ten opzichte van een inzetprofiel in een stedelijke omgeving met meer optrekken en remmen.

De TCO analyse van de 50-ton Volvo truck van Vlot Logistics voor inzet voor Stiho laat zien dat het verschil in totale levensduurkosten tussen een diesel truck en een elektrische variant nog maar zeer beperkt is (elektrische variant is 2% duurder per km dan de diesel op basis van inzet zoals gemonitord gedurende het project). Doordat de elektrische variant goedkoper is in gebruik en onderhoud wordt geadviseerd om zoveel mogelijk km's te maken, waardoor het omslagpunt binnen bereik komt (jaarkilometrage omslagpunt 62.000km, huidig jaarkilometrage 54.000 km).

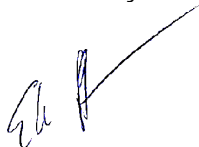
De betonmixertrailers type 'Stetter' en 'Liebher' (15m³) zijn in accucapaciteit overgedimensioneerd (accucapaciteit is meer dan het maximaal dagverbruik) en kunnen zonder problemen functioneren als vervanging van een diesel variant betonmixertrailer onder de aanname dat 'overnight charging' altijd mogelijk is. Ondanks deze goede prestaties en inzetmogelijkheden is het in de praktijk zeer moeizaam gebleken de betonmixer trailers ingezet te krijgen. De les die we hieruit kunnen trekken is dat er sprake moet zijn van zeer hoge urgentie of een noodzakelijke voorwaarde om tot inzet in de bouw te komen.

De snellaadstations zijn ingezet op de depots van Van der Velden en Vlot Logistics en op een bouwplaats van Dura Vermeer. De snellader van Van der Velden stond op het depot van Van der Velden en had een openbaar karakter. Deze is gebruikt door elektrische auto's en trucks, waarbij een deel van de laadsessies op hoog vermogen zijn geweest. Voor de inzet van de snellader van Vlot Logistics op de bouwplaats van Dura Vermeer wordt het hoge vermogen van de snellader nauwelijks gebruikt, aangezien daar voornamelijk personenauto's van werknemers worden opgeladen gedurende de ochtend en middag. Daar ligt nog ruimte tot verhoogde inzet van laadinfrastructuur voor met name zero emissie mobiele werktuigen op de bouwplaats.

Al met al is een beeld ontstaan van een zeer conservatieve en behoudende bouwsector ten aanzien van de bereidheid om te experimenteren met het inzetten van nieuwe zero-emissie voertuigen, mobiele werktuigen en/of laadinfrastructuur. Dit kan een gevolg zijn van de meerkosten op de korte termijn voor de inhuur en inzet van deze systemen of het vermijden van risico's in een bouwsector die toch al onder druk staat door bijvoorbeeld: arbeidstekorten, hoge prijzen bouwmaterialen, stikstofcrisis. De indruk van de betrokken consortiumpartners is dat voor een brede toepassing en opschaling van de inzet van schone zero-emissie voertuigen, mobiele werktuigen en/of laadinfrastructuur in de bouwsector de urgentie en druk om dit ook daadwerkelijk te doen moet worden verhoogd. Dit vereist het afdwingen van de inzet van schone en bij voorkeur emissieloze voertuigen, mobiele werktuigen en bijbehorende laadinfrastructuur middels vergunningen, duurzame aanbestedingen en (lokale) regelgeving, zoals de zero-emissie zones door overheid en opdrachtgevers.

Ondertekening

TNO › Mobility & Built Environment › Den Haag, 14 oktober 2024



Ellen Hofbauer
Plv. Research Manager



Siem van Merriënboer
Auteur

Bijlage A

Monitoringsplannen

Introductie
Dit document beschrijft het monitoringsplan voor de ZE voertuigen, ZE mobiele werktuigen en laadinfrastructuur die ingezet/gebruikt gaan worden in de proeftuin van het DKTi-project Funda(ce)ment. Het doel van monitoren in het project is om kennis en inzicht te verkrijgen in de inzet van ZE elektrische voer- en werktuigen in de bouw en de impact op de (logistieke) operatie, de planning en de benodigde energiebehoefte en daarmee een showcase te zijn om het gebied van ZE bouwlogistiek en een ZE bouwplaats en een kickstart te geven aan de opschaling van de inzet van ZE voertuigen en ZE mobiele werktuigen.

- Prestatie-indicatoren**
In het project worden data verzameld die worden gebruikt om de volgende KPI's te meten:
- **Inzetbaarheid.** De impact van de actieradius en oplaadtijden op de (logistieke) operatie, planning en flexibiliteit van inzet. Afhankelijkheid van de actieradius van bepalende factoren (belading, type rit (snelweg – in binnenstad), buitentemperatuur, gebruik van hulpfuncties (zoals kraaninzet);
 - **Milieuaspecten.** Elektriciteitsverbruik in vergelijking met dieselverbruik bij vergelijkbare inzet.
 - **Kosten.** Het verschil in TCO van de elektrische variant van het voer-/werktuig (huidig en mogelijke toekomstige situatie) en de dieselvariant. Dit wordt in scenario's uitgewerkt.

Dataverzameling
De ZE voertuigen, ZE machines en de laadsystemen worden gemonitord tijdens hun dagelijkse inzet. Om de eerder benoemde KPI's te analyseren moet op verschillende parameters worden gemeten. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de parameters waarop gemeten gewenst te worden.

Voor een goede monitoring zijn de meeste metingen op 1 Hz-frequentie nodig.

Voertuigen
Voor elk voertuig is de technische informatie van belang. Relevante voertuiggegevens staan weergegeven in onderstaande tabel.

Voertuigspecificaties	
Elektrisch voertuig	Referentie (dieselvoertuig, zelfde voertuigtype)
Merk en type	Merk en type
Kenteken	GCW [ton]
Type voertuig (trekker, betonmixer, kraanwagen, etc.)	Vermogen motor [kW]
GCW [ton]	
Capaciteit batterij [kWh]	
Vermogen elektromotor [kW]	

De monitoring vindt plaats op de inzet van het elektrische voertuig in de dagelijkse operatie. De volgende gegevens worden indien beschikbaar verzameld.

Parameter	Eenheid	Bron voor data
Datum en tijd	[d-m-jaar, h:m:s]	Voertuigstelsysteem
Gereden afstand	[km]	Voertuigstelsysteem
Voertuigsnellheid	[km/u]	Voertuigstelsysteem
State of Charge (SOC)	[%]	Voertuigstelsysteem
Vermogen tractiemotor	[kW]	Voertuigstelsysteem
Vermogen E-PTO	[kW]	Voertuigstelsysteem
Batterijvermogen	[kW]	Voertuigstelsysteem
GPS locatie	[°][°]	Voertuigstelsysteem
Omgevingstemperatuur	[°C]	Voertuigstelsysteem
Acceleratie	[m/s ²]	Voertuigstelsysteem
Status voertuig	[rijden, laden, regeneratie, gebruik hulpfunctie, stationair]	Voertuigstelsysteem
Energie gebruikt tijdens rijden	[kWh]	Voertuigstelsysteem
Energie gebruikt tijdens stationair draaien	[kWh]	Voertuigstelsysteem
Energie regeneratief	[kWh]	Voertuigstelsysteem
Energie geladen	[kWh]	Voertuigstelsysteem
Spanning	[V]	Voertuigstelsysteem
Stroom	[A]	Voertuigstelsysteem
Belading	[ton]	Registratie vervoerders/chauffeurs
Laad- en loslocaties belading	[°][°] / [adres]	Registratie vervoerders/chauffeurs
Registratie ongeplande stilstand		Registratie vervoerders/chauffeurs

Er zijn verschillende bronnen voor de dataverzameling:

- Vanuit de voertuigsystemen (zoals de CAN-bus). De data uit de voertuigsystemen kunnen bijvoorbeeld via een dashboard (zoals VIRICITI) beschikbaar worden gesteld voor analyse. Een alternatief op de data uit de voertuigsystemen halen is om de data vanuit het Fleet Management Systeem (FMS) van vervoerders te halen.
- De overige data, zoals de belading van het voertuig, het ritprofiel (laden/lossen) en registratie van ongeplande stilstand, moeten bij de vervoerder en chauffeurs worden opgehaald. Dit zal worden gedaan op basis van een Google Forms-formulier dat per voertuig dagelijks (als het voertuig is ingezet) wordt ingevuld door de vervoerder/chauffeur. Indien de data op een geautomatiseerde wijze en/of voor de vervoerder eenvoudiger manier beschikbaar kan worden gesteld is dat ook mogelijk.

Om de TCO's te berekenen zijn zowel gegevens over kosten nodig van de elektrische voertuigen als de referentievoertuigen. De tabel hieronder geeft een overzicht van de benodigde gegevens.

Kosten	
Elektrisch voertuig	Referentie (dieselvoertuig, zelfde voertuigtype)
Basis voertuig- en inzetgegevens	
Aanschafkosten [€]	Aanschafkosten [€]
Economische levensduur [jaar]	Economische levensduur [jaar]
Verwacht jaarkilometrage [km]	Verwacht jaarkilometrage [km]
Productieve uren per jaar [uur]	Productieve uren per jaar [uur]
Restwaarde [€]	Restwaarde [€]
Subsidie [€]	
Vaste kosten	
Verzekering [€]	Verzekering [€]
Wegenbelasting [€]	Wegenbelasting [€]
Eurovignet [€]	Eurovignet [€]
Rente [€]	Rente [€]
Voertuigheffing [€]	Voertuigheffing [€]
Overige vaste voertuigkosten [€]	Overige vaste voertuigkosten [€]
Variabele kosten	
Onderhoudskosten [€/jaar of €/km]	Onderhoudskosten [€/jaar of €/km]
Reparatiekosten [€/jaar of €/km]	Reparatiekosten [€/jaar of €/km]
Aantal banden	Aantal banden
Prijs van een band	Prijs van een band
Levensduur band in km	Levensduur band in km
Energiekosten thuisladen [€/kWh]	Brandstofkosten [€/L]
Energiekosten opportunity charging [€/kWh]	Gemiddeld diesilverbruik [L/km]
Percentage opportunity charging [%]	
Gemiddeld energieverbruik [kWh/km]	
Chauffeurskosten	
Chauffeurskosten [€/uur]	Chauffeurskosten [€/uur]

Mobiele werktuigen

Voor elk mobiel werktuig is het relevant om de technische gegevens te weten, zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Specificaties mobiele werktuig	
Elektrisch mobiele werktuig	Referentie (dieselvariant van zelfde type mobiele werktuig)
Merk en type	Merk en type
Type werktuig (mobiele graafmachine, bulldozer, heimachine, etc.)	Type werktuig (mobiele graafmachine, bulldozer, heimachine, etc.)
Vermogen motor [kW]	Vermogen motor [kW]
Capaciteit batterij [kWh]	Bouwjaar
Bouwjaar	
Kenteken	

De monitoring vindt plaats op de inzet van de mobiele werktuigen in de dagelijkse operatie. De volgende gegevens worden daarin bij voorkeur verzameld. Monitoring vindt zowel plaats op de machine zelf als op ieder accupakket waar de machine gebruik van maakt. Eén machine kan wisselende accupakketten gebruiken, maar elk accupakket wordt altijd voor dezelfde machine gebruikt.

Parameter	Eenheid	Bron voor data
Datum en tijd	[d-m-jaar, h:m:s]	Machinesystemen
Draaiuren	[u]	Machinesystemen
State of Charge (SOC)	[%]	Machinesystemen
Geleverd vermogen	[kW]	Machinesystemen
GPS locatie	[°][°]	Machinesystemen
Omgevingstemperatuur	[°C]	Machinesystemen
Status voertuig	[belast, stekker aangesloten, stand-by]	Machinesystemen
Energie gebruikt motor(en)	[kWh]	Machinesystemen
Energie gebruikt auxiliaries	[kWh]	Machinesystemen
Energie geladen	[kWh]	Machinesystemen
Batterijvermogen	[kW]	Machinesystemen
Batterij temperatuur	[°C]	Accusystemen
Foutcodes		Machinesystemen
Registratie type klus		Registratie gebruiker
Registratie ongeplande stilstand		Registratie gebruiker

Om de TCO's te berekenen zijn zowel gegevens over kosten nodig van de elektrische mobiele werktuigen als de referentiewerktuigen. De tabel hieronder geeft een overzicht van de benodigde gegevens.

Kosten	
Elektrisch mobiele werktuig	Referentie (diesel, zelfde machinetype)
Basis voertuig- en inzetgegevens	
Aanschafkosten [€]	Aanschafkosten [€]
Economische levensduur elektromotor [jaar]	Economische levensduur [jaar]
Economische levensduur batterijpakket [jaar]	Draaiuren [uur/jaar]
Draaiuren [uur/jaar]	Restwaarde [€]
Restwaarde [€]	
Subsidie [€] (of bedrijfswinst in aanschafjaar en wel/geen MKB)	
Vaste kosten	
Verzekering [€]	Verzekering [€]
Overige vaste kosten [€]	Overige vaste kosten [€]
Variabele kosten	
Onderhoudskosten [€/jaar of €/draaiuur]	Onderhoudskosten [€/jaar of €/draaiuur]

Reparatiekosten [€/jaar of €/draaiuur]	Reparatiekosten [€/jaar of €/draaiuur]
Energiekosten [€/kWh]	Brandstofkosten [€/L]
Gemiddeld energieverbruik [kWh/km]	Gemiddeld dieselvebruik [L/draaiuur]
Chauffeurskosten	
Arbeidskosten machinist [€/draaiuur]	Arbeidskosten machinist [€/draaiuur]

Laadsystemen

Parameter	Eenheid
Technische gegevens rendement laadsysteem	
DC stroom	[A]
DC spanning	[V]
AC stroom (RMS)	[A]
AC spanning (RMS)	[V]
Operationele gegevens	
Vermogen laadpaal	[kW]
Laadstatus	[niet in gebruik, laden, verbonden, storing]
Geleverde energie	[kWh]
Voertuig ID verbonden voertuig	
Prijs elektriciteit	[€/kWh]
Kosten	
Aanschafkosten laadapparatuur (incl. installatiekosten)	[€]
Subsidie laadapparatuur	[€]
Laadapparatuur gedeeld met 'x' voertuigen	[#]
Economische levensduur	[jaar]

Bijlage B

Databronnen

Niet alle systemen hadden de mogelijkheid om te worden gemonitord middels een API/Dashboard, daarbij is besloten om enkel interviews met de gebruiker te doen. Per systeem staat aangegeven hoe vaak er over de data werd gerapporteerd.

Systeem	Databron(nen)	Frequentie rapportage
50t ZE trucks – Volvo (2x)	API Volvo (https://developer.volvotrucks.com/) Volvo Connect Dashboard (https://volvoconnect.com/dashboard) Interview gebruiker	Maandelijkse rapportage
Betonmixers ‘Liebherr’ en ‘Stetter’	API Proemion Dashboard ifm mobile (https://portal.miot.ifm/login) Interview gebruiker	Maandelijkse rapportage
Mobiele snellaadstations (2x)	Dashboard LastMileSolutions (https://evc-net.com/) Interview gebruiker	Maandelijkse rapportage
Haakarm truck - DAF	Dashboard Geotab (https://my.geotab.com/) Interview gebruiker	Maandelijkse rapportage
7t trekker/oplegger combinatie - IVECO	IVECO Web API (N.B. door te late oplevering geen gebruik van kunnen maken)	n.v.t.
ZE meeneemheftruck (Kooiaap)	Interview gebruiker	Tussen- en eindevaluatie
ZE verreikers (2x)	Interview gebruiker	Tussen- en eindevaluatie

Bijlage C

Interviewvragenlijsten

Deze bijlage bevat de vragenlijsten die gebruikt zijn bij het afnemen van de interviews over de verschillende systemen. Verder bevat deze bijlage uitgewerkte verslagen van de interviews over de 50t ZE truck (eerste interview van de twee) en de kooiaap.

C.1 Interviewvragen 50t ZE truck Vlot Logistics

Inzetprofiel – eerste interview

- Hoe ziet een gemiddelde werkdag eruit?
- Wanneer start / eind?
- Welke volgorde van handelingen? Rijden naar DC – laden op DC – rijden naar klant – retour DC Etc.
- Hoeveel ritten per dag gemiddeld?
- Wat voor soort ritten? Direct naar klant en terug? Of ook rondritten met meerdere stops / drops / klantbezoeken? Hoeveel gemiddeld per rit?
- Hoeveel km's per rit gemiddeld? Kortste en verste rit?
- Hoeveel belading per rit gemiddeld? Laagste en hoogste?
- Altijd met trailer? Of ook met aanhanger?

Rijgedrag – eerste interview

- Hoe zijn de eerste gebruikservaringen?
- Hoe is het rijgedrag? Met en zonder trailer / aanhangwagen?
- Is de actieradius voldoende?
- Zijn er ritten die niet konden worden uitgevoerd (moesten worden geweigerd), omdat de actieradius niet voldoende was?
- Is er verschil in rijgedrag tussen korte en lange ritten? Snelweg (hoofdwegennet) ⇔ in de stad?
- Is de actieradius verbeterd/verminderd gedurende het gebruik?
- Is de informatie op het dashboard voldoende? Over actieradius / SOC batterij / ...
- Is het energieverbruik tijdens rijden veranderd door ander rijgedrag?
- Is er tijdens een rit opgeladen bij een openbaar laadstation? Of is dit niet mogelijk? Waar kan nu worden opgeladen?
- Zijn er vaste routes gebruikt? Is daar verandering op aangebracht?
- Zijn er aanpassingen nodig om gebruik / inzet te verbeteren?

Opladen – eerste interview

- Wat zijn de ervaringen t.a.v. snelheid van opladen?
- Hoe vaak ga je snelladen? En voor hoe lang / tot hoeveel wil je dan opladen?
- Is er een bepaalde laadstrategie toegepast? Alleen 's nachts opladen (overnight charging) ⇔ opladen tijdens rit (opportunity charging) / snelladen overdag?

- Is er behoefte aan mobiel laadstation?
- Wat zijn wensen ten aanzien van inzet van mobiel laadstation? Openbaar? Reserve-ringssysteem?
- Wat is het verbruik per kWh/100km volgens het dashboard?

Inzetbaarheid – eerste interview

- Was de ZE truck goed in te zetten in het reguliere inzetprofiel van vrachtwagens bij Stiho? Of moet er rekening worden gehouden met het feit dat het een ZE truck is?
- Wat zijn de voorwaarden voor succesvolle inzet van de ZE truck?
- Wat moet worden veranderd? Door wie? Wie kan daarbij helpen? Wat is daarvoor nodig?
- Wat zijn de veranderingen voor de planning van de inzet van ZE truck? Routeplanning? Rittenplanning?
- Wat is de reactie van klanten op inzet van de ZE truck? Servicelevel? Duurzame uitstraling (marketing)? Vermindering geluidsoverlast?

Aanvullende vragen - tweede interview

- Is het door ons uitgewerkte verslag van het interview nog steeds actueel en correct?
- Wat klopt er eventueel niet meer en waardoor is dit gewijzigd?
- We zien een stijging in gem. verbruik in kWh/100km na oktober 2023 (van ~117kWh/100km naar ~144kWh/100km), nadat de inzet per dag is bijgesteld (van ~220km/dag naar ~140km/dag). Is hier een verklaring voor? Het kan ook met het seizoen te maken hebben: van feb-sep (zomer) naar okt-juni (winter).
- Waarom bijstelling in planning inzet per dag?
- Hoe zit het met de beschikbaarheid van externe oplaadstations? Is dat verbeterd in de tussentijd?
- Heb je nog opmerkingen over het gebruik en inzet van de truck?
- Uit de data-analyse halen we volgende inzichten:

Het inzetprofiel is tussentijds gewijzigd. In de eerste periode van inzet (feb– sep 2023) is de inzet gepland op een langere afstand per werkdag en meer klantleveringen, waardoor regelmatig een tussentijdse bijlaadsessie op een snellaadstation nodig was. Daarna is overgestapt op een kortere afstand per werkdag en minder klantleveringen, waarbij geen extra bijlaadsessie overdag nodig was.

- klopt dit in jouw beleving?
- Energieverbruik hoog gewicht is lager dan energieverbruik midden gewicht!?
- Is energieverbruik auxiliaries onderdeel van energieverbruik of kom dit er nog bij?
- Hoe moet regeneratie worden geïnterpreteerd?
- Hoe zijn deze prestaties in vergelijking tot het inzetprofiel en prestaties van een vergelijkbare dieseltruck?

C.1.1 50t ZE truck interview uitgewerkt

Inzetprofiel

- Typische werkdag

Vlot Logistics bevindt zich in Rotterdam. De chauffeur rijdt over het algemeen van Rotterdam naar Utrecht (en weer terug) met stops ertussen. Gemiddeld 7 à 10 stops per werkdag.

De totale afstand is doorgaans 230 à 240 km, zodat er niet tussentijds bijgeladen hoeft worden. Dat wordt zo gepland.

- Belading

De belading is meestal het hoogst aan het eind van de werkdag. Momenteel is de belading 31 ton, dan zit hij redelijk volgeladen (qua ruimte in ieder geval, qua gewicht kan hij nog meer aan). De 31 ton bestaat uit 18 ton van de trekker en 13 ton van de trailer. Totale gewicht van de combinatie kan de chauffeur zien op zijn dashboard. Bij leegrijden zit het totale gewicht van de combinatie op 21 ton. De chauffeur rijdt tot nu toe altijd met trailer, nog niet met aanhanger.

Rijgedrag

De chauffeur is vrij positief over het elektrisch rijden, hij wil niet meer terug naar diesel. Voorheen heeft hij al met een elektrische bakwagen van Emoss gereden, maar gemiddeld had deze elke maand wel een probleem. Met de Volvo truck rijdt hij sinds januari en hij heeft nog geen probleem gehad, behalve een kleine storingsfout dat zichzelf weer oploste.

- Actieradius

De actieradius is voldoende, doordat er wordt afgestemd door de planner. Belangrijk is om een beetje speling te hebben. Hij kan in principe 300, maar 240 is beter om zeker niet bij tussentijds bij te hoeven laden.

- Verbruik

Op de snelweg is het verbruik constant. Op 80 wegen is dat anders, doordat je meer stoplichten hebt en dus vaker moet rennen. Het verbruik is dus hoger op 80 wegen.

- Informatievoorziening dashboard

De chauffeur zou het fijn vinden als het dashboard feedback geeft wanneer je bijvoorbeeld energie terugwint. Informatie wat aangeeft hoe je het doet qua prestaties i.r.t. het verbruik. Zo kan hij zichzelf verbeteren in het zuinig rijden met de truck. De inschatting op het dashboard over resterende range is wel steady, 100 km is vaak ook echt 100 km.

Opladen

- Openbare laadstations

Dit is nog een uitdaging. Openbare laadstations zijn niet ingericht op vrachtwagens, dan moet hij bijvoorbeeld zijn trailer afkoppelen om bij het laadstation te komen. Afkoppelen gebeurt dan wel eens op de parkeerplaats voorbij het laadstation, vervolgens moet hij tegen het verkeer in rijden om het laadstation te bereiken. Verder gebruikt hij de app charge-maps.com, die bevat alle laadpalen en ook foto's ervan zodat hij kan zien of het qua ruimte kan passen.

- Bijladen

Afgelopen maandag was 290 km ingepland, toen moest hij wel bijladen. Doorgaans heeft hij hier een uurtje voor en dat wordt dan ook ingepland door de planner. In die tijd gaat hij van leeg (20%) naar 80%. Wel trekt hij bij een 300 kW lader slechts 230 kW. Als hij terug naar de zaak moet, volstaat opladen tot 40%.

Reserveringssysteem heeft hij nog niet gezien. De snellader op de zaak heeft een accu, deze was op een bepaald moment leeg (doordat hij openbaar gebruikt werd, wat ook mag) en dan duurt het 2 dagen voordat deze weer volgeladen zit.

Inzetbaarheid

De planner houdt goed rekening en rekt 230 à 240 km.

Nog niet veel klanten eisen elektrisch transport. Er is wel een ZE-gebied in Rotterdam, die hij soms moet meepakken omdat alleen zijn truck daar mag komen. In Amsterdam en andere plekken komen er meer eisen dat bijvoorbeeld zo'n kooiaap elektrisch moet zijn.

C.2 Interviewvragen ZE kooiaap

Inzet kooiaap

- Wat zijn de ervaringen met de inzet van de kooiaap?
- Wat is het energieverbruik van de kooiaap?
- Moet er worden bijgeladen overdag?
- Is het energieverbruik van de inzet van de kooiaap veranderd door andere handelingswijze bij gebruik van de kooiaap?
- Hoeveel uur kan je de kooiaap gebruiken totdat deze leeg is? IS dat ooit een beperkende factor?
- Hoe wordt de kooiaap opgeladen?

C.2.1 ZE kooiaap – interview uitgewerkt

- Algemene ervaring

Stilletjes vindt de chauffeur de elektrische kooiaap beter dan de diesel variant. De diesel produceert veel meer herrie, wel kan hij het versnellen in het omhoog liften, wat de elektrische niet kan.

- Opladen

De kooiaap hoeft niet bijgeladen te worden overdag. Meestal wordt hij eens in de 2 dagen opgeladen op de zaak. Het verbruik kan verschillen per werkdag, qua belasting, maar de accu volstaat altijd. Ze hebben nog wel gekeken naar de mogelijkheid om op te laden via de accu van de truck (terwijl hij op de trailer zit) en die mogelijkheid bestaat, maar dit is pas interessant bij internationale ritten, als je 3 dagen rijdt zonder hem bij te kunnen laden.

Mobility & Built Environment

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