

Goedkopere stroom door slim laden van EV's

H. B. (Harold) Meerwaldt – CE Delft – meerwaldt@ce.nl

H. P. (Huib) van Essen – CE Delft – essen@ce.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 19 en 20 november 2015, Antwerpen

Samenvatting

Elektrische Voertuigen (EV's) worden gezien als een veelbelovende technologie met belangrijke voordelen voor klimaat, luchtkwaliteit en geluid. Daarnaast hebben EV's nog een toegevoegde waarde: ze bieden kansen voor het elektriciteitssysteem. Door elektriciteitsopslag en stabilisering van het elektriciteitsnet geven zij synergievoordelen met lokale hernieuwbare elektriciteitsopwekking. Hoewel dit algemeen wordt beschouwd als een belangrijk voordeel is er nog weinig onderzoek gedaan naar de aard en omvang ervan. CE Delft heeft dit in beeld gebracht en een eerste inschatting gemaakt voor Nederland.

Hieruit is naar voren gekomen dat er drie synergievoordelen kunnen worden onderscheiden:

1. Kostenbesparing in elektriciteitsproductie, voortkomend uit:
 - a. vermindering van de fluctuatie in de energievraag die moet worden opgevangen door conventionele kolen- en/of gascentrales;
 - b. het vermijden van het tijdelijk stopzetten van hernieuwbare energieproductie (m.n. wind) (*curtailment*);
 - c. het voorkomen of uitstellen van investeringen in pieklastcapaciteit;
 - d. het opvangen van kortcyclische fluctuaties in elektriciteitsvraag en aanbod.
2. Kostenbesparing in lokale energie-infrastructuur, door vermeden netverzwaring
3. Versnelling in de toename van EV's en zon-PV door groei in één van beiden

CE Delft heeft met behulp van twee modellen (CEGRID en CEFLEX) een eerste-orde inschatting gemaakt van de eerste twee synergievoordelen die hierboven worden genoemd. Dit is gedaan voor zes scenario's waarin verschillende aannames zijn gemaakt over de ontwikkelingen in het aantal EV's, zon-PV/windenergie, accucapaciteit en de mate van slim laden/ontladen. De uitkomsten zijn vergeleken met de literatuur.

In (conventionele) elektriciteitsproductie varieert de gemodelleerde kostenbesparing van 75 tot 132 miljoen euro per jaar met slim laden en van 17 tot 176 miljoen euro per jaar met slim+*vehicle-to-grid*. De baten (van vooral de scenario's met *vehicle-to-grid*) zijn een onderschatting, omdat van de vier mogelijke kostenbesparingen alleen de eerste is gemodelleerd, terwijl buitenlandse studies aantonen dat de laatste drie kostenbesparingen significant kunnen zijn.

In de lokale energie-infrastructuur wordt door het slim combineren van EV's en zon-PV/wind een reductie in de Nederlandse piek-jaarvraag gerealiseerd. Hierdoor kan (een deel van) de benodigde investering in lokale energie-infrastructuur worden voorkomen, ordegrootte 50 tot 240 miljoen euro.

De totale kostenbesparing door de gekwantificeerde synergievoordelen voor Nederland als geheel is geschat in de ordegrootte van 20 tot 200 miljoen euro per jaar. Dit komt overeen met ca. 100 tot 200 euro per EV per jaar. Omdat alleen de eerste kostenbesparing is gemodelleerd, is dit vooral in het geval van *vehicle-to-grid* wel een onderschatting.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

De productie van elektriciteit is verantwoordelijk voor circa 30% van de Nederlandse CO₂-uitstoot en is grotendeels afhankelijk van fossiele energiebronnen. Om de CO₂-uitstoot terug te dringen en de afhankelijkheid van fossiele energiebronnen te verminderen is de energietransitie ingezet, waarbij het aandeel hernieuwbare bronnen significant moet groeien naar 14% in 2020 (SER, 2013). Om dit doel te behalen is naar verwachting een aandeel van ca. 35% hernieuwbare elektriciteit noodzakelijk in 2020 (ECN, 2013). Zodoende groeit het opgestelde vermogen aan zon-PV (~40% per jaar) en windenergie momenteel snel. Als dit tempo aanhoudt, dan staat er in 2020 4 GW zon-PV en 6 GW wind op land opgesteld, en 4,5 GW wind op zee in 2023 (SER, 2013)

Ook in de transportsector is de transitie ingezet. In de Brandstofvisie voor verkeer (juni 2014) neemt elektrisch wegvervoer een centrale plaats in. De ambitie is dat met name het lichte vervoer in de komende decennia overschakelt van conventionele verbrandingsmotoren naar elektromotoren (bijv. batterij-elektrische voertuigen en/of brandstofcelvoertuigen). De doelstelling van de Nederlandse overheid is om 200.000 elektrische voertuigen (EV's) te realiseren in 2020 en 1 miljoen in 2025 (Rijksoverheid, 2011).

Deze transitie naar hernieuwbare energiedragers hebben grote voordelen in termen van emissiereductie (zowel klimaat- als luchtvervuilende emissies), energiezekerheid en bieden kansen voor groene groei (TNO et al., 2014). Tegelijkertijd heeft deze transitie belangrijke gevolgen voor het elektriciteitssysteem. Zo kan er op zonnige dagen met een harde wind en een lagere elektriciteitsvraag een overschot aan elektriciteit ontstaan, terwijl er op niet zonnige en windstille dagen een (relatief) tekort kan ontstaan. Dit beïnvloedt de *dynamiek op de energiemarkten*: bij zonnig weer en/of veel wind zullen de stroomprijzen heel laag (in het uiterste geval nul of negatief) worden en andersom. Daarnaast kan het huidige laadpatroon van EV's op bepaalde tijdstippen (bijv. na werktijd) een hoge vraag naar elektriciteit veroorzaken. Dit kan leiden tot toenemende piekbelasting in de elektriciteitsnetten.

Ook zijn er grote gevolgen voor de *elektriciteitsnetten*. Een sterke toename van de hoeveelheid lokaal opgewekte duurzame energie en van het aantal EV's kan versterking van bestaande elektriciteitsnetten noodzakelijk maken, wat substantiële investeringen zal vergen.

Waar een toename van de hoeveelheid lokaal opgewekte duurzame energie en van het aantal EV's beiden tot hogere kosten kunnen leiden voor elektriciteitsnetten en opwekking, biedt de combinatie ervan ook kansen op synergievoordelen. Zo is het goed denkbaar dat EV's als buffer kunnen functioneren door overschotten hernieuwbare elektriciteit op te slaan en elektriciteit te leveren aan het net bij tijdelijke tekorten ('*ontladen*' of '*Vehicle to Grid (V2G)*'). Daarnaast is het mogelijk om in combinatie met slimme netten ('*smart grids*') (bijv. tijdstip-gestuurd laden) de lokale vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen waardoor bijschakeling van conventionele centrales wordt voorkomen. Ten slotte wordt door het combineren van lokale duurzame

energieopwekking en elektrisch rijden het volledige vergroeningspotentieel van dit type auto benut (TNO & CE Delft, 2014).

Dit soort synergievoordelen kunnen een belangrijk argument zijn om elektrisch rijden als hoofdroute te bestempelen, maar er is nog weinig onderzoek gedaan naar de omvang en precieze aard van mogelijke synergievoordelen, zeker voor de specifieke Nederlandse situatie. Daarom heeft RVO (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland) aan CE Delft gevraagd om dit nader te onderzoeken (CE Delft, 2015) en een eerste-orde inschatting van de omvang van deze synergievoordelen te maken.

1.2 Leeswijzer

Dit artikel is uit twee delen opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt onderzocht welke synergievoordelen er bestaan in het slim combineren van elektrisch wegvervoer en duurzame lokale elektriciteitsopwekking. In hoofdstuk 3 wordt de orde-grootte in Nederland berekend van de toekomstige kostenbesparing door deze synergievoordelen. Het artikel sluit af met een conclusie en aanbevelingen tot vervolgonderzoek.

2. Drie soorten synergievoordelen: kostenbesparing in opwekking en netten en stimuleren van groei

2.1 Overzicht van synergievoordelen

Er kunnen drie soorten synergievoordelen worden onderscheiden in het slim combineren van elektrisch wegvervoer en duurzame lokale elektriciteitsopwekking:

1. kostenbesparing in (conventionele) elektriciteitsproductie;
2. kostenbesparing in lokale energie-infrastructuur;
3. versnelling toename EV's en zon-PV door groei in één van beiden.

Om de eerste twee synergievoordelen echt grootschalig te kunnen realiseren zijn concepten als vraaggestuurd laden ('grid to vehicle') al dan niet in combinatie met ontladen ('vehicle to grid') noodzakelijk. De realisatie van zulke slimme concepten vereist de verdere uitrol van slimme netten of een adequaat stuursignaal waar het laadgedrag op gebaseerd moet worden.

2.2 Kostenbesparing in (conventionele) elektriciteitsproductie

Het eerste synergievoordeel tussen zon-PV/wind en EV zorgt voor een kostenbesparing op systeemniveau in de (conventionele) elektriciteitsproductie door:

- minder fluctuatie in de residuele energievraag (m.a.w. de energievraag die niet kan worden ingevuld met de opgewekte hernieuwbare energie maar die landelijk moet worden opgevangen door conventionele kolen- en/of gascentrales);
- het voorkomen of uitstellen van investeringen in pieklastcapaciteit;
- het vermijden van het tijdelijk stopzetten van hernieuwbare energieproductie (m.n. wind) ('curtailment');
- het opvangen van kortcyclische fluctuaties in elektriciteitsvraag en aanbod om de balans op de korte termijn te handhaven (zoals frequentiehandhaving).

De kostenbesparing wordt veroorzaakt door een efficiëntere inzet van conventionele centrales, betere benutting van hernieuwbare energie en lagere investeringen. De betrokken partijen zijn energiebedrijven, landelijke netbeheerders en EV-eigenaren.

Voor vraaggestuurd laden (G2V) is de verwachting dat de kostenbesparing door dit synergievoordeel blijft toenemen, met een sterke toename na 2025, terwijl voor vraaggestuurd laden met ontladen (V2G), de kostenbesparing door het synergievoordeel in eerste instantie ook toeneemt maar mogelijk gaat afnemen bij grotere aandelen EV's in de vloot (na ca. 10-15%).

Deze synergie vergt de uitrol van slimme netten met bijbehorende communicatiesystemen; EV-eigenaren moeten een vergoeding krijgen voor het bieden van flexibiliteit. Een business case voor V2G vergt een sterke daling van de batterijprijs omdat het een negatieve impact heeft op de levensduur van de batterij.

2.3 Kostenbesparing in lokale energie-infrastructuur

Het tweede synergievoordeel tussen zon-PV/wind en EV resulteert in een kostenbesparing door het voorkomen van verzwaringen in de lokale energie-infrastructuur. Deze verzwaringen zijn nodig om de toename in de vraag door EV en in het aanbod door zon-PV/wind lokaal aan te kunnen.

Wat betreft de toenemende vraag door EV is de verwachting dat het Nederlandse wagenpark in de toekomst grotendeels elektrisch zal zijn. Op Nederlands niveau kan dit leiden tot een additionele energievraag van 10-15 TWh, zo'n 10% van de totale vraag naar elektriciteit. Op wijkniveau kan de impact echter groter zijn volgens PBL (2009) en kan de additionele energievraag van ditzelfde wagenpark uitkomen op meer dan 50%.

Eising, et al. (2014) modelleerden de impact van drie EV-scenario's (variërend van 0,55 miljoen tot 1,8 miljoen EV's in 2045) op de belasting van netwerkcomponenten van netbeheerder Liander tijdens de reguliere piekvraag (m.a.w. de piekvraag na werktijd, wanneer EV's ook worden opgeladen). Het onderzoek laat zien dat met name rond 2025/2030 een groot aantal postcodegebieden te maken krijgt met overbelaste midden-/laagspanning transformatorstations. In sommige wijken raken echter al in 2015 een aantal stations overbelast.

Ook een toename in het aanbod van lokaal opgewekte duurzame energie kan lokale netten extra belasten en netverzwaringen vereisen. Ecofys (2014) heeft de combinatie van ontwikkelingen in zon-PV, warmtepompen en EV's in een doorgerkende voorbeeldwijk zelfs becijferd op tot meer dan een factor 4. Echter, wanneer zowel het aantal EV's als zon-PV-installaties in een lokaal net toeneemt, kan dit de kans op investeringen in netverzwaringen verminderen door synergie; een groter deel van de lokaal opgewekte zonne-energie kan in dezelfde wijk worden ingezet voor gestuurd-ladende EV's. De impact van gestuurd laden wordt in Ecofys (2014) ingeschat op een reductie van de piekvraag van zo'n 20%.

Onder de streep ontstaat het beeld dat dit synergievoordeel niet te verwachten is voor 2020, maar dat het daarna steeds belangrijker wordt; met name tussen 2030 en 2050 kunnen de voordelen groot zijn. Dit is ook de verwachting van de geïnterviewde experts.

2.4 Versnelling toename EV's en zon-PV door groei in één van beiden

Het derde synergievoordeel tussen zon-PV/wind en EV is een wederzijds versterkende groei; er bestaan situaties waarin het aantrekkelijker is om zowel een EV als zonnepanelen te hebben dan om enkel een EV of enkel zonnepanelen te bezitten. De versnelde groei van EV's en zon-PV kan veroorzaakt worden door twee causaliteiten:

1. Een groei in het aantal EV's veroorzaakt een (snellere) groei in het aantal zon-PV-installaties (bijv. eigenaren willen hun EV met groene eigen stroom laden).
2. Een groei in het aantal zon-PV-installaties veroorzaakt een (snellere) groei in het aantal EV's (bijv. door verbetering van het verdienmodel voor consumenten in een situatie zonder saldering).

Er zijn geen onderzoeken die de eerste causaliteit gekwantificeerd hebben voor Nederland, maar er zijn wel enkele studies uitgevoerd in het buitenland die een indicatie geven van dit effect. In California concludeert (Center for Sustainable Energy California, 2012) op basis van een grootschalige steekproef met PHEV-eigenaren (ca. 1.400 responses) dat 39% van de eigenaren ook zonnepanelen heeft aangeschaft en 17% van plan is om binnen een jaar zonnepanelen aan te schaffen. Dit onderzoek heeft ook aangetoond dat EV-eigenaren in regio's met hogere elektriciteitsprijzen vaker zonnepanelen aanschaffen dan EV-eigenaren in regio's met relatief lagere prijzen. In Australië concluderen (Jabeen, et al., 2013) ook dat EV-eigenaren erg gevoelig zijn voor de kosten van het opladen van hun EV. EV-eigenaren die ook zonnepanelen bezitten hebben dan ook een voorkeur voor thuisladen (om kosten uit te sparen), maar zijn daarnaast ook enthousiast over hernieuwbare energie.

Het realiseren van lagere elektriciteitskosten is in het buitenland een reden voor het aanschaffen van zon-PV. In Nederland geldt momenteel een salderingsregeling die de opbrengsten van zon-PV sterk vergroot. Dit geeft geen extra incentive om een EV aan te schaffen (maar overigens ook geen disincentive). Echter, wanneer deze regeling wordt stopgezet kan een EV de opbrengsten van een zon-PV-installatie bijna verdrievoudigen t.o.v. een situatie zonder EV, wat vanzelfsprekend de terugverdientijd van een zon-PV verkleint en een expliciete incentive kan geven om naast zonnepanelen ook een EV aan te schaffen.

De versnelling in de groeivoet van EV's en zon-PV brengt verschillende voordelen met zich mee. Ten eerste leidt het tot een betere benutting van het volledige vergroeningspotentieel van EV's; hoe groener de elektriciteitsmix waarmee de EV wordt geladen, hoe groter de emissiereductie t.o.v. een conventionele auto (TNO; CE Delft, 2014). Ten tweede versnelt het de energietransitie naar hernieuwbare bronnen, die zowel in de elektriciteitssector als in de transportsector gemaakt zal moeten worden.

3. Kostenbesparing door synergievoordelen

3.1 Inleiding

De kostenbesparing van de synergievoordelen is gekwantificeerd door de impact van EV's en zon-PV met twee simulatiemodellen van CE Delft in te schatten. In de uitkomsten zijn vervolgens kostenkennallen gebruikt om de effecten te moneteriseren. Zowel de technische kwantificeringen als moneteriseringen zijn onzeker. De gepresenteerde waarde is dan ook een eerste-orde inschatting van de waarde van de mogelijke synergievoordelen.

3.2 Definitie van scenario's

De waarde van beide synergievoordelen hangt af van vier cruciale ontwikkelingen:

1. de ontwikkeling van het aantal EV's;
2. in welke mate van gestuurd (ont)laden gebruik gemaakt wordt;
3. de ontwikkeling van de accucapaciteit van EV's;
4. de ontwikkeling van zon- en windenergie.

Om een scenario te definiëren is voor elk van deze vier aspecten een keuze gemaakt. De belangrijkste inputparameters voor zes scenario's en drie referentiescenario's zijn te vinden in Tabel 1.

Tabel 1 Inputparameters voor de gekozen scenario's (waarden allemaal voor heel Nederland)

	1) Ontwikkeling in # EV's			2) Mate van slim laden	3) Ontwikkeling accucapaciteit	4) Ontwikkeling zon-PV/wind			
	Scenario	# PHEV (40 km)	# FEV (300 km)			Scenario	GW Zon-PV	GW Wind (land)	GW Wind (zee)
Ref	Huidig	44.000	11.000	Normaal	Huidig (1)	Huidig	1,5	2,1	0,25
Ref						Beperkt	5	4	2,25
Ref						Hoog	15	6	4,5
1	Beperkt	175.000	75.000	Normaal & slim	Trend (1,7)	Hoog	15	6	4,5
2	Veel	500.000	500.000	Normaal & slim	Trend (1,7)	Hoog	15	6	4,5
3	Veel	500.000	500.000	Normaal & slim	Trend (1,7)	Beperkt	5	4	2,25
4	Beperkt	175.000	75.000	Normaal & slim	XXL (3,2)	Hoog	15	6	4,5
5	Veel	500.000	500.000	Normaal & slim/V2G	Trend (1,7)	Beperkt	5	4	2,25
6	Veel	500.000	500.000	Normaal & slim/V2G	Trend (1,7)	Hoog	15	6	4,5

3.3 Gehanteerde methode voor het bepalen van de kostenbesparingen

Het eerste synergievoordeel (kostenbesparing energieopwekking) speelt op systeemniveau. Verschillen in energievraag bij de eindafnemer van elektriciteit (bijv. door de aanschaf van een EV) werken door op de elektriciteitsproductie. Dit synergievoordeel speelt op Nederlandse schaal en hierbij is daarom niet ingezoomd op typische cases (bijv. een woonwijk).

De kostenbesparing door het eerste synergievoordeel is gemodelleerd met behulp van CEFLEX. Het CEFLEX-model berekent per uur de spotmarktprijs voor elektriciteit uit de gesimuleerde inzet van individuele elektriciteitscentrales. Het doel van het model is de effecten van energiesysteemscenario's op de fossiele opwek, opwekkingsmix en de

stroomprijs in beeld te brengen. CEFLEX is een zogenaamd unit commitment model dat de inzet van daadwerkelijke elektriciteitscentrales op uurbasis simuleert, gegeven een bepaalde totale vraag. Het model optimaliseert voor ieder vraagniveau de least cost dispatch, waarbij naar de korte termijn marginale productiekosten gekeken wordt. De stroomprijs volgt dan uit het snijpunt van vraag en aanbod.

CEFLEX bevat geen expliciete modellering van curtailment (afschakelen bij 'overproductie') van wind en zon, en ook geen kosten die met het handhaven van de balans op de korte termijn (zoals frequentiehandhaving) gemoeid zijn. Synergievoordelen van slimme laadconcepten die hiermee samenhangen worden niet in beeld gebracht. Ook bevat CEFLEX geen modellering van de investeringen in centrales. Effecten daarop worden dus niet in beeld gebracht.

Het tweede synergievoordeel (kostenbesparing in lokale energie-infrastructuur) speelt met name op lokaal niveau: een doorbraak van EV's en zon-PV vergt naar verwachting in eerste instantie de noodzaak tot lokale netverzwaringen. Dit is gesimuleerd met behulp van CEGRID, een simulatiemodel van netbelastingen.

Het CEGRID-model bevat een simulatie van elektriciteitsstromen op drie zogenaamde netvlakken gedefinieerd door spanningsniveau (hoogspanning, middenspanning, laagspanning). Het model is ontwikkeld om de effecten van verschillende scenario's op de netbelastingen en op de vereiste investeringskosten van netverzwaring mee in beeld te brengen. CEGRID rekent de netbelastingen door op uurbasis voor een heel jaar. Op ieder netvlak worden door middel van profielen per uur afname en invoeding (o.a. door zon-PV) gesimuleerd. Door te werken op het niveau van de drie netvlakken is het model geschikt om op dat niveau te onderzoeken hoe netbelastingen beïnvloed worden door energiescenario's en de resulterende opwek- en belastingpatronen. Hierin is bijvoorbeeld het al dan niet gestuurd laden van EV's, de opwekking en invoeding van zon-PV, de productie van windenergie en belasting door elektrische of hybride warmtepompen opgenomen. Voor deze studie is het model uitgebreid met diverse sturingsalgoritmes voor slim en zon-gestuurd laden van EV's en vehicle-to-grid.

Met behulp van CEGRID zijn drie cases doorgerekend:

1. Een woonwijk met woningen en kleine utiliteitsbedrijven met veel dakoppervlak en parkeerruimte voor EV's;
2. Een bedrijvenpark met een aantal grote utiliteitsgebouwen;
3. Heel Nederland.

3.4 Kostenbesparing door synergievoordeel in elektriciteitsopwekking

De reductie in fluctuaties in de vraag en het aanbod van elektriciteit door het combineren van EV's en hernieuwbare energieopwekking kan leiden tot kostenbesparingen in de opwekking van elektriciteit.

Het optimaal op de productie van hernieuwbaar afstemmen van het laden omvat twee aan elkaar gekoppelde effecten:

1. reductie van elektriciteitsvraag aan centrales in de avond;
2. op peil blijven van de elektriciteitsvraag overdag.

Het ene deeleffect is prijsdrukkend in de avonduren en het andere effect is prijsverhogend in de daguren. Toch zal een vlakkere elektriciteitsvraag zich vertalen tot jaargemiddeld lagere opwekkingskosten van conventionele elektriciteit; dit is een efficiencywinst.

De volgende mogelijke kostenbesparingen zijn niet meegenomen:

- Kostenbesparing door het minder vaak stopzetten van windmolens (curtailment). Volgens studies in andere landen kan deze kostenbesparing echter significant zijn.
- Kostenbesparing in korte-termijn flexibiliteitsdiensten, waaronder op de onbalansmarkt en frequentiehandhaving. Met name vehicle-to-grid-services kunnen een hele reeks aan flexibiliteitsdiensten leveren. Dit is niet onbelangrijk, omdat de prijzen op de onbalansmarkt extremer zijn dan op de spotmarkt.
- Als de jaarpiekvraag door het 'slimme'/gestuurde laden ook lager wordt, kan zich dit vertalen in besparingen op kosten voor het handhaven van productiecapaciteit. Omdat er nu noch op korte- en middellange termijn in Nederland behoefte is aan extra productiecapaciteit is dit voordeel niet gemonetariseerd. De besparing in kosten kan op lange termijn zeer significant zijn, zoals bijvoorbeeld blijkt uit de MKBA intelligente netten (CE Delft & KEMA, 2012).

Error! Reference source not found. Het slim combineren van EV's en zon-PV/windenergie leidt in alle scenario's en voor alle gesimuleerde stroomprijsscenario's tot een synergievoordeel. De totale berekende waarde van het synergievoordeel varieert in de verschillende scenario's tussen (afgerond) 20 tot 180 mln euro per jaar. Uitgedrukt per auto per jaar varieert de waarde tussen de circa 70 en 180 euro per EV (PHEV/FEV) per jaar. De grootste synergievoordelen ontstaan in scenario's met veel EV's en vehicle-to-grid-laden.

In Tabel 2 wordt voor de verschillende scenario's de kostenbesparing gepresenteerd die door CEFLEX zijn gevonden, gedefinieerd als het verschil tussen het scenario met slim laden en het referentiescenario zonder slim laden.

Tabel 2 Berekende kostenbesparingen door synergievoordelen in elektriciteitsproductie

	Scenario					
	1	2	3	4	5	6
Huidige systeem en prijzen (2013)						
Totale kostenbesparing (mln.€/j)	22	84	132	24	176	108
Kostenbesparing per EV (€/EV/jaar)	89	84	132	97	176	108
Huidige systeem en prijzen (2025)						
Totale kostenbesparing (mln.€/j)	17	75	108	18	154	89
Kostenbesparing per EV (€/EV/jaar)	70	75	108	73	154	89

Wat opvalt is dat bij een beperkte hoeveelheid hernieuwbare energie (Scenario 3 en 5) de synergievoordelen groter zijn dan bij veel hernieuwbare energie (Scenario 2 en 6). Dit kan worden verklaard door de hogere fossiele energievraag (in Scenario 3 en 5), wat leidt tot hogere kosten per kWh van de fossiele elektriciteitsproductie ten behoeve van residuele energievraag. Er is in de modellering geen rekening gehouden met een verandering in de opgestelde fossiele centrales. Het is echter goed denkbaar dat bij een hoog aandeel hernieuwbaar een deel van het fossiele park wordt gesloten, wat enerzijds

kan leiden tot additionele kostenbesparingen (lagere beheerskosten) en anderzijds voor een groter prijseffect van slim laden en vehicle-to-grid.

Als het aantal EV's beperkt is (Scenario 1 en 4) dan zijn de synergievoordelen geringer, zowel absoluut als per EV.

Het verschil tussen vehicle-to-grid-laden en slim laden bedraagt circa 20 mln. €/j (gemiddeld verschil tussen Scenario 6 en 2) tot 45 mln. € (gemiddeld verschil tussen Scenario 5 en 3), dit lijkt relatief bescheiden en is waarschijnlijk een onderschatting.

3.5 Kostenbesparing door synergievoordeel in (lokale) energie-infrastructuur

De kostenbesparing door synergievoordeel in (lokale) energie-infrastructuur is met CEGRID bepaald als het verschil tussen de vereiste netverzwaringen bij toekomstige scenario's met EV's en hernieuwbare energie, met of zonder slimme laadconcepten.

De kostenbesparing is berekend voor een typische woonwijk, een typisch bedrijvenpark, als voor heel Nederland. De reductie in de piek-jaarvraag voor het LS-net in de gedefinieerde woonwijk varieert van -0,08 (toename) en 0,73 MW in 2025 wanneer EV's en zon-PV slim gecombineerd worden. In het gedefinieerde bedrijvenpark is dit 0,01 tot 0,04 MW. De berekeningen voor heel Nederland komen neer op een reductie in de piek-jaarvraag voor het LS-net van 230 tot 1.050 MW in 2025.

De laagste synergievoordelen zijn gerealiseerd in Scenario 1 en 4 (beperkte groei EV's i.c.m. slim laden en veel zon-PV/windenergie) en de hoogste voordelen in Scenario 5 (sterke groei EV's i.c.m. vehicle-to-grid en beperkte zon-PV en windenergieproductie). De waarde van dit synergievoordeel is even groot voor vergelijkbare scenario's met slim laden en vehicle-to-grid (m.a.w. de waarde van de synergie is gelijk voor Scenario 2 en 6 en voor Scenario 3 en 5). Vehicle-to-grid leidt dus niet tot hogere besparingen voor de lokale energie-infrastructuur t.o.v. slim laden (zonder ontladen) in onze modellering.

De resultaten uit CEGRID zijn samengevat in

Tabel 3, waar reductie is gedefinieerd als het verschil tussen het scenario met slim laden en het referentiescenario zonder slim laden.

Tabel 3 Kostenbesparing door synergievoordelen vermeden investeringen in lokale netten in 2025

	Scenario					
	1	2	3	4	5	6
Reductie piekvraag LS woonwijk (MW)	0,30	-0,08	0,73	0,30	0,73	-0,08
Reductie piekvraag LS bedrijvenpark (MW)	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,02
Reductie piekvraag LS in Nederland (MW)	220	890	1.050	220	625	770
Totale uitgespaarde netinvesteringen over levensduur van de netten, voor heel Nederland (€mln.)	50	200	236	50	141	173
Totale kostenbesparing per EV (€/auto per jaar)	198	200	236	198	141	173
Jaarlijkse kostenbesparing (€mln.)	3	10	12	3	7	9
Jaarlijkse kostenbesparing per auto (€/auto per jaar)	10	10	12	10	7	9

3.6 Totale kostenbesparing door synergievoordelen EV's en zon-PV/windenergie

De totale kostenbesparing door de synergievoordelen ligt tussen de € 89 en € 172 per EV per jaar. Dat komt voor heel Nederland neer op zo'n € 22 mln. tot € 172 mln. per jaar, afhankelijk van het scenario. Gezien de onzekerheden kunnen we hieruit concluderen dat de synergievoordelen die in beeld zijn gebracht qua orde-grootte ca. 100 tot 200 euro per EV per jaar bedragen.

De voordelen zouden nog veel hoger kunnen zijn omdat een aantal voordelen die in deze studie niet zijn gekwantificeerd significant kunnen zijn. Buitenlandse studies geven dit aan. Voor het Verenigd Koninkrijk bepaalt (Cambridge Econometrics ; Elementenergy; Ricardo-AEA, 2012) de kostenbesparing voor het vermijden van het stopzetten van windmolens op € 50-60 per EV per jaar. Voor Denemarken bepaalt (Insero e-mobility, 2015) de kostenbesparing voor slim+vehicle-to-grid laden inclusief korte-termijn balanshandhaving op een veel hogere waarde van € 175-1.079 per EV per jaar.

Tabel 4 vat de totale kostenbesparing van de gemodelleerde synergievoordelen die in de vorige paragrafen zijn gepresenteerd samen.

Tabel 4 Totale waarde van synergievoordelen tussen EV's en zon-PV/windenergie in 2025 in Nederland

	Scenario					
	1	2	3	4	5	6
<i>Zon-PV/wind</i>	<i>Hoog</i>	<i>Hoog</i>	<i>Beperkt</i>	<i>Hoog</i>	<i>Beperkt</i>	<i>Hoog</i>
<i>Groei EV's</i>	<i>Beperkt</i>	<i>Hoog</i>	<i>Hoog</i>	<i>Beperkt</i>	<i>Hoog</i>	<i>Hoog</i>
<i>Laadgedrag</i>	<i>Slim + V2G</i>	<i>Slim</i>	<i>Slim</i>	<i>Slim + V2G</i>	<i>Slim + V2G</i>	<i>Slim + V2G</i>
<i>Accucapaciteit</i>	<i>Trend</i>	<i>Trend</i>	<i>Trend</i>	<i>XXL</i>	<i>Trend</i>	<i>Trend</i>
Berekende kostenbesparing van de synergievoordelen (€ mln/jaar)						
Kostenbesparing elektriciteitsproductie excl. kortetermijn flex.	17-22	75-84	108-132	18-24	154-176	89-109
Vermeden <i>curtailment</i> : stopzetten windmolens	pm	pm	pm	pm	pm	pm
Kostenbesparing lokale energie-infrastructuur	3	10	12	3	7	9
Totale kostenbesparing synergievoordelen*	22 (20 tot 25)	89 (85 tot 94)	132 (120 tot 144)	24 (21 tot 27)	172 (161 tot 183)	107 (98 tot 117)
Totale kostenbesparing per EV (€/EV per jaar)	89 (80 tot 99)	89 (85 tot 94)	132 (120 tot 144)	95 (83 tot 107)	172 (161 tot 183)	107 (98 tot 117)

* Exclusief korte termijn flexibiliteitsopties (o.a. voor frequentiehandhaving), *curtailment* en besparingen op investeringen in piekcapaciteit.

Meerkosten van een groei in EV's voor de elektriciteitssector

Behalve kostenbesparing door synergievoordelen kan ook de totale kostenimpact van het slim combineren van EV's met duurzame elektriciteitsopwekking in kaart worden gebracht. De kostenimpact bestaat uit kosten voor extra elektriciteitsproductie (met een deel voor EV-laadstroom en een deel via het prijseffect op andere elektriciteitsgebruikers) en uit kosten voor lokale netten.

Voor elektriciteitsproductie laat CEFLEX zien dat zonder slim laden de kosten toenemen met **€ 41-410 mln. per jaar** in 2014 en met € 49-436 mln. per jaar in 2025 voor de zes scenario's. Met slim laden zijn deze kosten gedaald tot € 17-278 mln. per jaar in 2014 en € 31-327 mln. per jaar in 2025.

Voor lokale netten laat CEGRID zien dat in 2025 bij slim laden de jaarlijkse meerkosten € -8 tot € 19 per EV bedragen en dus zelfs negatief kunnen zijn.

De totale meerkosten voor EV's met slim laden liggen tussen € 22-300 mln. per jaar. Dit komt overeen met € 88-300/EV/jaar. De kosten met slim laden zijn aanzienlijk lager dan de kosten zonder slim laden.

4. Conclusie en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Een groei in het aantal EV's zal kosten met zich meenemen voor de elektriciteitsproductie en zal lokale netverzwaringen vergen wanneer deze normaal geladen worden. Echter, wanneer de energievraag van deze EV's slim gecombineerd wordt met het aanbod in hernieuwbare energie (met slim laden en ontladen/vehicle-to-grid), brengt dit grote voordelen met zich mee waarmee deze kostenstijging gedeeltelijk (en soms zelfs mogelijk volledig) kan worden voorkomen.

Er zijn drie synergievoordelen die door middel van slimme laadconcepten, zoals vraaggestuurd laden (slim laden) en ontladen (vehicle-to-grid), kunnen worden gerealiseerd:

- Kostenbesparing in (conventionele) elektriciteitsproductie;
- Kostenbesparing in lokale energie-infrastructuur;
- Versnelling toename EV's en zon-PV door groei in één van beiden.

De grootste synergievoordelen zijn te verwachten in de besparingen in elektriciteitsopwekking. Deze kostenbesparing komt voort uit:

- Vermindering van de fluctuatie in de energievraag die moet worden opgevangen door conventionele kolen- en/of gascentrales;
- Het vermijden van het tijdelijk stopzetten van hernieuwbare energieproductie (m.n. wind curtailment);
- Het voorkomen of uitstellen van investeringen in pieklastcapaciteit;
- Het opvangen van kortcyclische fluctuaties in elektriciteitsvraag en aanbod om de balans op de korte termijn te handhaven (zoals frequentiehandhaving).

De totale kostenbesparing van de synergievoordelen die zijn gekwantificeerd is in alle gedefinieerde scenario's positief en voor Nederland als geheel naar verwachting in de orde grootte van 20 tot 200 miljoen euro per jaar. Dit komt overeen met ca. 100 tot 200 euro per EV per jaar.

De daadwerkelijk synergievoordelen zijn naar verwachting hoger, omdat een aantal soorten kostenbesparingen van slim laden en met name vehicle-to-grid in deze studie niet gekwantificeerd konden worden, in het bijzonder de besparingen op curtailment, kortetermijn balanshandhaving en frequentie-handhaving. Daar staat tegenover dat de technische kosten om slim laden en/of vehicle-to-grid mogelijk te maken en effecten op de levensduur van de EV-batterijen ook niet zijn gekwantificeerd.

De omvang van de netto kostenimpact van EV's vereist nader onderzoek. De modellen en buitenlandse studies laten al wel zien dat EV's zonder slim laden voor meer kosten zorgen, vooral door extra elektriciteitsvraag. Deze kosten kunnen met slim laden verlaagd worden en met vehicle-to-grid nihil of zelfs negatief zijn.

4.2 Onderwerpen voor vervolgonderzoek

Deze studie heeft een eerste-orde inschatting gemaakt van de kostenbesparing door mogelijke synergievoordelen tussen EV's en zon-PV/windenergie. Er zijn een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek:

- Bepalen van de kostenbesparing van de synergievoordeel door vermeden curtailment (stopzetten) van windmolens. Deze kostenbesparing is in deze studie niet gekwantificeerd, maar is volgens geïnterviewde experts en buitenlandse studies significant. Een studie van Cambridge Econometrics ; Elementenergy; Ricardo-AEA (2012) schat deze besparing in op ca. 50 tot 60 euro per EV per jaar (met slim laden) in de UK. Hoewel het lastig is de besparing van andere landen te vertalen naar de Nederlandse situatie, toont dit wel aan dat er mogelijk een behoorlijke besparing is.
- Bepalen van de kostenbesparing van het synergievoordeel door kostenbesparing in elektriciteitsproductie voor de onbalansmarkt (voor de scenario's met vehicle-to-grid). Buitenlandse studies laten zien dat de kostenbesparing van deze synergievoordelen ook groot kunnen zijn.
- Doorrekening met POWERFLEX model uitvoeren om stroomprijseffecten nader te onderzoeken.
- Nader onderzoek naar verdelingseffecten en de synergie met het verdienmodel van hernieuwbare energie.
- Onderzoek naar de barrières en kosten die de realisatie van de synergievoordelen in Nederland hinderen en naar mogelijke beleidsmaatregelen die deze barrières kunnen wegnemen. Belangrijke barrières zijn de onbekende kosten van ontladen (in termen van versnelde slijtage van de batterij), het gebrek aan prijsprikkels om slim laden (en ontladen) te kunnen faciliteren en de salderingsregeling. Ook de technische kosten voor het realiseren van de slimlaadconcepten zelf (slim laden en vehicle-to-grid) verdienen aandacht.
- Uiteindelijk is het uitvoeren van een complete kosten-batenanalyse van slim laden aan te bevelen.

Referenties

Berenschot, CE Delft, Overview, 2015. *Rol van de eindgebruikers van energie*, Utrecht: Berenschot.

Berg, R., 2014. *Presentatie Rendement Smartgrid voor iedereen : Grote kansen zongestuurd laden*. Utrecht: LomboXnet.

Cambridge Econometrics; Elementenergy; Ricardo-AEA, 2012. *Fuelling Europe's future : How auto innovation leads to EU jobs*, Cambridge: Cambridge Econometrics.

CE Delft, 2015. *Goedkopere stroom door slim laden van EV's*, Delft: CE Delft.

CE Delft & DNV GL, 2014. *Scenario-ontwikkeling energievoorziening 2030*, Delft: CE Delft.

CE Delft & KEMA, 2012. *Maatschappelijke kosten en baten van Intelligente Netten*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2010. *Achtergrondrapportage bij NET-document Netbeheer Nederland*, Delft: CE Delft.

Center for Sustainable Energy California, 2012. *California Plug-in Electric Vehicle Owner Survey.*, San Diego: Center for Sustainable Energy California .

Dederichs, T., 2011. *Grid for Vehicles (G4V): Final Results*, Brussels: European Commissions.

ECN; Energie-nederland; Netbeheer Nederland, 2013. *Energietrends 2013 : Vier gevolgen van de groei van hernieuwbaar voor het energiesysteem*, Petten: ECN.

Ecofys, 2014. *Waarde van slimme netten : Welke waarde creëren slimme oplossingen in het distributienetwerk*, Utrecht: Ecofys Netherlands B.V..

Eising, J. W., Onna, T. v. & Alkemade , F., 2014. Towards smart grids: identifying the risks that arise from the integration of energy and transport supply chains. *Applied Energy*, Volume 123, pp. 448-455.

Handberg, K. & Owen, G., 2015. Electric Vehicles as Grid Support. In: D. Beeton & G. Meyer, red. *Electric Vehicle Business Models : Global Perspectives*. Cham: Springer International Publishing AG, pp. 129-146.

Helmus, J. & Hoed, R. v. d., 2015. *Unraveling User Type Characteristics: Towards a Taxonomy for Charging Infrastructure*, Amsterdam: University of Applied Science Amsterdam.

ICCT, 2013. *EV grid integration in the US, EU and China : Challenges and Choices for Electricity and Transportation Policy*, Washington D.C.: The International Council on Clean Transportation (ICCT).

IEA-RETD, 2010. *RETRANS, Opportunities for the Use of Renewable Energy in Road Transport. Policy Makers Transport*, s.l.: IEA-RETD.

Insero e-mobility, 2015. *Grow your business through new e-mobility insights, presentation by Andreas Sondrup*, Horsens: Insero e-mobility.

Jabeen, F. et al., 2013. *Electric Vehicle Battery Charging Behaviour: Findings from a Driver Survey*. Brisbane, Australasian Transport Research Forum .

JRC, 2013. *Projections for Electric Vehicle Load Profiles in Europe Based on Travel Survey Data*. Luxembourg, Publications Office of the European Union.

Movares, 2013. *Laadstrategie elektrisch wegvervoer*, Utrecht: Movares Nederland B.V., Movares Energy.

PBL & DNV GL, 2014. *Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland*, sl: PBL.

PBL, 2009. *Elektrische autorijden : evaluatie van transitie op basis van systeemopties*, Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Rijksoverheid, 2011. *Elektrisch Rijden in de versnelling : Plan van aanpak 2011-2015*. [Online]

Available at: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/richtlijnen/2011/10/03/bijlage-2-plan-van-aanpak-elektrisch-vervoer-elektrisch-rijden-in-de-versnelling>

[Geopend 2015].

RVO, 2015. *Cijfers Elektrisch vervoer*. [Online]

Available at: <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu->

innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken/cijfers
[Geopend 1 6 2015].

SER, 2013. *Energieakkoord voor duurzame groei*, Den Haag: Sociaal Economische Raad (SER).

SER, 2014. *Een duurzame brandstofvisie met LEF De belangrijkste uitkomsten uit het SER-visietraject naar een duurzame brandstoffenmix in Nederland*, Den Haag: SER.

Sioshansi, R. & Denholm, P., 2010. *The Value of Plug-In Hybrid Electric Vehicles as Grid Resources*, Golden (USA): National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Spoelstra, J., 2014. *Charging behaviour of Dutch EV drivers : A study into the charging behaviour of Dutch EV drivers and factors that influence this behaviour*, Utrecht: Utrecht University.

Stedin, 2013. *Kwaliteits- en Capaciteitsdocument (KCD) 2013 Elektriciteit 150k V-netten*, sl: Stedin.

TNO; CE Delft, 2014. *Indirecte en directe CO2-uitstoot van elektrische personenautos*, Delft: TNO; CE Delft.

Verzijlbergh, R., 2013. *The Power of Electric Vehicles - Exploring the Value of Flexible Electricity Demand in a Multi-actor Context*, Delft: Next Generation Infrastructures Foundation.

Weiller, C. & Sioshansi, R., 2015. *The Role of Plug-In Electric Vehicles with Renewable Resources in Electricity Systems*. pp. 1-14.