

Netcongestie: welke mitigerende maatregelen kunnen logistieke bedrijven nemen?

Achtergrondrapport



Netcongestie: welke mitigerende maatregelen kunnen logistieke bedrijven nemen?

Achtergrondrapport



Netcongestie: welke mitigerende maatregelen kunnen logistieke bedrijven nemen?

Achtergrondrapport

Dit rapport is geschreven door:

Roy van den Berg, Michiel Bongaerts, Lucas van Cappellen, Heleen Groenewegen en Peter Scholten

Voor deze studie hebben we gebruik gemaakt van laadprofielen samengesteld door HCNP

Delft, CE Delft, april 2024

Publicatienummer: 24.230142.051

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat via NAL Logistiek in samenwerking met Connekt
Uw kenmerk: OVL90.00.047

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Roy van den Berg (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Selectie bedrijven	4
3	Toelichting op model	5
	3.1 Introductie CEnergie	5
	3.2 Input CEnergie	8
	3.3 Maatregelen om met beperkte netcapaciteit te laden	11
	3.4 Aannames modellering	12
4	Uitwerking casus	14
	4.1 Aanpak	14
	4.2 Uitwerking Transport & Zo	17
5	Modelresultaten per casus	21
	5.1 Modelresultaten voor Van Bortel Groep	21
	5.2 Modelresultaten voor J. Prijs & Zn	21
	5.3 Modelresultaten voor Bakker Transport & Warehousing	22
	5.4 Modelresultaten voor Transport & Zo	22
	5.5 Modelresultaten voor Van der Werff Logistics	23
	5.6 Modelresultaten voor Van Kuijk Groep	23
6	Kostenoverzicht	24
	6.1 Kosten batterijsysteem	24
	6.2 Kosten aggregaat	24
	6.3 Kosten netaansluiting	25
	6.4 Kosten uitbreiding van lokale opwek	26
	6.5 Kosten en baten die niet zijn meegenomen	27
	6.6 Uitkomsten kosten bedrijven	27
	Literatuur	29



1 Inleiding

In opdracht van Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL) heeft CE Delft voor zes bedrijven onderzocht welke mitigerende maatregelen passend zijn in geval van toenemende vraag aan elektriciteit in een situatie waarin sprake is van netcongestie. Alle logistieke bedrijven die zijn opgenomen in de studie, verwachten een groei van het aantal elektrische vrachtauto's en daarmee een groei in de elektriciteitsvraag die veelal niet kan worden geleverd via de bestaande netaansluiting en het gecontracteerde transportvermogen. De uitkomsten van de studie dienen ter inspiratie voor transportbedrijven die zich in een vergelijkbare situatie bevinden. De uitkomsten van de studie zijn gepubliceerd in het hoofdrapport.

Dit rapport dient als toelichting op de analyse die wij hebben uitgevoerd en waarop de resultaten zijn gebaseerd die zijn gepresenteerd in het hoofdrapport. Met dit rapport willen we een beeld geven van het proces dat we hebben doorlopen en welke uitgangspunten we hebben gehanteerd. Voor deze studie hebben we een model ontwikkeld, waarmee we hebben kunnen bepalen welke mitigerende maatregelen passend zijn in de verschillende praktijksituaties.

In het volgende Hoofdstuk 2 gaan we als eerste in op de stappen die we hebben gezet om te komen tot de selectie van zes bedrijven die als casussen zijn gebruikt voor deze studie. Vervolgens geven we in Hoofdstuk 3 een toelichting over de werking van het rekenmodel en de uitgangspunten die daarin zijn meegenomen. Aan de hand van één casus laten we in Hoofdstuk 4 zien welke stappen we hebben doorlopen om tot het eindresultaat te komen zoals beschreven in het hoofdrapport. Ten slotte geven we in Hoofdstuk 6 aan welke kosten wel en niet zijn meegenomen in het model.

2 Selectie bedrijven

Op basis van bestaande contacten en diverse andere bronnen is een longlist opgesteld van 50 bedrijven die als mogelijke casus zouden kunnen dienen in deze studie. De gebruikte bronnen zijn:

- deelnemers aan de Zero Emissie Truck Academy;
- Groenboek TLN, projecten met subsidieregelingen (DKTI en AanZET-regeling);
- projecten van de NAL-regio's.

Vanuit de longlist is een shortlist opgesteld van 12 bedrijven die voldeden aan de minimale eis dat zij zich bevonden in een gebied met netcongestie. Daarnaast hebben we de selectie gebaseerd op een geografische spreiding van de bedrijven en verschil in omvang en type transport.

Aan deze bedrijven is in april/mei 2023 een vragenlijst toegestuurd. Op basis van de ontvangen informatie is een beschrijving gegeven van de huidige situatie. De factsheets per bedrijf zijn gebruikt om tot een definitieve selectie te komen van bedrijven waarvoor de impact van de mitigerende maatregelen zijn uitgewerkt.

Om tot de selectie van zes bedrijven te komen, is rekening gehouden met de beschikbaarheid van informatie, de beschikbare tijd om mee te werken aan de studie en de (verwachte) relevantie van de casus voor de studie. De zes bedrijven die hebben deelgenomen aan deze studie, zijn (in willekeurige volgorde):

- Van der Werff;
- Bakker Transport & Warehousing;
- Van Kuijk Groep;
- Van Bortel Groep;
- J. Prijs & Zn;
- Transport & Zo (dit is een gefingeerde naam op verzoek van het bedrijf).

De zes geselecteerde bedrijven zijn vervolgens geïnterviewd om aanvullende informatie op te halen over onder andere strategie voor de elektrificatie van het wagenpark, detailinformatie over de ritprofielen en voorkeur voor mitigerende maatregelen. Deze informatie is gebruikt als input voor het rekenmodel, zodat de bedrijfsspecifieke situatie gemodelleerd kon worden. De resultaten vanuit de analyse zijn ten slotte besproken met de bedrijven.

3 Toelichting op model

Voor deze studie is een rekenmodel ontwikkeld in Python, die we de naam CEnergy hebben gegeven. In dit hoofdstuk lichten we toe hoe dit model is opgebouwd en functioneert.

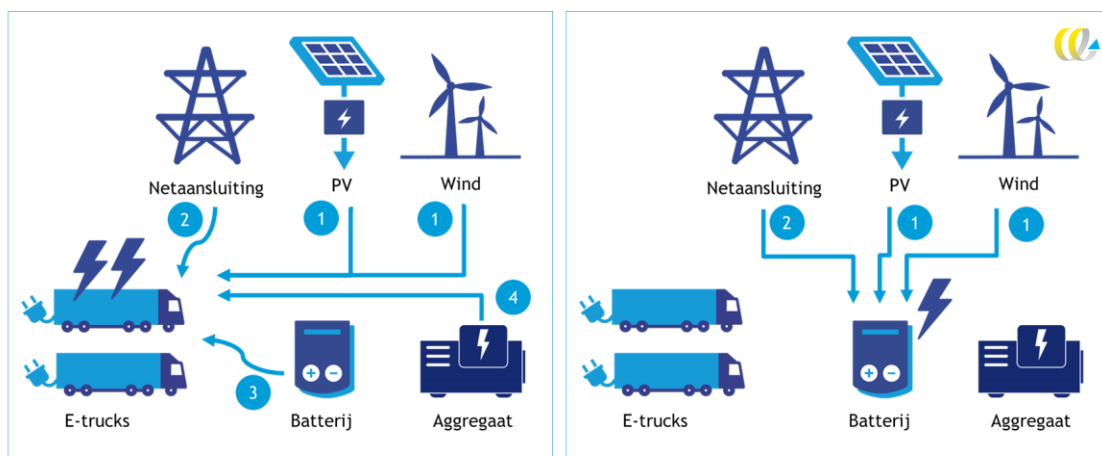
3.1 Introductie CEnergy

CE Delft heeft een rekenmodel ontwikkeld dat vraag en aanbod van elektriciteit voor een bedrijf of locatie modelleert. De input voor het model is gebaseerd op verschillende bronnen:

- **Bedrijfsinformatie:** aantal voertuigen, huidig verbruik van voertuigen, ambitie elektrificatie, overig energieverbruik, netaansluiting, contractvermogen en opgestelde vermogens zon-pv.
- **Eigenschappen elektrische voertuigen en laadmogelijkheden (literatuur):** huidig en toekomstig elektriciteitsverbruik van voertuigen, laadsnelheden, etc.

CEnergie bepaalt per uur de optimale samenstelling van energiestromen van energiebronnen naar energievragers. Bijvoorbeeld, het liefst willen we elektrische voertuigen opladen met stroom opgewekt met de zonnepanelen, vervolgens stroom uit de netaansluiting, daarna met stroom uit een (extra) batterij en als laatste stroom uit een (diesel)generator (zie). Echter, deze volgorde staat niet altijd vast. Zo moet een batterij eerst opladen. Dit kan het beste op momenten dat er een overschot is aan lokale opwek uit bijvoorbeeld zon-pv, en daarna met stroom uit de netaansluiting. Energie uit de batterij, die overdag is opgewekt en is opgeslagen, willen we 's nachts als eerst gebruiken, maar deze energie willen we niet al gebruiken overdag als het niet nodig is. We zien dus dat de volgorde van energiebronnen ook een tijdsaspect heeft. Tenslotte staan we ook niet toe dat het aggregaat de batterij gaat opladen. CEnergy maakt gebruik van een scoresysteem om ieder uur de optimale en toegestane energiestromen te bepalen van de verschillende energiebronnen en -vragers.

Figuur 1 - Voorbeeld toewijzing van energie uit verschillende bronnen aan vragers gemodelleerd in CEnergy. Merk op dat de volgorde van energiebronnen en -vragers niet vaststaat. Links: de elektrische voertuigen laden. Rechts: de elektrische voertuigen laden niet, en hernieuwbare opwek wordt opgeslagen in de batterij.

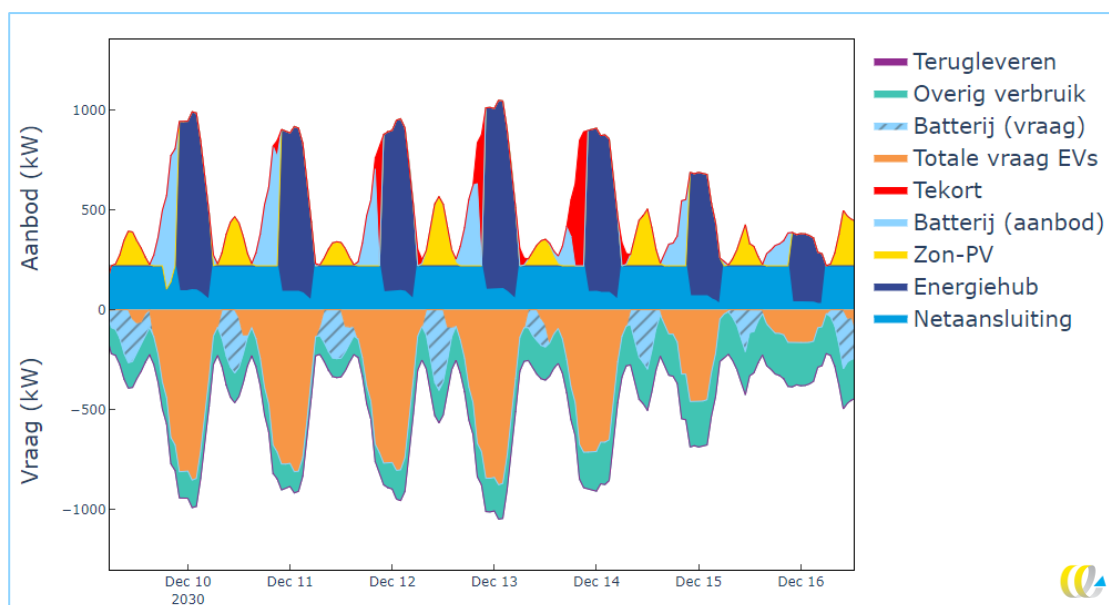


CEnergie kan op twee verschillende manieren omgaan met elektriciteitstekorten, waarmee verschillende aanvullende inzichten opgedaan kunnen worden. We lichten hierna de twee manieren (Modus 1 en Modus 2) toe.

Modus 1: Energietekorten worden direct aangevuld

De energietekorten per uur worden direct aangevuld door een fictieve energiebron. Hierdoor kunnen de tekorten die ontstaan per uur, goed in kaart worden gebracht. Het nadeel is dat dit leidt tot minder realistische energieprofielen, omdat er ‘energie uit het niks’ wordt toegevoegd aan het netwerk. Deze modus wordt alleen gebruikt om inzicht te krijgen in de tekorten, maar bijvoorbeeld niet om jaarlijkse opbrengsten uit lokale opwekking, de vollasturen van een batterij en het (diesel)verbruik van een aggregaat te berekenen. In Figuur 2 is te zien dat in deze modus de tekorten (in rood) gelijk worden aangevuld. Dit geeft inzicht in wanneer de tekorten optreden en hoe groot de tekorten zijn.

Figuur 2 - Voorbeeld van een vermogensprofiel wanneer het CEnergie in Modus 1 wordt gedraaid. Het overige verbruik (lichtgroen), EV's (oranje) en batterij (lichtblauw gestreept) vragen energie. Dit zijn negatieve vermogens in het model. Deze vraag wordt ingevuld door energiebronnen, die een positief vermogen hebben in het model. Energietekorten zijn weergegeven als rood, als positief vermogen.



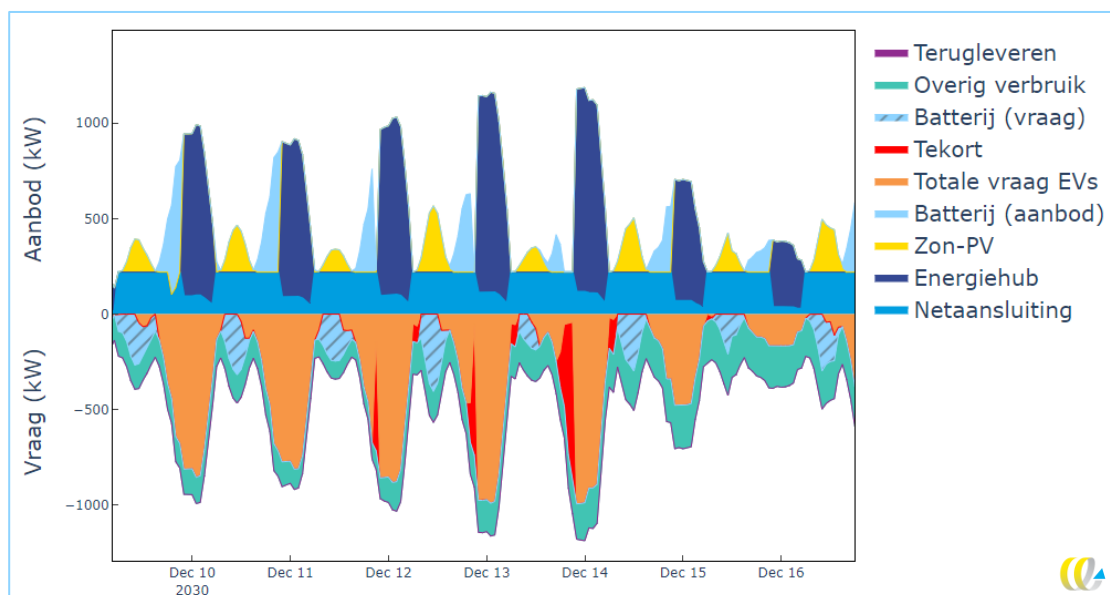
Modus 2: Energietekorten vertalen zich door naar het volgende uur

De beschikbare energie komt alleen uit bestaande bronnen, zoals zon-pv, een windturbine, een netaansluiting of een batterij. Een energietekort op een bepaald uur vertaalt zich door naar het volgende uur. Bijvoorbeeld, als een batterij 90% vol zit, dan kunnen we 10% bijladen. Stel dat er op dat uur slechts energie is om de batterij 5% bij te laden, dan hebben we het volgende uur nog 5% over om te laden. De tekorten worden dus doorgeschoven naar het volgende uur. We zien dus dat het huidige energieaanbod de toekomstige energievraag beïnvloedt. Figuur 3 laat zien hoe tekorten (rood) op bepaalde uren opgelost kunnen worden in de volgende uren.

Daarnaast biedt Modus 2 inzicht in de State of Charge (SoC) van de accu's van de elektrische voertuigen na iedere laadbeurt (zie Figuur 4). Kleine energietekorten resulteren in situaties waar de accu's aan het einde van de laadbeurt niet helemaal gevuld zullen zijn. Het zal afhankelijk zijn van de werkzaamheden en het bedrijf of en in welke mate deze tekorten een probleem vormen. Als een aantal keer per jaar de accu's bij aanvang van de rit rond de 90% gevuld zijn dan is dit waarschijnlijk nog geen probleem.

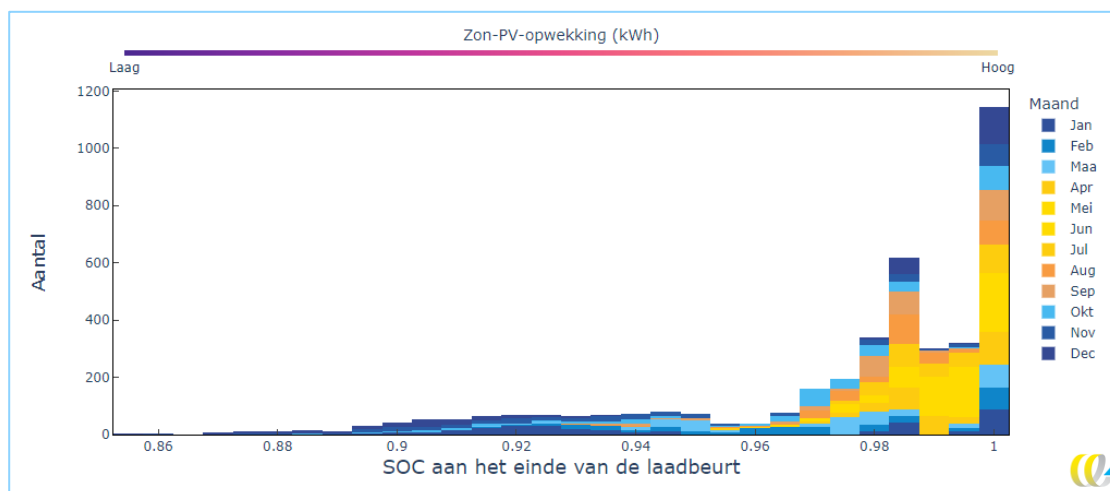
Energietekorten worden in Modus 1 direct aangevuld, waardoor energie 'uit het niks' wordt toevoegd aan het systeem, waardoor ook de energieprofielen worden beïnvloed. Om deze reden worden niet de modelresultaten uit Modus 1, maar die uit Modus 2 gebruikt om bijvoorbeeld de jaarlijkse opbrengsten uit lokale opwekking, de vollasturen van een batterij en het (diesel)verbruik van een aggregaat te berekenen.

Figuur 3 - Voorbeeld van een vermogensprofiel wanneer het CEnergie in Modus 2 wordt gedraaid. Merk op dat de tekorten hier als negatieve vermogens staan; in Modus 2 werken tekorten door naar de volgende uren.



Figuur 4 toont een histogram van de State of Charge (SoC) aan het einde van iedere laadbeurt van alle elektrische voertuigen (is aantal op y-as) voor een heel jaar voor een bedrijf met een beperkte netaansluiting, een batterij en lokale zon-pv-opwekking (Modus 2). Het histogram laat zien dat in zonnige maanden de accu's van de elektrische voertuigen vaker gevuld zijn aan het einde van de laadbeurt dan in donkere maanden. In de zonnige maanden kan de batterij overdag voldoende opladen, waardoor er genoeg energie is om 's nachts de accu's van de elektrische voertuigen op te laden. In donkere maanden kan de batterij overdag niet voldoende opladen, waardoor er ook niet genoeg energie is om alle accu's van voldoende energie te voorzien. Zo is te zien dat op sommige dagen de accu's 94% (0,94) gevuld zijn aan het einde van de laadbeurt.

Figuur 4 - Voorbeeld van een histogram van de State of Charge (SoC) van de accu's aan het einde van iedere laadbeurt van meerdere elektrische voertuigen over een heel jaar



3.2 Input CEnergie

Om tot betrouwbare resultaten te komen, is CEnergie afhankelijk van gedetailleerde input. De inputinformatie die benodigd is, betreft het wagenpark en over het wagenpark en energievoorziening. Beide zijn in de volgende paragrafen uitgewerkt.

3.2.1 Het wagenpark

Voor het wagenpark wordt het volgende ingevuld: de jaarlijkse kilometrage per voertuig, het aantal voertuigen, accucapaciteit van de voertuigen, verbruik per gereden kilometer, werkschema's, laadmomenten, minimale en maximale laadvermogens. Per voertuig en laadmoment kan worden gekozen voor AC-laden of DC-laden.¹ Verder kunnen drie verschillende accutypes worden gekozen: lage, midden en hoge C-waarde (zie Paragraaf 3.4).

Voertuigen

Op basis van de interviews, eerdere studies en literatuur hebben we enkele standaardvoertuigen gedefinieerd. Daarnaast is het mogelijk om aanpassingen te maken van het verbruik van standaardvoertuigen als er specifieke informatie over het verbruik van bestaande voertuig bekend is. Voor enkele voertuigen is ter informatie het verbruik in diesel bijgevoegd. Voor de heftrucks en palletwagens is een verbruik per kilometer niet relevant, vandaar dat met een verbruik per uur wordt gerekend. Tabel 1 geeft een overzicht van de standaardvoertuigen die in het model geselecteerd kunnen worden.

¹ Het verschil tussen AC-laden en DC-laden is de locatie waar de wisselstroom wordt omgezet in gelijkstroom. Bij AC-laders gebeurt dat in het voertuig, bij DC-laders in de lader zelf. Dit heeft als gevolg dat er via DC-laders een kortere laadtijd gerealiseerd kan worden. DC-laders worden daarom ook wel snelladers genoemd.

Tabel 1 - Standaardvoertuigen voor model

Voertuigtype	Energieverbruik (kWh/vkm) elektrisch	Energieverbruik (l/vkm) diesel
Kleine bestelwagen	0,229 ²	
Middel bestelwagen	0,298 ²	
Grote bestelwagen	0,37 ²	
Kleine bakwagen (12 t)	0,769 ²	0,20
Grote bakwagen (19 t)	1,04 ³	
Trekker - oplegger (groot)	1,5 gemiddeld ⁴	0,30-0,25
Vrachtwagen met autolaadkraan (inzet voor bouw incl. rijden naar locatie)	2	0,40 ⁵
Verhuiswagen	0,92	0,23
Vuilniswagen	1,75 ⁶	
Ov-bus	1	

De inzet van de verschillende voertuigen kan per bedrijf erg verschillen. Over het algemeen zien we per dag en per jaar de uitkomsten zoals in Tabel 2. Omdat de bevoorrading niet stopt als de vrachtwagens stilstaan, kan de inzet van kleiner materiaal als heftrucks langer zijn dan van vrachtwagens.

Tabel 2 - Eigenschappen mobiele werktuigen

	Verbruik per uur	Totale capaciteit (kWh)	Inzet uren per dag (gemiddeld)
Heftruck 3 wl 1.5 ton	4,74 kWh/uur ⁷	4,5 (rij) + 11,5 (heffen)	8-15
Heftruck 4 wl 2,5 ton	8,07 kWh/uur	18 (rij) + 24 (heffen)	8-15
Palletwagen	0,45 kWh/uur	3,2 (rij) + 2,2 (heffen)	8-15
Meeneemheftruck	6 kWh/uur	15	1-2
Graafmachine groot	65 kWh/uur ⁸	500 (130 per accupakket)	6-10
Graafmachine klein	20 kWh/uur ⁹	150	4-10
Graafmachine mini	5 kWh/uur	50	2-10
Tractoren ¹⁰	25 kWh/uur	250 (met accupakketten)	2-12

Eigenschappen

In Tabel 3 en Tabel 4 staan de eigenschappen van de voertuigen. Voor zware voertuigen gaan we ervan uit dat er altijd via een DC-laadpaal geladen wordt. Voor een licht voertuig gebeurt regulier laden via een AC-paal. Voor het modelleren hebben we bepaalde aannames gemaakt over de stappen in de batterijgrootte en verbeteringen in het verbruik. De bronnen waarop de aannames zijn gebaseerd, zijn weergegeven in voetnoten.

² (CE Delft, 2022)

³ (CE Delft, 2021)/ID logistics

⁴ (Transportlogistiek, 2023)

⁵ CE Delft opgehaalde informatie

⁶ (CE Delft, 2022)

⁷ (Jungheinrich, 2023)

⁸ (Bouwmat, 2022) en (TNO et al., 2020)

⁹ www.cumela.nl/nieuws/techniek-vakinformatie/pon-equipment-lanceert-tientons-310-z-line-elektrische

¹⁰ Zie ook Agromec 700 Vario electric.

Tabel 3 - Eigenschappen zware voertuigen (vrachtwagens zwaarder dan 3,5 ton)

	Huidig	Toekomst (vanaf 2030)
Verbruik (kWh/vkm)	Afhankelijk van type	140% beter ¹¹
Batterijomvang (kWh)	150-550 (stappen van 50 kWh)	150 - 750 (stappen van 50 kWh) ¹¹
Laadsnelheid regulier laden (DC)	~50 (30-100) kW	~ 50 -150 kW
Max. laadsnelheid snelladen (DC)	Tot 350 kW ¹¹	700-1.500 kW ^{11, 12}

Tabel 4 - Eigenschappen lichte voertuigen (bestelauto's van minder dan 3,5 ton)

	Huidig	Toekomst (vanaf 2030)
Verbruik (kWh/vkm)	Afhankelijk van type	130% beter ¹³
Batterijomvang (kWh)	50-200 (stappen van 10 kWh) ¹³	50-200 (stappen van 10 kWh) ¹³
Laadsnelheid regulier laden (AC)	20	20
Max. laadsnelheid snelladen (DC)	Tot 350 kW	700-1.500 kW

Daarnaast zijn er nog enkele overige uitgangspunten wat betreft het laden. Deze uitgangspunten zijn:

- Slim laden wordt toegepast door de laadvraag uit te smeren over de gehele laadbeurt, waardoor het gemiddelde laadvermogen lager wordt.
- We nemen aan dat laadpalen kunnen worden afgeregeld met stappen van 10 kW.
- De gereguleerde rusttijden voor alle chauffeurs zijn: 45 minuten na 4,5 uur rijden en na 9 uur is een rusttijd van 11 uur nodig. Dit zijn ideale tijden voor het bijladen van het voertuig.¹⁴ Afhankelijk van het uit te voeren werk en de inzet van de vrachtwagen zijn er meer of minder mogelijkheden om te laden. Bijvoorbeeld wanneer aan het einde van de dienst de chauffeur zijn vrachtwagen overdraagt voor een volgende rit, is er minder tijd voor het bijladen van het voertuig.
- De efficiëntie van batterijen vermindert over de tijd. De beginning-of-life-dimensie is zo'n 25% hoger dan de end-of-life-capaciteit (Koffrie, 2022).
- De accu's van de elektrische voertuigen kunnen niet onder de 20% leeg gereden worden in de modellering. Uit modelresultaten volgt of bepaalde kilometers niet gereden kunnen worden doordat er bijvoorbeeld te weinig energie in de accu's zit. Voor een sluitende oplossing kunnen alle kilometers gereden worden. Voor snelladen wordt niet boven de 80% geladen om slijtage van de batterij tegen te gaan. (Koffrie, 2022).

We baseren de eigenschappen van vrachtwagens en laadinfrastructuur op de wensen van individuele bedrijven (wel of niet bijladen overdag) en inzet van het voertuig (km per dag), waarbij we rekening houden met slijtage van batterijen.

3.2.2 Energievoorzieningen

Naast de voertuigen gebruikt het model informatie over de energievoorzieningen, zoals het gecontracteerde en fysieke vermogen van de netaansluiting voor invoeding en afname, jaarlijks elektriciteitsverbruik, jaarlijks gasverbruik, opgesteld piekvermogen van zon-pv en/of windturbine. Deze informatie is gebaseerd op de input die we opgehaald hebben bij de verschillende bedrijven. Daarnaast hebben we, als data niet beschikbaar was, informatie ingeschat op basis van de resultaten van andere bedrijven. Het vermogen en de capaciteit

¹¹ (ICCT, 2022b) en (TNO, 2022)

¹² (Timeshift & Hogeschool van Amsterdam, 2022)

¹³ (ICCT, 2022a)

¹⁴ (T&E, 2023)

van de batterij en het vermogen voor het aggregaat zijn vrije parameters in het model. Deze worden bepaald op basis van de vermogensvraag en tekorten.

3.3 Maatregelen om met beperkte netcapaciteit te laden

In het model zijn de onderstaande mitigerende maatregelen uitgewerkt. Per casus kunnen één of meerdere maatregelen meegenomen worden.

Zon-pv: alhoewel het plaatsen van zon-pv niet per se een mitigerende maatregel an sich is, kan het wel bijdragen aan het vermijden van netcongestie. Als men het energieverbruik afstemt op de momenten dat er ook opwek is vanuit de pv-panelen dan zal de vermogensvraag vanuit de netaansluiting verminderen. In combinatie met een batterij kan zon-pv wel een mitigerende maatregel zijn, doordat de extra opgewekte energie die overdag in de batterij gestopt wordt, op een ander moment weer gebruikt kan worden om aan de laadvraag/energievraag te voldoen.

Windturbine: vergelijkbaar met zon-pv kan een (lokale) windturbine de vermogensvraag voor afname vanuit de netaansluiting reduceren, mits het elektriciteitsverbruik hierop wordt afgestemd, of als deze energie in een batterij wordt opgeslagen (zie zon-pv).

Batterij: een batterij kan extra vermogen leveren op momenten dat er veel vraag is naar elektriciteit. Door de batterij op te laden op momenten dat de vraag laag is, en te ontladen als de vraag hoog is, zal de vermogensvraag vanuit de netaansluiting verminderen. Daarnaast kan een batterij elektriciteitsproductie opslaan als deze niet aan het net geleverd kan worden.

Slim laden: elektrische voertuigen worden per voertuig gemodelleerd. Ook heeft ieder voertuig een laad- en werkschema, waardoor er precies kan worden nagaan hoelang een voertuig kan laden. Door de vermogensvraag 'uit te smeren' over de totale laadduur, kan het maximale laadvermogen worden verminderd.

Verschuiven van werkschema met +/- 1 uur: door de laadschema's beter op elkaar af te stemmen, kan de totale laadvraag (van alle voertuigen) aanzienlijk worden verminderd. Bijvoorbeeld, als drie elektrische voertuigen op hetzelfde uur met 100 kW gaan snelladen dan resulteert dat in een vermogenspiek van 300 kW. Door een voertuig één uur eerder te laten laden, en een ander voertuig één uur later te laten laden, zal de vermogenspiek nooit boven de 100 kW uitkomen. Deze optie vereist een aanpassing van de bedrijfsvoering en is voornamelijk met snelladen effectief.

Alternatieve transportrechten (tijdsblokgebonden contract): in overleg met de netbeheerder kan tussen bepaalde tijden (tijdsblokken) meer vermogen worden afgenomen. Op dit moment geven netbeheerders aan dat er vooral 's nachts (tussen 22:00 en 06:00 uur) nog extra vermogen beschikbaar is, wat ideaal is voor het laden van elektrische voertuigen.¹⁵

Energiehub: in een energiehub (ook wel groepscontract genoemd) worden afspraken gemaakt tussen bedrijven om energie met elkaar te delen. De modellering is vergelijkbaar

¹⁵ Dit kwam naar voren uit de gesprekken die gevoerd zijn ten behoeve van deze studie en onder andere: www.netbeheernederland.nl/_upload/RadFiles/New/Documents/Position%20paper%20Groeps-TO%20v1.0%20-%20augustus%202023.pdf

met de modellering van het tijdsblokkegebonden contract, waar tussen bepaalde uren meer vermogen afgenomen kan worden.

Aggregaat: een aggregaat kan energietekorten opvangen. Dit is een realistische optie om binnen de bestaande netaansluiting toch extra vermogen te kunnen leveren. Aangezien aggregaten meestal op fossiele brandstof draaien, is het niet wenselijk een aggregaat frequent in te zetten. De inzet van een aggregaat is vooral van nut om pieken in energievraag op te vangen. Duurzame alternatieven voor diesel, zoals HVO, kunnen ervoor zorgen dat de inzet van een aggregaat leidt tot minder emissies. Tot 2030 en 2035 zijn deze echter maar (zeer) beperkt beschikbaar.

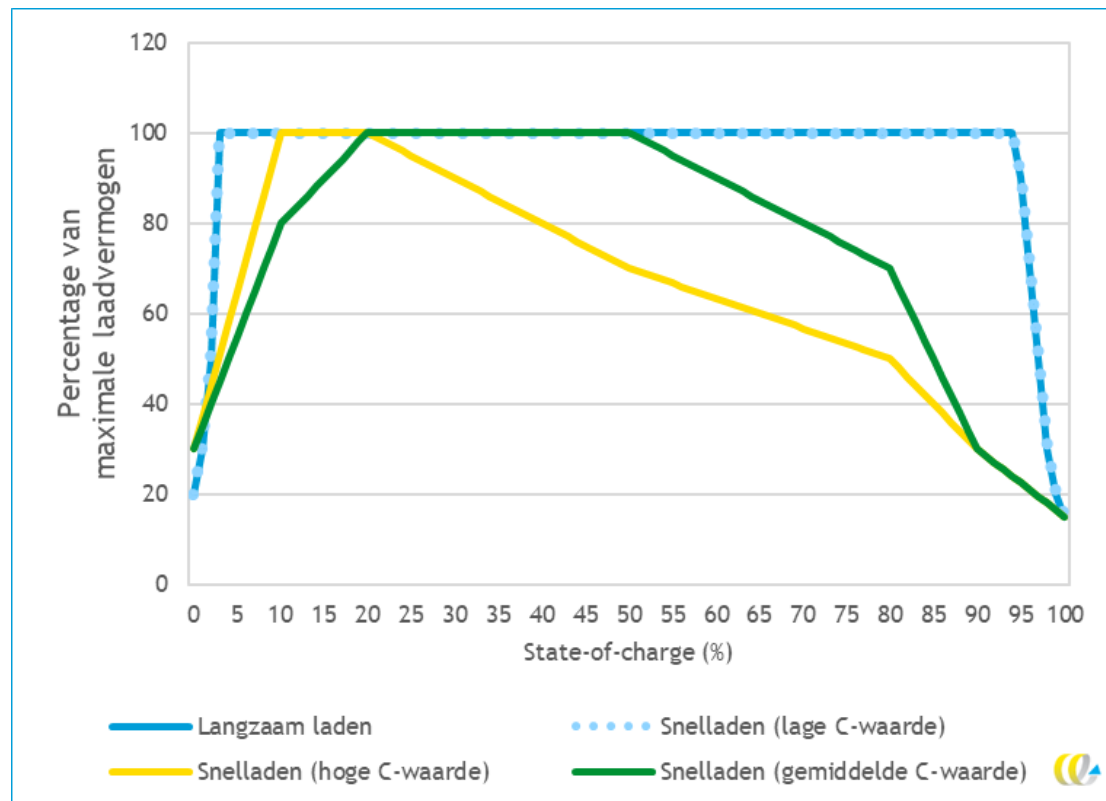
3.4 Aannames modellering

In het model zijn een aantal aannames gemaakt, die de overeenkomst tussen de werkelijkheid en de resultaten uit de modellering kunnen beïnvloeden:

- **Netaansluiting:** er kan niet meer vermogen geleverd worden uit het net dan gecontracteerd is, of dan via het alternatief transportrecht beschikbaar is.
- **Opwekprofielen zon-pv en wind:** we maken gebruik van standaard opwekprofielen voor zon-pv en wind uit het weersjaar 2015. Deze profielen kunnen afwijken van de werkelijke opwekprofielen op de desbetreffende locaties. Daarnaast kunnen modelresultaten tussen twee verschillende (weer)jaren ook verschillen door verschillen in opwek vanuit zon en/of wind.
- **Voertuigen rijden het gemiddelde aantal kilometers:** voertuigen rijden voor ieder uur ongeveer het gemiddeld aantal kilometers per uur; dat is gebaseerd op jaargegevens en werkschema's van de voertuigen. In de modellering introduceren we een kleine willekeurigheid rondom dit gemiddelde, zodat soms iets meer en soms iets minder dan het gemiddelde wordt gereden. In werkelijkheid kunnen voertuigen ook (veel) meer rijden dan het gemiddelde, waardoor (tekorten in) de laadvraag ook verschillen.
- **Twee vaste laadmomenten:** in de modellering kunnen voertuigen gedurende 24 uur op twee momenten laden. Vaak is dat een korte laadbeurt overdag, en een langere laadbeurt 's nachts om de accu vol te laden. Met een percentage kan worden aangegeven hoe vaak het voertuig op locatie of buiten de locatie laadt. In de praktijk kan het zijn dat bedrijven een andere frequentie van het opladen van hun voertuigen aanhouden.
- **Laad- en werkschema's staan vast:** laad- en werkschema's zijn per voertuig gemodelleerd, maar de uren waarop ze laden en werken staan vast gedurende het jaar. In werkelijkheid kan er grotere spreiding zitten in de momenten dat een voertuig gaat laden en/of vertrekt.
- **Vier verschillende laadcurves:** laadcurves zijn meegenomen voor drie verschillende accutypes met een lage, midden of hoge C-waarde. De C-waarde is een indicator die iets zegt over de (ont)laadsnelheid van een batterij. De laadcurve voor langzaam laden (AC-laden) komt overeen met de laadcurve van de lage C-waarde (zie Figuur 5).
- **Minimale SoC van 20%:** voor de modellering hebben we aangenomen dat het accuniveau voor de elektrische voertuigen nooit onder de 20% zal zakken. In de praktijk bestaat die mogelijkheid natuurlijk wel.
- **Roundtrip-efficiëntie van 85%:** alle batterijen/accu's in het model zijn gemodelleerd met een roundtrip-efficiëntie van 85%.



Figuur 5 - Vier verschillende laadcurves



4 Uitwerking casus

4.1 Aanpak

Om de benodigde inzet van mitigerende maatregelen te bepalen, hebben we voor elke casus dezelfde stappen doorlopen. De stappen die we hebben doorlopen worden in deze paragraaf uiteengezet. In Paragraaf 4.2 laten we de uitwerking van de stappen zien aan de hand van één van de casussen. De mitigerende maatregelen die we in overweging hebben genomen, zijn afkomstig uit de studie die eerder door CE Delft is uitgevoerd in opdracht van NAL: [Laden voor logistiek bij beperkte netcapaciteit](#). De mitigerende maatregelen zijn:

1. Het tijdsblokgebonden transportvermogen.
2. Energiehub.
3. Collectief laadplein (belangrijk om na te gaan, maar niet gemodelleerd).
4. Lokale batterij, eventueel in combinatie met lokale energieopwekking uit zon en/of wind.
5. Tijdelijk aggregaat.

4.1.1 Stap 1 tot 3: Inventarisatie en ritprofielen

In de eerste drie stappen brengen we de vermogensvraag, ritprofielen en potentie voor slim laden en slimme laadstrategie in kaart.

Stap 1: Inventarisatie laadvraag per uur (gedurende het jaar)

Bepaal de ritprofielen en laadvraag voor de gehele vloot per dag voor het gehele jaar. Hieruit volgt het benodigde maximale laadvermogen (in kW), en de laadvraag gedurende de dag (in kWh).

Slim laden wordt standaard toegepast, waardoor de laadvraag voor elk voertuig over de hele laadbeurt verspreid wordt. Ga na of er voor sommige ritten extern geladen moet worden, bijvoorbeeld snelladen overdag op een externe locatie. Met CEnergie kunnen we de laadvraag en het laadvermogen nauwkeurig in kaart brengen.

Alhoewel een nauwkeurige modellering van de rit- en laadprofielen leidt tot een betere inschatting van het benodigde laadvermogen en de laadvraag, kan men bepaalde vuistregels gebruiken om een grove inschatting te maken van deze twee parameters:

*Dagelijkse laadvraag (kWh) = Gem. aantal gereden kilometers per dag (km) x
verbruiksfactor (kWh/km) x aantal voertuigen*

*Benodigde laadvermogen (kW) = Dagelijkse laadvraag (kWh) / het aantal uur dat geladen
kan worden (uur)*

In de bovenstaande formules gaan we ervan uit dat alle voertuigen op hetzelfde moment laden en stoppen met laden. Indien het contracteerde vermogen hoger is dan de benodigde laadvraag, dan zijn er geen mitigerende maatregelen nodig. Indien dit niet zo is, zal de netbeheerder benaderd moeten worden om een uitbreiding van de fysieke netaansluiting aan te vragen, in combinatie met een verhoging van het gecontracteerde vermogen. Indien dit niet mogelijk is, moeten er andere mitigerende maatregelen worden onderzocht.

Stap 2: Aanpassen laad - en ritprofielen

Door de laadvraag uit te smeren over een langere periode, door het laden van verschillende voertuigen te starten op verschillende momenten, kan het maximale laadvermogen omlaag gebracht worden (flatten the curve). Indien dit geen grote gevolgen heeft voor de bedrijfsvoering, is dit een no-regret-maatregel waardoor er afhankelijk van het gecontracteerde vermogen wel geladen kan worden.

Stap 3: Laadschema's afstemmen met lokale energieopwekking uit zon en wind

Door de laadschema's van de voertuigen in lijn te brengen met het moment dat er ook lokale energieopwekking is, bijvoorbeeld uit zon-pv of uit wind, kan eventueel een tekort aan laadvermogen vanuit het net aangevuld worden door de vermogens uit de lokale opwekking. Uiteraard vraagt deze strategie om veel flexibiliteit van de bedrijfsvoering, omdat opwek uit zon en wind afhankelijk is van het weer. Ook geeft dit geen garanties dat er altijd voldoende lokale opwekking is om aan de benodigde laadvraag te kunnen voldoen, waardoor deze strategie alleen als 'mitigerende maatregel' kan worden beschouwd, indien deze onzekerheden geaccepteerd (kunnen) worden.

4.1.2 Stap 4 tot 8: Analyse van additionele oplossingen

Naast slim laden, waarbij ook al gebruik kan worden gemaakt van zon en wind, worden de additionele oplossingen individueel en collectief onderzocht. Hierna beschrijven we hoe deze oplossingen zijn onderzocht.

Stap 4: Tijdsblokgebonden transportvermogen

Indien de voorgaande stappen niet tot een wenselijke/mogelijke oplossing hebben geleid, kan het tijdsblokgebonden transportvermogen een mogelijke uitkomst bieden. In gesprekken met de netbeheerder moet worden nagegaan of op de desbetreffende locatie het tijdsblokgebonden transportvermogen beschikbaar is, en tussen welke uren van de dag (vaak zal dit tijdens de avond/nacht zijn) er extra transportvermogen beschikbaar is.

Indien het tijdsblokgebonden transportvermogen beschikbaar is, moet worden nagegaan of de specificaties hiervan, dat wil zeggen de specifieke uren en het totale vermogen dat kan worden afgenomen, voldoende zijn om aan de laadvraag te kunnen voldoen. Ook moet men nagaan of de fysieke netaansluiting voldoende is om dit vermogen te kunnen transporteren. Indien dit niet het geval is, dan moet er een uitbreiding plaatsvinden van de fysieke aansluiting. Deze moet ook aangevraagd worden bij de netbeheerder.

Stap 5: Collectief laadplein

Ga na of er al plannen zijn voor een (collectief) laadplein in de buurt, of dat er al bestaande (collectieve) laadpleinen zijn, bijvoorbeeld bij bedrijven in de nabije omgeving. Stem af met alle partijen in de buurt op welke uren en/of welke dagen er gebruik gemaakt kan worden van deze laadvoorzieningen. Ga ook na wat de specificaties zijn van de laadvoorzieningen (bijvoorbeeld snelladers etc.).

Indien het mogelijk is om een deel van de laadvraag te verplaatsen naar het collectieve laadplein dan moet worden nagegaan of het restende deel van de laadvraag wel kan worden voorzien op de eigen locatie.

Stap 6: Energiehub

Een andere mogelijkheid is om met nabijgelegen bedrijven een energiehub te ontwikkelen, door gebruik te maken van een 'groepsaansluiting'. Binnen een groepsaansluiting kunnen bedrijven hun energievraag op elkaar aanpassen/afstemmen, zodat ze als collectief de netaansluiting beter benutten. Gedetailleerde informatie over de (uurlijkse) elektriciteitsafname en -invoeding van iedere bedrijf is cruciaal om inzicht te krijgen of een dergelijke energiehub kan gaan werken.

Stap 7: Batterij

Lokale energieopslag kan mogelijk een uitkomst bieden door op momenten van minder energievraag, dat wil zeggen de restcapaciteit, een batterij op te laden (uit het net), en deze opslagen energie vervolgens in te zetten op de momenten dat de laadvraag hoog is.

Merk op dat deze strategie alleen werkt als de restcapaciteit voldoende is om aan resterende laadvraag te voldoen. Ook moet men rekening houden met energieverliezen in de batterij; deze bedragen circa 15%.

Indien, de restcapaciteit niet voldoende is, kan extra lokale opwek ook een uitkomst bieden, doordat er extra energie in de batterij opgeslagen kan worden, afkomstig uit bijvoorbeeld zon of wind. Dit betekent dat de hoeveelheid energie die wordt opgeslagen in de batterij afhankelijk is van het weer, per dag verschilt, en ook onvoldoende kan zijn op sommige dagen.

Stap 8: Aggregaat

Als laatste maatregel, kan een aggregaat op bijvoorbeeld (bio)diesel een oplossing bieden als de mitigerende maatregelen in de voorgaande stappen onvoldoende blijken te zijn. Het aggregaat kan een aanvulling zijn op andere maatregelen, zoals de batterij in combinatie met lokale energieopwekking, waarvan niet gegarandeerd kan worden dat aan de laadvraag kan worden voldaan. In deze gevallen kan het aggregaat bijspringen op momenten dat er nog (resterende) energietekorten zijn.

4.1.3 Stap 9: Voorlopige selectie maatregelen

De onderzochte maatregelen worden vervolgens door een bedrijf vergeleken. Dit kan bijvoorbeeld op de onderstaande vier criteria:

1. **Haalbaarheid:** is de maatregel haalbaar met de huidige wet- en regelgeving en toepasbaar voor de casus? Belangrijk bij haalbaarheid is ook dat de maatregel resulteert in een betrouwbare energievoorziening. Specifieke voorwaarden voor de mitigerende maatregelen zijn in de beschrijving opgenomen.
2. **Kosten:** de investerings- en jaarlijkse kosten van de maatregel.
3. **Duurzaamheid:** de CO₂-uitstoot en andere duurzaamheidseffecten (luchtverontreiniging, eventueel materiaalgebruik) van de maatregel.

4. **Doorlooptijd:** hoelang het duurt om de maatregel te realiseren, zodat een vergelijking gemaakt kan worden met wanneer een eventuele netverzwaring is gerealiseerd?
Een organisatie kan natuurlijk zelf additionele criteria toevoegen.

Op basis hiervan kan een selectie worden gemaakt van potentiële mitigerende maatregelen voor de relevante partij. In dit rapport geven we hier concreet invulling aan door advies te geven over de maatregelen.

4.2 Uitwerking Transport & Zo

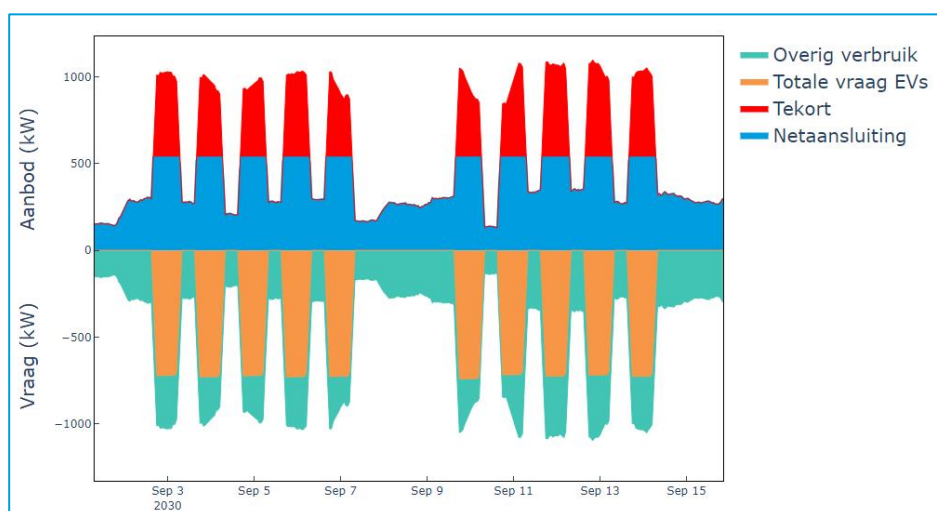
We doorlopen de stappen voor Transport & Zo, die 35 elektrische vrachtwagens in gebruik verwacht te hebben in 2030.

Stap 1: Inventarisatie laadvraag per uur gedurende het jaar

We gebruiken Cnergie om een inzicht te krijgen in het benodigde laadvermogen (kW) en de laadvraag (kWh). Als input voor de modellering gebruiken we 35 elektrische vrachtwagens met een accu capaciteit van 540 kWh. We nemen aan dat de accu capaciteit nooit onder 20% mag dalen. De huidige ritprofielen geven aan dat in het weekend er nauwelijks gereden wordt, en dat er dus gedurende het weekend geen laadvraag is. Gemiddeld genomen rijdt elk voertuig circa 350 km per dag. Met een werkdag van circa 10 uur per dag vertaalt dit zich naar gemiddelde snelheid van zo'n 35 km/uur. We nemen aan dat elk voertuig overdag 1 uur snellaadt op een externe locatie.

Figuur 6 laat een voorbeeld zien van een vermogensprofiel voor Transport & Zo in september. Uit deze modelresultaten komt duidelijk naar voren dat het huidig gecontracteerde vermogen van 535 kW onvoldoende is om alle 35 elektrische vrachtwagens op te laden. Alleen als het gecontracteerde vermogen stijgt naar circa 1 MW, zal er voldoende vermogen zijn om te voldoen aan de laadvraag. We nemen aan dat de netbeheerder deze toezegging op middellang termijn niet kan doen, en daarom zullen we moeten kijken naar mitigerende maatregelen.

Figuur 6 - Voorbeeld van vermogensprofiel voor twee weken in september voor Transport & Zo. Modelresultaten uit Cnergie met Modus 1. Merk op dat het snelladen overdag op een externe locatie niet terugkomt in dit profiel.



Stap 2: Aanpassen laad - en ritprofielen (geen oplossing)

De gemiddelde laadvraag per dag is circa 10.350 kWh/dag (Stap 1). Het huidige elektriciteitsverbruik van het bedrijf is circa 6.500 kWh/dag, dit is exclusief de benodigde elektriciteit voor de vrachtwagens. Met een gecontracteerd vermogen van 535 kW zou in theorie $24 \times 535 = 12.840$ kWh/dag van het net afgenomen kunnen worden. Dit is dus onvoldoende energie om aan de laadvraag en het eigen gebruik te kunnen voldoen, zelfs als de rit- en laadschema's helemaal geoptimaliseerd zouden worden om binnen het huidige contractvermogen te laden. Het is daarmee geen volledige oplossing.

Stap 3: Laadschema's afstemmen met lokale energieopwekking uit zon en wind (geen oplossing)

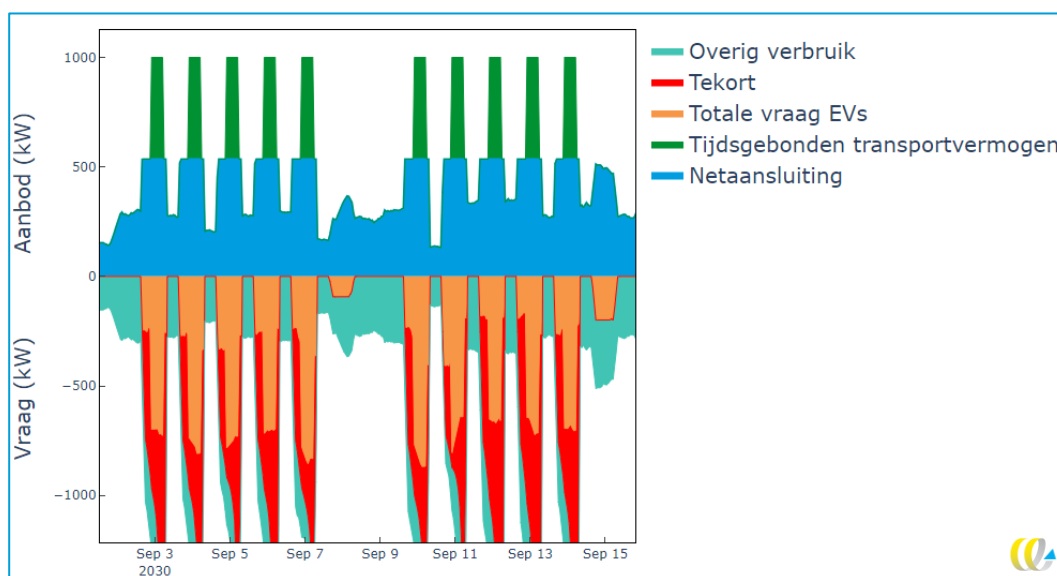
Transport & Zo heeft nog geen lokale energieopwekking. In theorie zou er ruimte zijn voor circa 900 kWp zon-pv. Echter, de laadvraag ligt vooral in de avond/nacht, terwijl de energie overdag wordt opgewekt. Zonder batterij (Stap 7) kan deze energie dan niet direct benut worden voor het laden van de voertuigen. Voor de bedrijfsvoering is het lastig om de laadschema's aan te passen op de lokale energieopwekking uit zon.

Stap 4: Tijdsblokgebonden transportvermogen (mogelijke oplossing)

Transport & Zo heeft een fysieke aansluiting liggen van 1 MW, terwijl het gecontracteerde vermogen 535 kW bedraagt. We modelleren met CEnergy eerst de situatie waarbij we gebruikmaken van een tijdsblokgebonden transportvermogen en aannemen dat van 22:00 tot 6:00 uur een totaal (tijdsblokgebonden) transportvermogen beschikbaar is van 1 MW.

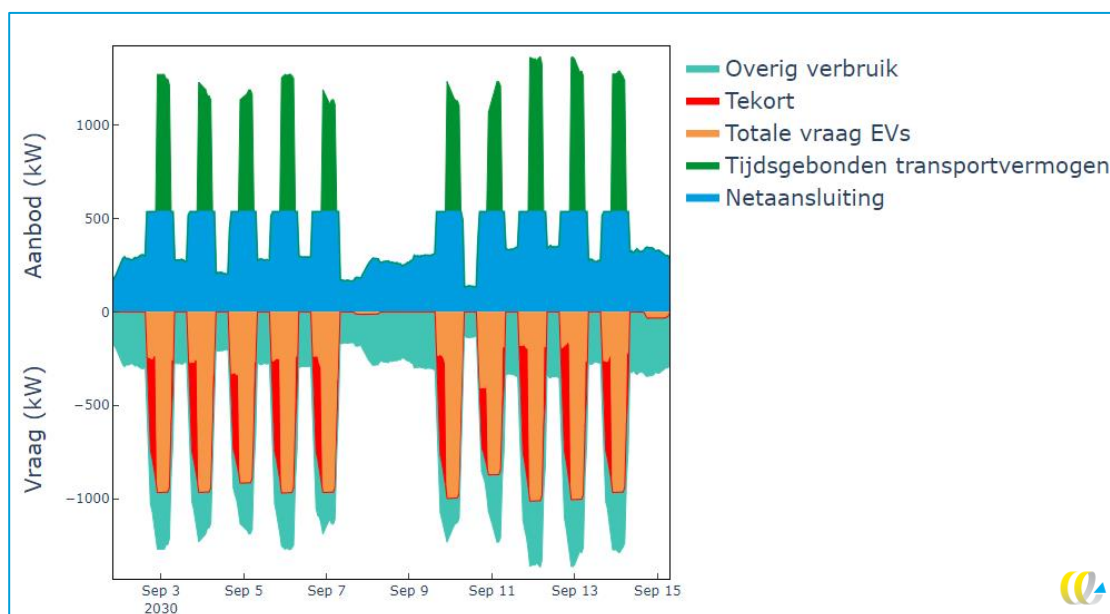
Figuur 7 laat een voorbeeld zien van een vermogensprofiel voor deze situatie. We zien dat er veel tekorten ontstaan tijdens het laden, en dat de accu's van de elektrische vrachtwagen vaak niet helemaal gevuld zijn aan het einde van de laadbeurt. Deze configuratie biedt dus geen oplossingen voor Transport & Zo met de huidige fysieke netaansluiting.

Figuur 7 - Voorbeeld van vermogensprofiel voor twee weken in september voor Transport & Zo. Modelresultaten met tijdsblokgebonden transportvermogen met 1 MW (CEnergie met Modus 2).



Door de fysieke netaansluiting uit te breiden en het tijdsblokgebonden contractvermogen te verhogen, kan mogelijk wel aan de laadvraag worden voldaan. We modelleren de situatie waarbij de netaansluiting en het tijdsblokgebonden contractvermogen 1,5 MW bedragen. Figuur 8 laat een voorbeeld zien van een vermogensprofiel voor deze situatie. We zien dat er tekorten zijn in het begin van de laadbeurt, wanneer het tijdsblokgebonden transportvermogen nog niet beschikbaar is. Daarna stijgt het laadvermogen en is er in combinatie met het tijdsblokgebonden transportvermogen, voldoende energie beschikbaar om de accu's op te laden. Deze configuratie biedt dus een mogelijk oplossing voor Transport & Zo.

Figuur 8 - Voorbeeld van vermogensprofiel voor twee weken in september voor Transport & Zo.
Modelresultaten met tijdsblokgebonden transportvermogen met 1,5 MW (CEnergie met Modus 2).



Stap 5 en 6: Energiehub en/of collectief laadplein (onduidelijk)

Er zitten verschillende bedrijven in de buurt van Transport & Zo, waardoor een energiehub een mogelijke oplossing kan bieden. Op dit moment lopen er nog geen gesprekken met de omliggende bedrijven om deze optie te onderzoeken. Ook is het niet bekend hoe de verbruiksprofielen van deze bedrijven er uitzien. Meer onderzoek is nodig om te bepalen of een energiehub zou kunnen werken.

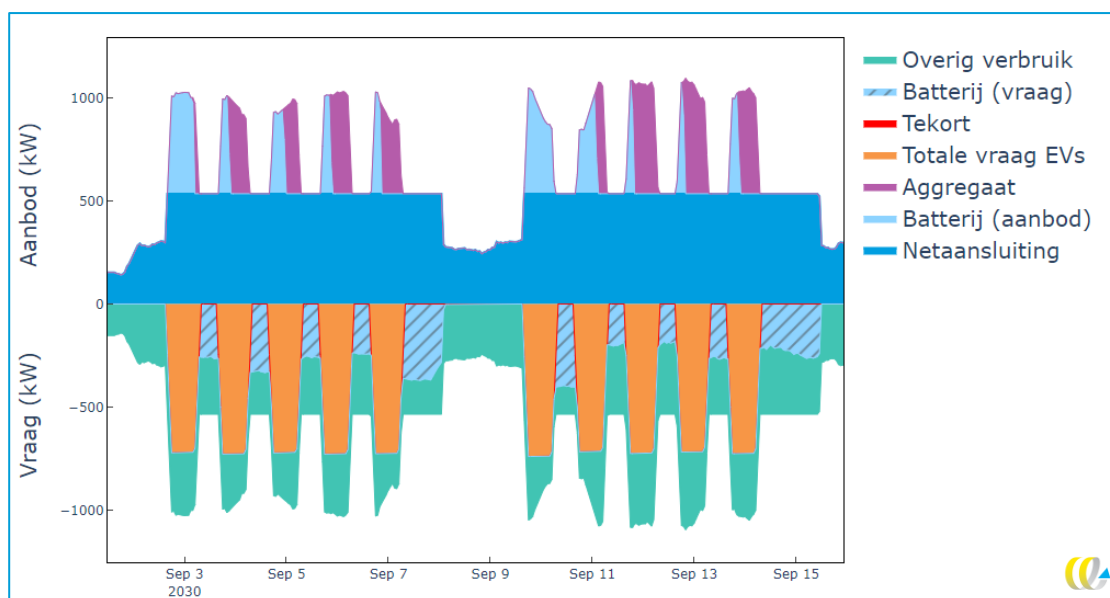
Daarnaast zijn er op het nabijgelegen bedrijventerrein meerdere laadpunten aanwezig (van 11 en 22 kW). Er is meer onderzoek nodig om na te gaan wat de verwachte bezettingsgraad is van deze laadpunten in 2030, en welk deel van de laadvraag van Transport & Zo kan worden verplaatst naar deze nabijgelegen laadpunten. Gezien de hoge laadvraag, met 35 elektrische vrachtwagens, is het aannemelijk dat maar een klein deel van de laadvraag verplaatst kan worden, waardoor alsnog een aanzienlijk deel van de laadvraag op eigen locatie moet worden voorzien.

Stap 7 en 8: Batterij en aggregaat (geen oplossing)

Met het huidige gecontracteerde vermogen van 535 kW is er mogelijk nog ruimte overdag om een batterij op te laden. Met behulp van Cnergie modelleren we de situatie waarbij overdag een batterij van 1 MW: 6 MWh oplaadt als de energievraag lager is, en waarbij de opgeslagen energie gebruikt wordt om 's nachts de vrachtwagens op te laden. In de modellering nemen we ook gelijk een aggregaat mee om inzicht te krijgen hoe vaak deze moet bijspringen om aan de laadvraag te voldoen.

Figuur 9 laat een voorbeeld zien van een vermogensprofiel in september voor deze configuratie. We zien dat gedurende het weekend de batterij genoeg tijd heeft gehad om volledig op te laden, waardoor op maandag de volledige laadvraag kan worden voorzien vanuit de netaansluiting en de batterij. Echter, op de daaropvolgende dagen zien we dat de batterij overdag niet meer voldoende kan opladen om de laadvraag te voorzien, waardoor het aggregaat moet bijspringen. Door het hoge dieselverbruik van het aggregaat en de hoge kosten voor de batterij wordt deze oplossing minder realistisch ingeschat.

Figuur 9 - Voorbeeld van vermogensprofiel voor twee weken in september voor Transport & Zo. Modelresultaten met een batterij van 1 MW en 4 MWh en een aggregaat (Cnergie met Modus 2).



Stap 9: Voorlopige selectie maatregelen

Het advies voor deze casus is opgenomen in het hoofdrapport.

5 Modelresultaten per casus

In de volgende secties staat voor iedere casus een overzicht van de modelresultaten voor de modellering in 2030.

5.1 Modelresultaten voor Van Bortel Groep

Tabel 5 geeft de belangrijkste modelresultaten weer voor de modellering van Van Bortel Groep voor het jaar 2030. In het hoofdrapport staat meer informatie over het bedrijf en over de modellering. Door gebrek aan data is aangenomen dat het pandverbruik gelijk is aan circa 65% van het gecontracteerde vermogen. Dit is mogelijk een overschatting van het werkelijke verbruik.

Tabel 5 - Resultaten uit modellering voor de situatie in 2030 voor Van Bortel Groep. Het laadvermogen overdag wordt beperkt door het gecontracteerde vermogen, omdat het tijdsblokgebonden transportvermogen niet beschikbaar is overdag. De bandbreedtes zijn het 5^{de} en 95^{ste} percentiel van de vermogens tijdens een laadbeurt over het hele jaar genomen.

Resultaten modellering voor laadvraag in 2030	
Gem. laadvraag per dag	Circa 1.750 kWh/dag
Piekvermogen incl. overig verbruik	450 kW
Piekvermogen door laden	400 kW
	
Gem. laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	42 kW
Bandbreedte laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	5-53 kW
Gem. laadvermogen per vrachtwagen overdag	14 kW
Bandbreedte laadvermogen per vrachtwagen overdag	5-56 kW
	
Gem. laadvermogen per bestelwagen 's nachts	2 kW
Bandbreedte laadvermogen per bestelwagen 's nachts	2-2,5 kW

5.2 Modelresultaten voor J. Prijs & Zn

Tabel 6 geeft de belangrijkste modelresultaten weer voor de modelering van J. Prijs & Zn voor het jaar 2030. In het hoofdrapport staat meer informatie over het bedrijf en over de modellering. Door gebrek aan data is aangenomen dat het pandverbruik gelijk is aan circa 65% van het contracteerde vermogen. Dit is mogelijk een overschatting van het werkelijke verbruik.

Tabel 6 - Resultaten uit modellering voor de situatie in 2030 voor J. Prijs & Zn. De bandbreedtes zijn het 5^{de} en 95^{ste} percentiel van de vermogens tijdens een laadbeurt over het hele jaar genomen.

Resultaten modellering voor laadvraag in 2030	
Gem. laadvraag per dag	Circa 2.050 kWh/dag
Piekvermogen incl. overig verbruik	330 kW
Piekvermogen door laden	300 kW

Resultaten modellering voor laadvraag in 2030	
	
Gem. laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	25 kW
Bandbreedte laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	1,5-29 kW

5.3 Modelresultaten voor Bakker Transport & Warehousing

Tabel 7 Tabel 7 geeft de belangrijkste modelresultaten weer voor de modelering van Bakker Transport & Warehousing voor het jaar 2030. In het hoofdrapport staat meer informatie over het bedrijf en over de modellering. Door gebrek aan data is aangenomen dat het pandverbruik gelijk is aan circa 50% van het contracteerde vermogen. Dit is mogelijk een overschatting van het werkelijke verbruik.

Tabel 7 - Resultaten uit modellering voor de situatie in 2030 voor Bakker Transport & Warehousing. De bandbreedtes zijn het 5^{de} en 95^{ste} percentiel van de vermogens tijdens een laadbeurt over het hele jaar genomen.

Resultaten modellering voor laadvraag in 2030	
Gem. laadvraag per dag	Circa 8.000 kWh/dag
Piekvermogen (incl. overig verbruik)	1.350 kW
Piekvermogen door laden	1.250 kW
	
Gem. laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	35 kW
Bandbreedte laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	3,5-63 kW

5.4 Modelresultaten voor Transport & Zo

Tabel 8 geeft de belangrijkste modelresultaten weer voor de modellering van Transport & Zo voor het jaar 2030. In het hoofdrapport staat meer informatie over het bedrijf en over de modellering. Door gebrek aan data is aangenomen dat het pandverbruik gelijk is aan circa 50% van het contracteerde vermogen. Dit is mogelijk een overschatting van het werkelijke verbruik.

Tabel 8 - Resultaten uit modellering voor de situatie in 2030 voor Transport & Zo. De bandbreedtes zijn het 5^{de} en 95^{ste} percentiel van de vermogens tijdens een laadbeurt over het hele jaar genomen.

Resultaten modellering voor laadvraag in 2030	
Gem. laadvraag per dag excl. snelladen op externe locatie	Circa 6.850 kWh/dag
Gem. laadvraag per dag incl. snelladen op externe locatie	Circa 9.300 kWh/dag
Piekvermogen incl. overig verbruik	1.300 kW
Piekvermogen door laden	1.000 kW
	
Gem. laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	24 kW
Bandbreedte laadvermogen per vrachtwagen 's nachts	1-30 kW
Gem. snellaadvermogen per vrachtwagen overdag op externe locatie	100 kW
Bandbreedte snellaadvermogen per vrachtwagen overdag op externe locatie	65-130 kW

5.5 Modelresultaten voor Van der Werff Logistics

In het hoofdrapport staat meer informatie over het bedrijf en over de modellering.
Het jaarlijkse verbruik is 437 MWh per jaar; deze data zijn aangeleverd door Van der Werff Logistics.

5.6 Modelresultaten voor Van Kuijk Groep

In het hoofdrapport staat meer informatie over het bedrijf en over de modellering.
Het jaarlijkse verbruik is 46,6 MWh per jaar, deze data zijn aangeleverd door Van Kuijk Groep.

6 Kostenoverzicht

In deze studie zijn de kosten van de verschillende maatregelen meegenomen. In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op deze kosten.

6.1 Kosten batterijsysteem

Voor de batterijkosten gaan we uit van het jaar 2025, aannemend dat in dit jaar de batterij wordt aangeschaft. We nemen de prijsprojecties over uit een studie van het National Renewable Energy Laboratory (NREL).¹⁶

Tabel 9 - Verwachte batterijkosten voor het jaar 2025 gebaseerd op projecties van het NREL. Kosten zijn uitgedrukt in €/kW. Om de kosten in €/kWh te krijgen, kan men de prijs per kW delen door het aantal uur dat de batterij energie levert. * Jaarlasten van de investering zijn op basis van een WACC van 10% en een afschrijftermijn van 15 jaar.

	2-uurs-batterij	4-uurs-batterij	6-uurs-batterij	8-uurs-batterij	Eenheid
Investeringskosten batterij	€ 794,89	€ 1.124,68	€ 1.454,47	€ 1.784,27	€/kW
Jaarlasten investering batterij *	€ 104,51	€ 147,87	€ 191,23	€ 234,58	€/kW/jaar
Operationele kosten batterij	€ 19,87	€ 28,12	€ 36,36	€ 44,61	€/kW/jaar
Totale jaarlijkse kosten batterij	€ 124,38	€ 175,98	€ 227,59	€ 279,19	€/kW/jaar

6.2 Kosten aggregaat

De kosten van een aggregaat bestaan uit de aanschafkosten en het verbruik van de brandstof. Voor deze studie gaan we uit van duurzame diesel, namelijk HVO100. Voor deze studie hebben we niet gekeken naar de prijsontwikkeling van HVO100 richting 2030. Daarnaast hebben we ook niet gekeken naar de beschikbaarheid van HVO100, wat een aandachtspunt is, zeker bij grootschalige toepassing in voertuigen en aggregaten.

Tabel 10 - Overzicht van kosten voor een aggregaat. * Jaarlasten van de investering zijn op basis van een WACC van 10% en een afschrijftermijn van 15 jaar. ** We gebruiken de omrekeningsfactor 9,98 kWh/L (diesel) en een efficiëntie van 40% voor de omzetting naar elektriciteit.

Type	Waarde	Eenheid
Aanschafkosten		
Kosten 100 kW-aggregaat	€ 35.000	€/100 kW
Investeringskosten per 1 MW	€ 159.981	€
Jaarlasten 1 MW-aggregaat *	€ 21.033	€/jaar
Verbruikskosten		
HVO100 ¹⁷	2,62	€/L (incl. btw)
Prijs per kWh **	€ 0,66	€/kWh

¹⁶ Bron: www.atb.nrel.gov/electricity/2023/utility-scale_battery_storage

¹⁷ www.fulltank.nl/nl/brandstofprijzen

6.3 Kosten netaansluiting

6.3.1 Kosten reguliere netaansluiting

De kosten voor een reguliere netaansluiting bestaan uit verschillende kostenposten (zie Tabel 11) en kan betrekking hebben op kosten die gemaakt worden voor transport, verbruik, of voor het aanleggen van de netaansluiting. Er zijn kostenposten die eenmalig bepaald worden, of periodiek.

Tabel 11 - Kostenoverzicht voor reguliere netaansluiting. De tarieven van Liander voor 2023, publiek beschikbaar via website van ACM.

Beschrijving	Kostensoort	Afnemers MS	Afnemers Trafo MS/LS	Afnemers LS	Klein-verbruikers tot 3x80	Eenheid
Max. vermogen (kW)	–	10.000	2.000	400	50	kW
Vastrecht transportdienst	Periodiek	€ 441,00	€ 441,00	€ 18,00	€ -	€/jaar
kW gecontracteerd	Periodiek	€ 21,84	€ 34,56	€ 12,96	€ -	€/kW/jaar
kW max. per maand	Periodiek	€ 2,59	€ 2,59	€ 0,03	€ -	€/kW/maand
kWh tarief normaal	Periodiek	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,05	€ -	€/kWh
Capaciteitstarief	Periodiek	€ -	€ -	€ -	€ 2.847,00	€/jaar
Periodieke aansluitvergoeding	Periodiek	€ 9.816,00	€ 1.222,92	€ 38,47	€ 38,47	€/jaar
Eenmalige aansluitvergoeding	Eenmalig	€ 327.131,00	€ 40.765,00	€ 20.923,00	€ 1.282,00	€/aansluiting
Eenmalige aansluitvergoeding meerlengte 25 m	Eenmalig	€ 216,00	€ 126,00	€ 126,00	€ 38,70	€/meter
	Jaarlast	€ 43.009,15	€ 5.359,53	€ 2.750,83	€ 168,55	€/aansluiting
	Jaarlast	€ 28,40	€ 16,57	€ 16,57	€ 5,09	€/meter

Als men de kosten wil berekenen voor de netaansluiting dan moet er rekening worden gehouden met zowel afname als invoeding. Invoeding gebeurt tijdens overschotten uit lokale opwekking (zon-pv of wind), die teruggeleverd worden aan het net. De kostenposten *Vastrecht transportdienst* en *Periodieke aansluitvergoeding* worden bepaald aan de hand van het maximale vermogen dat wordt getransporteerd over de aansluiting (zie Tabel 12). Dit maximale vermogen kan komen door afname of door invoeding. De overige kostenposten hebben vooral betrekking op de afname.

Tabel 12 - Kostposten en aannames

	Kosten op basis van afname	Kosten/baten op basis van invoeding
Vastrecht transportdienst	Gebaseerd op grootte van je aansluiting, dat wil zeggen: maximale vermogen van afname of invoeding.	
kW gecontracteerd	Ja	Nee
kW max per maand	Ja	Nee
kWh tarief normaal	Ja	Geen nettatarief, handelen gaat via de energiemarkt. Kleinverbruikers maken gebruik van de salderingsregeling.
Capaciteitstarief	Geldt alleen voor kleinverbruikers	
Periodieke aansluitvergoeding	Gebaseerd op grootte van je aansluiting, dat wil zeggen: maximale vermogen van afname of invoeding.	

6.3.2 Kosten alternatieve transportrechten en tijdsgeboden transportvermogen

Momenteel zijn er vier verschillende flexibele energiecontractvormen in ontwikkeling bij de netbeheerders.¹⁸ De uitwerking van het *tijdsgeboden transportvermogen* is momenteel het meest concreet, mede doordat verschillende netbeheerders al eigen versies hebben geïntroduceerd vooruitlopend op uniforme introductie van alternatieve transportrechten. Tijdsgeboden contractrechten worden dus al in de praktijk toegepast. Bij het tijdsgeboden contract worden afspraken gemaakt tussen de netbeheerder en de afnemer op welke uren er extra vermogen afgenomen kan worden. De inschatting van de netbeheerders is dat er 's nachts restcapaciteit over is, waardoor bedrijven extra vermogen kunnen afnemen, wat ideaal is voor het laden van elektrische voertuigen.

Alhoewel de kosten nog onzeker zijn voor de alternatieve transportrechten, geeft Netbeheer Nederland en het Autoriteit Consument & Markt (ACM) aan dat de kosten voor het *tijdsgeboden transportvermogen* betrekking hebben op drie kostenposten: *kW gecontracteerd*, *kW max. per maand*, en *kWh-tarief normaal* (zie Tabel 11).^{2,19}

De totale kosten voor *kW gecontracteerd* gaan waarschijnlijk bestaan uit een deel dat betrekking heeft op de reguliere aansluiting en een deel dat betrekking heeft op het *tijdsgeboden transportvermogen*. Als het *tijdsgeboden transportvermogen* een tijdsblok van 10 uur omvat, dan zal $^{10}/_{24}$ deel toegekend worden aan het *tijdsgeboden transportvermogen* (eventueel met korting) en $^{14}/_{24}$ deel toegekend worden aan het reguliere contract. Volgens het ACM zullen *kW max. per maand* en *kWh-tarief normaal* gebaseerd worden op het daadwerkelijke netgebruik. Alhoewel Netbeheer Nederland spreekt over eventuele kortingen op *kW max. per maand* en *kWh-tarief normaal*, nemen we in deze studie aan dat *kW max. per maand* gewoon de vermogenspiek (voor invoeding of afname) per maand bedraagt, en *kWh-tarief normaal* betrekking heeft op het totale energieverbruik, ongeacht of deze energie is afgenomen tijdens uren dat het *tijdsgeboden transportvermogen* van kracht was.

Merk op dat de overige kostenposten alleen betrekking hebben op de kosten die geassocieerd worden met de (reguliere) aansluiting, maar die wel beïnvloed kunnen worden door het *tijdsgeboden transportvermogen*. Bijvoorbeeld, als de huidige fysieke aansluiting onvoldoende is voor het vermogen dat getransporteerd moet worden voor het *tijdsgeboden transportvermogen*, dan moet er een netverzwaring plaatsvinden.

6.4 Kosten uitbreiding van lokale opwek

In enkele gevallen zijn er mogelijkheden om de lokale opwek via hernieuwbare bronnen uit te breiden. Het gaat dan met name om zonne-energie. Hiervoor rekenen we met de jaarlijkse kosten die PBL adviseert voor de SDE++-subsidieregeling.

¹⁸ www.netbeheernederland.nl/_upload/RadFiles/New/Documents/Position%20paper%20Groeps-TO%20v1.0%20-%20augustus%202023.pdf

¹⁹ www.acm.nl/system/files/documents/consultatie-alternatieve-transportrechten-en-use-it-or-lose-it.pdf

Tabel 13 - Kosteninschattingen wind op land (beperkte hoogte)

Parameter	Eenheid	Euro
Investeringskosten	[€/kWe]	€ 1.180
Vaste O&M-kosten	[€/kWe/jaar]	€ 13,1
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	€ 0,0083
Opslag voor transactiekosten, basisprijspremie	[€/kWh]	€ 0,0027
Totale variabele operationele kosten	[€/kWh]	€ 0,0110

Bron: (PBL, 2021a).

Tabel 14 - Kosteninschattingen zonne-energie

Parameter	Eenheid	Zon-pv ≥ 15 kWp en <1 MWp, gebouwgebonden	Zon-pv ≥ 1 MWp, gebouwgebonden
Investeringskosten	€/kWp output	575	545
Vaste O&M-kosten	€/kWp output/jaar	12,8	11,3
Variabele O&M-kosten	[€/kWh]	0,0019	0,00019
Eenmalige onderhoudskosten in 12 jaar	€	3.250	32.500

Bron: (PBL, 2021b).

6.5 Kosten en baten die niet zijn meegenomen

Voor deze studie hebben we alleen kosten meegenomen die directe betrekking hebben op de netaansluiting of maatregelen om te kunnen elektrificeren. Om deze reden hebben we een aantal kosten buiten beschouwen gelaten:

- **Laadpalen en andere laadinfra:** de kosten voor de laadinfrastructuur kennen wij niet toe aan de kosten die gemaakt moeten worden om te kunnen elektrificeren met beperkte netcapaciteit, en dus laten we deze buiten beschouwing. De werkelijke kosten zullen ook afhankelijk zijn van de keuzes/wensen van het bedrijf.
- **Kosten van de voertuigen:** de kosten voor de aanschaf van de elektrische voertuigen kennen wij niet toe aan de kosten die gemaakt moeten worden om te kunnen elektrificeren met beperkte netcapaciteit, en dus laten we deze buiten beschouwing. Ook deze kosten zullen afhankelijk zijn van de specifieke wensen van het bedrijf.
- **Kosten van elektriciteit en brandstoffen:** de kosten van de extra elektriciteit die afgenomen dient te worden, nemen we niet mee. Ook de reductie in kosten door lager dieselverbruik valt buiten beschouwing.
- **Subsidies:** voor groene investeringen zijn nu en waarschijnlijk in de toekomst de nodige subsidies of andere vormen van kortingen beschikbaar. Het is niet goed te voorspellen hoe deze situatie er in 2030 uit zal zien, zeker omdat er per bedrijf aanzienlijke verschillen zijn.

6.6 Uitkomsten kosten bedrijven

In Tabel 15 zijn de belangrijkste uitgangspunten en uitkomsten weergegeven voor de kostenberekening voor de installatie en het gebruik van een grotere netaansluiting. De casus Van Kuijk ontbreekt, omdat uitbreiding van de netaansluiting daar niet haalbaar is vanwege de ligging van het bedrijf.

Tabel 15 - Uitgangspunten en uitkomsten voor uitbreiding netaansluiting casussen

	Van Boxtel	Prijs	Bakker	Transport & Zo	Vd Werff
Uitgangspunten					
Type aansluiting	Afne­mers Trafo MS/LS	Afne­mers Trafo MS/LS	Afne­mers Trafo MS/LS	Afne­mers Trafo MS/LS	Afne­mers Trafo MS/LS
Aansluiting vol vermogen (kW)	55	40	220	535	1.500
Aansluiting tijdsblokgebonden vermogen (kW)	1.455	552	1.480	965	N.v.t.
MWh verbruik extra	624	748	2.923	2.502	N.v.t.
Uitbreiding kabels	Ja	Ja	Nee, niet nodig	Ja	Nee, al gedaan
Uitkomsten					
Eenmalige kosten	292.765	53.365	N.v.t.	45.805	N.v.t.
Afschrijving eenmalige kosten (€ per jaar)	38.491	7.016	N.v.t.	6.022	N.v.t.
Jaarlijkse kosten (€ per jaar)	31.343	38.810	36.614	58.478	N.v.t.
Totaal jaarlijkse kosten (€ per jaar)	69.834	45.826	36.614	64.500	N.v.t.
Gemiddelde jaarlijkse kosten (€ per kWh)	0,116	0,065	0,031	0,039	N.v.t.

Tabel 16 laat de uitgangspunten en uitkomsten zien voor Van Kuijk. Voor dit bedrijf wordt geïnvesteerd in een batterij in combinatie met lokale opwek via zon, wind, en aggregaat.

Tabel 16 - Uitkomsten van Kuijk

	Combinatie opwek	Zon	Wind
Uitgangspunten			
Batterij vermogen (MW) en capaciteit (MWh)	2 MW/12 MWh	2 MW/12 MWh	2 MW/12 MWh
Uitbreiding opwek wind (MW)	2,5	0	5
Uitbreiding opwek zon (MW)	2,5	5	0
Vermogen aggregaat	2	2	2
Verbruik liters aggregaat	22.000	36.000	83.000
Uitkomsten (€)			
Eenmalige kosten investeringen	4.680.000	4.332.000	5.859.000
Jaarlijkse kosten batterij	455.000	455.000	455.000
Jaarlijkse kosten zon	80.000	187.000	–
Jaarlijkse kosten wind	186.000	–	455.000
Jaarlijkse kosten aggregaat	99.000	259.000	136.000
Totaal jaarlijkse kosten	€ 820.000	€ 902.000	€ 1.046.000
Gemiddelde jaarlijkse kosten (€ per kWh)	€ 0,22	€ 0,24	€ 0,28

Literatuur

- Bouwmat. (2022). *GMB zet door UMS en Van der Spek gebouwde elektrische Hyundai in*.
<https://www.bouwmat-online.nl/artikel/gmb-zet-door-ums-en-van-der-spek-gebouwde-elektrische-hyundai-in/>
- CE Delft. (2021). *STREAM Goederenvervoer 2020: Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*.
- CE Delft. (2022). *Laden voor logistiek bij beperkte netcapaciteit. Mitigerende maatregelen voor bestelauto's en vrachtwagens*.
- ICCT. (2022a). *Assessment of light-duty electric vehicle costs and consumer benefits in the US in the 2022-2035 time frame*.
- ICCT. (2022b). *Long-haul battery-electric trucks in Europe*.
- Jungheinrich. (2023). *Wat verbruikt mijn elektrische heftruck?* Jungheinrich.
<https://www.jungheinrich.nl/kennisbank/onderhoud/verbruik-elektrische-heftruck>
- Koffrie, R. (2022). *DKTI Inventarisatie 0-emissie inzamelvoertuigen: geleerde lessen en voorlopige conclusies*.
- PBL. (2021a). *Conceptadvies SDE++ 2022 Windenergie op land*.
- PBL. (2021b). *Conceptadvies SDE++ 2022 Zonne-energie*.
- T&E. (2023). *Fully charged for 2030 Enough infrastructure for more electric trucks in 2030*.
- Timeshift, & Hogeschool van Amsterdam. (2022). *De geleerde lessen van de Haalbaarheidsstudie DC-Laadplein*.
- TNO. (2022). *Techno-economic uptake potential of zero-emission trucks in Europe*.
- TNO, Topsector Logistiek, & Spike. (2020). *Haalbaarheidsonderzoek naar de electrificatie van zware mobiele werktuigen*.
- Transportlogistiek. (2023). *Van dieseltank naar laadhub*.
<https://transportlogistiek.nl/nieuws/van-dieseltank-naar-laadhub/>