

Effecten van grootschalige toepassing van elektrisch wegtransport op de capaciteit en de balancering van het elektriciteitsnetwerk

Een kwantitatieve analyse naar de mogelijkheden

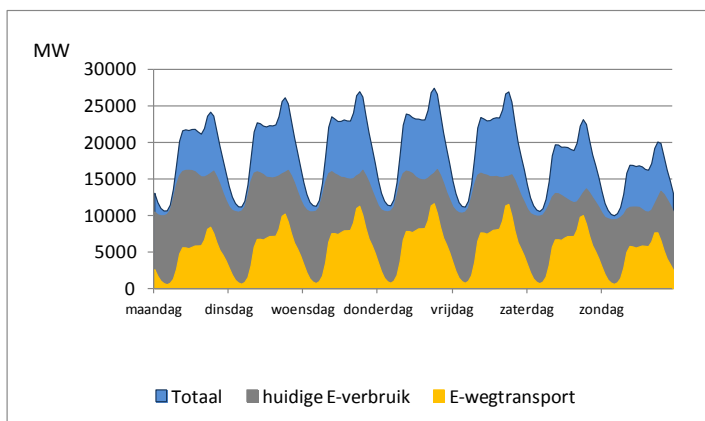
Martien Visser en Niels van Steenis

Hanzehogeschool, Groningen, oktober 2015

Samenvatting

In deze studie is kwantitatief onderzocht wat het effect is op het vraagprofiel naar elektriciteit in Nederland wanneer het wegtransport volledig wordt geëlektrificeerd. Tevens is nagegaan welke rol de accu's van elektrische auto's kunnen spelen bij de balancering van het nationale elektriciteitsnetwerk. Doel is inzicht te verwerven in de gevolgen van het elektrificeren van het wegtransport voor het elektriciteitssysteem en de elektriciteitsnetten.

Aangenomen wordt dat zowel het personenverkeer als het vrachtverkeer volledig elektrisch wordt. De analyse betreft een maximum case. De conclusies zijn echter ook geldig in geval alleen het personenverkeer elektrisch wordt. Er wordt voorts in principe uitgegaan van het huidige patroon van de elektriciteitsvraag en van het opladen van elektrische auto's.



Figuur A: vraagpatronen elektriciteit

Figuur A geeft beide patronen voor een willekeurige week in maart. Uit de figuur kan worden afgeleid dat het huidige laadpatroon van elektrische auto's in combinatie met het huidige gebruik van elektriciteit leidt tot een dagelijkse piek in het elektriciteitsverbruik tussen circa 18 en 20 uur. Deze kortdurende piek kan in de toekomst vermeden worden door de accu's van elektrische auto's pas later in de avond te gaan opladen. We gaan er in deze analyse vanuit dat dit zal gebeuren. Exclusief deze piek blijkt uit figuur A dat een volledige elektrificatie van het wegtransport leidt tot een verhoging van het maximale elektriciteitsverbruik met ongeveer 50%¹. Dit vereist een forse verzwaring van de nationale elektriciteitsinfrastructuur.

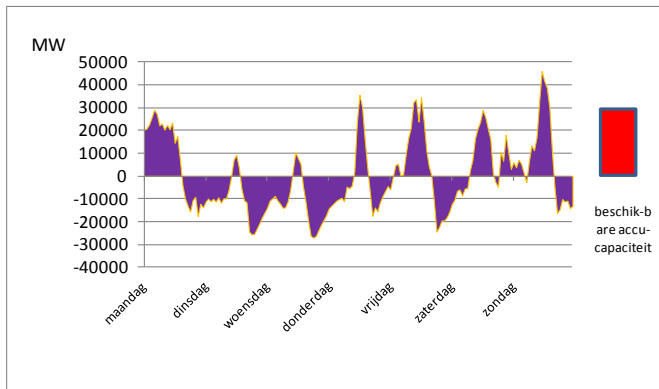
Vervolgens is nagegaan welke bijdrage de accu's in de transportmiddelen kunnen leveren aan het balanceren van vraag en aanbod in het elektriciteitsstelsel. Ook hier is uitgegaan van volledige

¹ Indien alleen het personenverkeer wordt geëlektrificeerd, bedraagt deze verhoging 25%

elektrificatie van alle wegtransport, waardoor een maximum aan accuvolume beschikbaar is. Tevens is aangenomen dat de inhoud van elektrische accu's in de toekomst groter zal worden. In de studie wordt meegewogen dat niet alle accucapaciteit benut kan worden voor het balanceren van het elektriciteitsnet, omdat chauffeurs gemiddeld genomen weinig risico willen lopen dat ze met een onbruikbare auto worden geconfronteerd omdat hun accu leeg is.

Deze analyse geeft als resultaat dat de beschikbare accucapaciteit onder de gemaakte veronderstellingen ongeveer 0,5 TWh bedraagt. Deze hoeveelheid is 50/50 verdeeld over vrachttransport en personentransport. Deze 0,5 TWh komt overeen met de gemiddelde elektriciteitsvraag per dag bij volledige elektrificatie van het wegtransport. Geconcludeerd wordt daarom dat in principe met autoaccu's het elektriciteitsstelsel dagelijks goed in balans kan worden gehouden. Ook zullen autoaccu's een belangrijke bijdrage kunnen leveren om het weekend/week patroon in de elektriciteitsvraag af te vlakken.

De introductie van zon en windenergie compliceert dit beeld. Beide bronnen zijn intermitterend en als gevolg daarvan zullen er in een elektriciteitsstelsel op basis van zon en wind flinke perioden zijn met overproductie en onderproductie. Ter illustratie dient figuur B, waarin voor dezelfde week in maart de (nationale) tekorten en overschotten aan elektriciteit worden getoond onder de aanname dat de



Figuur B: overschotten (+) en tekorten (-) aan hernieuwbare elektriciteit

elektriciteit wordt opgewekt met 70 GW wind en 70 GW zon. Op jaarbasis is dit ruim voldoende om de Nederlandse elektriciteitsvoorziening 100% duurzaam te maken. Tevens wordt, op schaal, het beschikbare accuvolume van 0,5 TWh getoond.

Figuur B laat zien dat in deze situatie de beschikbare accucapaciteit eveneens voldoende is om dagelijkse overschotten en tekorten op te vangen. Maar tevens kan uit de figuur worden afgeleid dat de accucapaciteit tekort schiet als er een aantal dagen achtereen

tekorten zijn vanwege weinig wind en zon. Er is in een dergelijke periode (in figuur B is dat van dinsdag tot en met donderdag) namelijk onvoldoende gelegenheid om de autoaccu's tussentijds bij te laden, waardoor ze langzaam volledig leeg raken.

In dit geval betreft het enkele dagen met weinig wind en een beperkt aandeel zon. Een dergelijke situatie kan ook langere tijd aanhouden. Dit impliceert dat autoaccu's geen oplossing vormen voor de balancering van het toekomstige elektriciteitsstelsel. Er zal daarom in elk geval ook ander regelvermogen moeten zijn. Vermoedelijk zal dat gebeuren in de vorm van gascentrales, met groen gas

of met CCS, maar dit kunnen (deels) ook andere middelen zijn, bijvoorbeeld verbindingen met Noorwegen², of de inzet van kernenergie of steenkool.

De inzet van deze middelen voor dagbalancering vormt een alternatief voor een systeem op basis van autoaccu's. Verwacht wordt dat het gebruik van de middelen maatschappelijk goedkoper is dan een nieuw systeem met autoaccu's, inclusief alle de benodigde meet- en regeltechniek.

Deze generieke conclusie laat onverlet dat autoaccu's in bepaalde nichemarkten mogelijk wel een (beperkte) rol zullen gaan spelen. Een voorbeeld is de wens van velen om de eigen opgewekte zonne-energie zelf te kunnen gebruiken.

1. Inleiding

Elektrische auto's zijn aan een snelle opmars bezig. Sommige kenners verwachten dat er in 2050 nauwelijks meer auto's zullen rondrijden met benzine of diesel als brandstof. Het grootste knelpunt is voornamelijk de accu. Die is kostbaar, groot en zwaar, en het opladen van een accu kost veel tijd. De energie-inhoud van elektrische accu's is daarom relatief gering en dit beperkt de actieradius van elektrische auto's en het gebruiksgemak voor de eigenaar. Wereldwijd wordt onderzoek gedaan naar betere accu's. De kans op betere accu's lijkt groot, wellicht komen er zelfs op doorbraken. Daardoor zou elektriciteit niet alleen als vervanger van olie gebruikt kunnen worden voor personenauto's, maar ook voor vrachtvervoer.

De accu's van elektrische vervoersmiddelen moeten regelmatig worden opgeladen. Hierover zijn veel ideeën. De meest eenvoudige vorm is het opladen vanuit het elektriciteitsnet zodra de auto niet meer wordt gebruikt. Dit is thans de gangbare praktijk. Zodra het aantal elektrische auto's te groot wordt, zou dat echter leiden tot een grote extra netbelasting. Een door sommigen aangeprezen 'slimmere manier' is de accu's op te laden tijdens de daluren, dus in de nacht. Er zijn ook meer vergaande ideeën, inclusief het ontladen van accu's om netstabiliteit te bevorderen en als back-up in te zetten op momenten dat de zon niet schijnt of de wind niet waait³. Het idee om autoaccu's in te zetten is aantrekkelijk en er wordt veel over gesproken⁴. Op sommige plaatsen in Nederland worden al experimenten uitgevoerd⁵. Opvallend is dat de mogelijkheden met accu's vooral in kwalitatieve zin worden beschreven. Dit maakt het lastig het maatschappelijke belang van deze ontwikkelingen te duiden en ook is het lastig te bepalen voor welke doeleinden het gebruik van autoaccu's goed geschikt is, en voor welke doeleinden wellicht minder. Dit artikel probeert voor een belangrijk deel in deze omissie te voorzien.

² Verbindingen met Duitsland, België en Engeland zullen minder helpen omdat lange windstille periodes zich over meerdere landen uitstrekken. Een tekort aan hernieuwbare elektriciteit in Nederland kan dan niet aangevuld worden vanuit de buurlanden.

³ Zie bijvoorbeeld: *Decentrale elektriciteitsvoorziening in de gebouwde omgeving – Evaluatie van transitie op basis van systeemopties*. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), april 2009.

⁴ Zie bijvoorbeeld: *Elektrische auto's welkome schakel in het toekomstige energienetwerk*. Vakbeurs Energie, 6-8 oktober 2015. www.energievakbeurs.nl

⁵ Zie: *Wereldprimeur in Utrecht: Laadpaal maakt opslag zonne-energie mogelijk*, Persbericht Stedin, juni 2015.

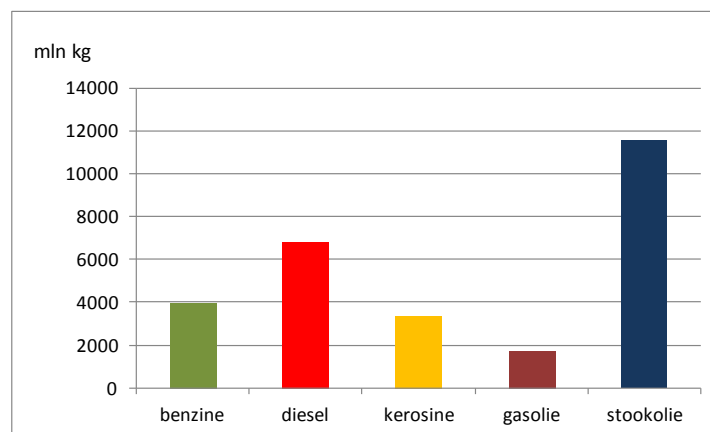
Er zijn twee onderzoeksvragen. Ten eerste: wat is het effect van een volledige overstap naar elektrisch wegtransport op de belasting van het Nederlandse elektriciteitsysteem. Ten tweede: welke mogelijkheden zijn er om, gebruik makend van de autoaccu's in de volledig geëlektrificeerde transportsector, het nationale elektriciteitsysteem te helpen balanceren.

We doen dit als volgt: in paragraaf 2 analyseren we de huidige jaarlijkse behoefte aan energie voor de transportsector, in relatie tot de huidige elektriciteitsvraag. In paragraaf 3 analyseren we de gevolgen van het elektrificeren van de transportsector op de benodigde capaciteit van het elektriciteitsysteem. In paragraaf 4 gaan we nader in op autoaccu's en het effect daarvan op het verbruikspatroon. In de daaropvolgende paragraaf 5 analyseren we welke mogelijkheden er zijn om de autoaccu's in te zetten ten bate van het Nederlandse elektriciteitsysteem. In paragraaf 6 gaan wordt de wisselwerking tussen het bestaande elektriciteitsysteem en de vraag naar elektriciteit vanuit een volledig geëlektrificeerde vervoersector. In paragraaf 7 wordt het effect van volledige verduurzaming van de elektriciteitssector in de analyse verwerkt. We besluiten het artikel in paragraaf 8 met enkele conclusies en aanbevelingen.

2. De energiebehoefte voor mobiliteit

De (maatschappelijke) vraag naar mobiliteit gaat gepaard met een grote energiebehoefte. Op dit moment wordt deze voor een groot deel ingevuld door olie. Vanuit oogpunt van energiebesparing (verduurzaming) is elektriciteit een aantrekkelijk alternatief. Recent heeft TNO uitgerekend dat elektrische auto's gemiddeld tot 30% minder CO₂-emissies aanleiding geven⁶. In die berekening is aangenomen dat elektriciteit wordt gebruikt die met het huidige productiepark wordt geproduceerd. In de toekomst, wanneer steeds meer elektriciteit duurzaam wordt geproduceerd, en kolencentrales wellicht worden gesloten, zal dit percentage stijgen.

Er zijn vele vormen van transport: wegtransport, scheepvaart en luchtvaart. Figuur 1 geeft de hoeveelheid olie, uitgedrukt in miljoen kg per jaar, die in 2014 in Nederland werd geleverd – de bron is het CBS.



Figuur 1: huidige nationale energievraag vanuit de transportsector

⁶ TNO 2015 R10386: "Energie en milieuaspecten van elektrische personenvoertuigen"

Benzine en diesel worden primair gebruikt in het wegtransport. Kerosine door de luchtvaart. Gasolie en stookolie door de nationale en internationale scheepvaart. Figuur 1 geeft de hoeveelheden weer die in Nederland wordt geleverd aan de transportsector. De CO₂-emissies door internationaal transport (scheepvaart en luchtvaart) tellen niet mee in de nationale CO₂ statistieken. Net zo min overigens de (goedkopere) benzine en diesel die door Nederlandse weggebruikers in België en Duitsland wordt getankt, en die ook niet in deze figuur wordt weergegeven.

Olie heeft een energiewaarde van circa 11 kWh per kg. De hoeveelheid benzine en diesel die in Nederland wordt verbruikt is dus circa 120 TWh. Dit is qua energie-inhoud ongeveer gelijk aan de hoeveelheid elektriciteit die in Nederland wordt gebruikt. Bij vervanging van benzine en diesel naar elektrisch vervoer, telt echter dat elektromotoren een rendement hebben van 90-95%, wat aanzienlijk beter is dan het rendement van benzine- en dieselmotoren, die niet veel verder dan 25% komen. Een volledige vervanging van olie door elektriciteit in het wegtransport gaat daarom gepaard met een toename van het elektriciteitsverbruik met circa 35 TWh⁷. Dat is ongeveer 30% van het huidige elektriciteitsverbruik in Nederland.

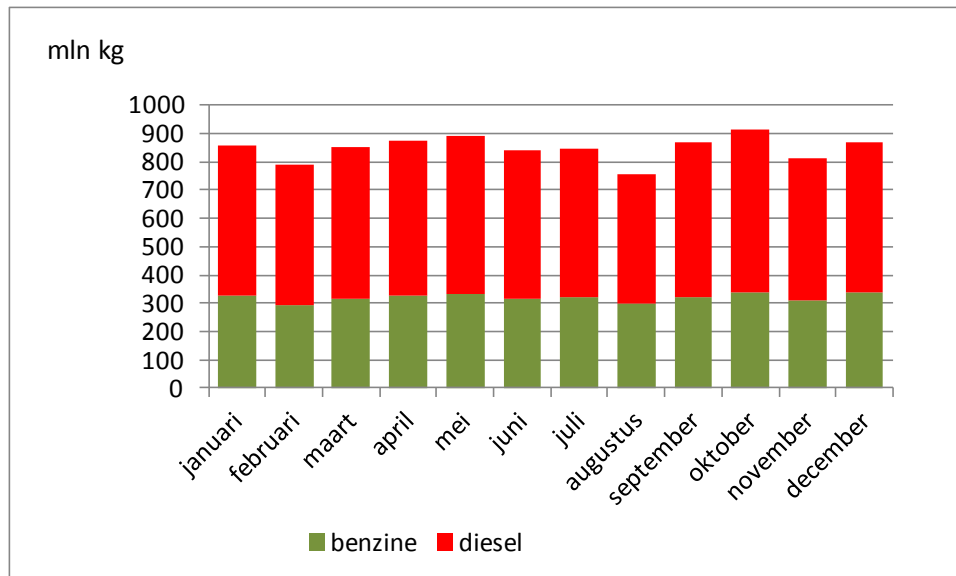
Terzijde: Een eventuele vervanging van de kerosine (luchtvaart) en gasolie & stookolie (scheepvaart) door elektriciteit, vereist een doorbraak in de accutechnologie. Vooralsnog is dit niet aan de orde. Dat impliceert onder andere dat de raffinaderijen in Rotterdam nodig zullen blijven, ook als volledig zou worden overgegaan op elektrisch wegvervoer. Raffinaderijen maken ook tussenproducten voor andere industrieën, zoals Nafta. De vraag naar deze tussenproducten wordt niet beïnvloed door elektrificatie van het wegvervoer.

3. Capaciteitsbehoefte van het wegtransport gedurende het jaar

In deze paragraaf wordt ingegaan op de capaciteitsbehoefte bij de overgang van wegtransport, personenverkeer en vrachtverkeer, op elektriciteit. Capaciteit is gedefinieerd als de hoeveelheid benodigde energie per tijdseenheid. Dit is een belangrijke grootte omdat de omvang van het elektriciteitsstelsel, en daarmee de kosten, bepaald wordt door de maximale capaciteit die nodig is.

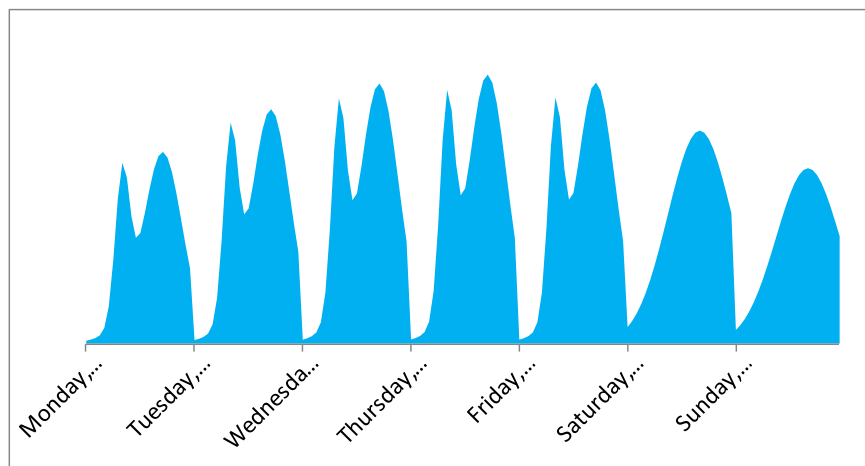
Figuur 2 toont het totaal aan benzine en diesilverbruik (= wegvervoer) over 2014 in Nederland. Uit de figuur kan worden geconcludeerd dat het verbruik aan benzine over het jaar gezien ongeveer constant is, terwijl het gebruik van diesel kleine variaties vertoont. Op weekbasis zullen deze variaties nog wat groter zijn, omdat vakantieweken worden afgevlakt. Op basis van de gegevens in figuur 2 gaan we ervan uit dat het maximale verbruik aan transportbrandstof in Nederland per week circa 10% hoger is dan het gemiddelde.

⁷ Het veronderstelde rendement van het opladen van accu's, inclusief transformatorverliezen, bedraagt 90%.



Figuur 2: diesel en benzine geleverd aan het Nederlandse wegtransport

Een gelijkmatig verbruik van benzine en diesel over het jaar betekent niet dat het verkeer constant is, zie de filecijfers. Doordeweeks is er meer verkeer dan in het weekend; Ook is er meer verkeer in de ochtend en de late middag, dan op andere tijdstippen. Kwantitatieve gegevens over het brandstofverbruik per uur door het verkeer in Nederland zijn voor zover de auteurs weten niet bekend. Figuur 3 toont een gemodelleerd weekpatroon voor het verkeer. Het model dat hieraan ten grondslag ligt is afgeleid door J. Montoya als onderdeel van een studie naar slimme gasnetwerken binnen het Edgar onderzoeksprogramma⁸.



Figuur 3: typisch weekpatroon van het energieverbruik door wegvervoer

⁸ Juliana Montoya, Institute of Physics, Energy Group, Newsletter June 2015, Issue 47.

Uit figuur 3 kan worden afgeleid dat het maximale brandstofverbruik (per uur) in een week door het verkeer ongeveer gelijk is aan tweemaal het gemiddelde verbruik gedurende die week. Er is geen aanleiding te veronderstellen dat dit anders zal zijn bij een overgang op elektrisch vervoer.

Een volledige elektrificatie van het wegverkeer leidt tot een extra vraag naar elektriciteit van 35 TWh, zie vorige paragraaf. Deels varieert dit verbruik gedurende het jaar (figuur 2) en deels per uur (figuur 3). Op basis van de hierboven gepresenteerde gegevens kan worden afgeleid dat de 35 TWh extra elektriciteitsverbruik gepaard zal gaan met een piek in het elektriciteitsverbruik ter grootte van 9 GW. Dat is ongeveer de helft van de huidige piek in het elektriciteitsverbruik, dat gelijk is aan 19 GW.

4. Effect van de energieopslag op het verbruiksprofiel

Een auto of vrachtauto neemt een energievoorraad mee in een tank met benzine of diesel. Een benzinetank van 50 liter heeft een capaciteit van ongeveer 500 kWh. In geval van elektrisch vervoer wordt een accu gebruikt voor de opslag van energie. We nemen aan dat accu's in elektrische auto's een capaciteit hebben van circa 50 kWh⁹. Dat is een groot verschil, maar elektrische auto's zijn ongeveer een factor 3 zuiniger, waardoor de verhouding tussen maximaal bereik tussen een benzine of dieselauto en een elektrische auto momenteel gemiddeld ongeveer een factor 4 is¹⁰: 200 km ten opzichte van gemiddeld 800 km bij benzine en dieselauto's.

Door het gebruik van een energievoorraad (accu of tank) ontstaat er een verschil tussen de vraag naar energie bij de benzinepomp, en de vraag naar energie voor het autorijden. Tijdens het rijden verbruikt een auto energie, tijdens het tanken niet. Er zijn, voor zover bekend, geen openbare gegevens over het tankgedrag in Nederland.

Indien wordt aangenomen dat getankt wordt zodra de tank bijna leeg is, dus "als het lampje gaat branden", dan is bij een groot aantal auto's het profiel van het verbruik van transportenergie, ongeveer gelijk aan het profiel bij de benzinepomp. Het patroon in figuur 3 komt dan bij benadering overeen met het (huidige) tankgedrag bij benzinestations.

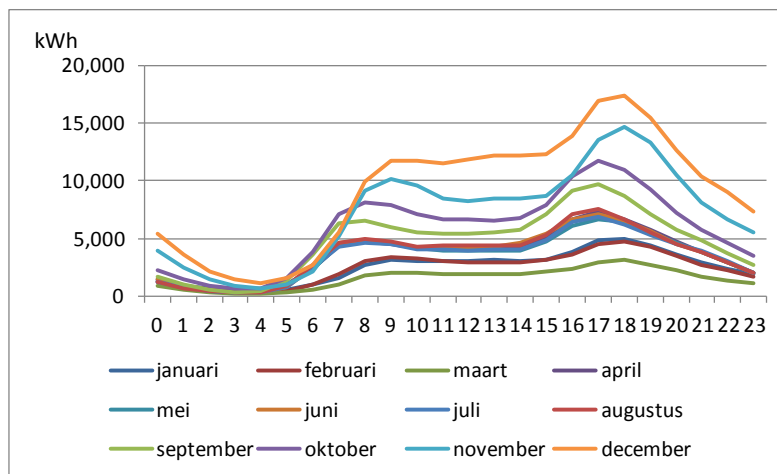
Het vullen van een elektrische accu gaat veel langzamer dan het vullen van een benzinetank. Benzine of diesel tankt men met ongeveer 50 liter per minuut. Dat komt overeen met een capaciteit van 500 kWh in 60 seconden. De door een benzinepomp geleverde capaciteit is dan gelijk aan 30 MW. Ter vergelijking, de oplaadsnelheid van een elektrische accu is hiervan normaliter een slechts kleine fractie, namelijk circa 10 kW (0,01 MW) bij 3-fase of zelfs minder dan 4 kWh bij een 1-fase aansluiting.

⁹ De huidige generatie (kleine) elektrische auto's heeft veelal een accucapaciteit tussen 20 en 25 kWh. Een Tesla heeft een accucapaciteit van 85 kWh; deze accu weegt 535 kg en is niet toepasbaar in kleinere auto's. Het gebruik van 50 kWh als accugrootte is mede gebaseerd op de verwachting dat er ontwikkelingen zullen zijn waardoor de gemiddelde accucapaciteit zal stijgen.

¹⁰ Dit impliceert een gemiddeld verbruik van 25 kWh/100 km. Fabrikanten van kleinere auto's adverteren met een lager verbruik. In de praktijk blijkt dat voor kleine auto's ongeveer 20 kWh per 100 km haalbaar is, en voor grotere auto's zoals de Tesla een verbruik van 30 kWh reëel lijkt. Bron: internet.

Terzijde: Naast accueigenschappen speelt bij het opladen van elektrische auto's ook de maximale netwerkcapaciteit een rol. Een regulier stopcontact heeft een spanning van 230 Volt en een maximale stroomsterkte van 16 Ampere, het maximaal te leveren vermogen is dan minder dan 4 kW.

Rijders van elektrische auto's kiezen daarom (noodgedwongen) voor een laadpatroon dat anticyclisch is: ze laden hun accu wanneer de auto geruime tijd niet wordt gebruikt. Opladen gebeurt dus vooral 's nachts en deels overdag, wanneer de auto's en hun bestuurders op hun bestemming zijn. Het gevolg is ook dat elektrische laadmogelijkheden langs bijvoorbeeld snelwegen, ook snelle laadpunten, zo weinig mogelijk worden gebruikt. Onderstaande figuur geeft het laadpatroon van elektrische auto's per maand in 2013, zoals dat is gemeten door E-laad, een van de eerste exploitanten van laadpalen in Nederland.



Figuur 4: oplaaddata in de praktijk (bron: E-laad)

Het stijgende verbruik in 2013 houdt verband met het stijgende aantal laadpalen en het (snel) stijgende aantal elektrische auto's gedurende het jaar. Uit de figuur kan worden afgeleid dat, evenals voor benzine en diesel het geval is, ook voor het opladen van elektrische auto's blijkt dat de piek in de gevraagde capaciteit ongeveer tweemaal zo hoog is als de gemiddelde capaciteit. Echter, de piek is verschoven. Het laden van accu's gebeurt overdag, juist na de ochtendspits, en 's avonds, na thuiskomst.

In de figuur is te zien dat de meeste accu's om 3 uur 's nachts zijn opgeladen, waarna het laden stopt. Door een iets slimmer laadpatroon kan de laadpiek van omstreeks 18 uur worden afgevlakt. Het laden overdag op de bestemming zal lastiger te verlagen zijn, men wil de auto immers nog gebruiken die dag, bijvoorbeeld om terug te rijden naar huis. Een volle accu, mede gegeven de relatief geringe actieradius van elektrische auto's, is dan wenselijk.

Terzijde: uit de figuur kan worden afgeleid dat het huidige verschil tussen dag en nachttarieven kennelijk onvoldoende is om rijders met elektrische auto's te bewegen hun auto's in de daluren op te laden. Zodra men thuiskomt, begint het opladen. Gegeven het comfortgevoel van een volle accu, is dit begrijpelijk. Een interessante vraag is hoe groot het prijsverschil tussen dag- en nachtstroom moet zijn, voordat met bereid is dit comfortgevoel op te geven.

5. Capaciteit van energieopslag door verkeer

We nemen aan dat accu's in elektrische personenauto's gemiddeld een capaciteit hebben van ongeveer 50 kWh en dat er bij volledige elektrificatie en nog enige groei in het wegverkeer 10 miljoen personenauto's zijn en 1 miljoen trucks. Indien trucks elektrisch worden, zal gekozen (moeten) worden voor een grotere accu; een truck verbruikt immers veel meer energie dan een personenauto. We nemen aan dat de accu van een truck is straks 10x maal zo groot als die van een personenauto, dus gelijk aan 500 kWh¹¹.

Terzijde: deze 500 kWh komt overeen met ongeveer 6 accupakketten zoals in de Tesla. Het gewicht van deze 6 pakketten bedraagt ruim 3000 kilogram. Ter vergelijking: een vrachtauto mag in de EU een maximum gewicht hebben van 40.000 kg. Het leeggewicht van een vrachtwagen bedraagt thans maximaal ongeveer 7000 kg. We gaan er dus impliciet vanuit dat toekomstige accu's niet alleen goedkoper worden, maar ook kleiner en minder zullen wegen.

De totale capaciteit van alle accu's in alle 10 miljoen personenauto's is dan 50 kWh x 10 miljoen = 0,5 TWh en in trucks eveneens 0,5 TWh. In totaal is dat 1 TWh. Dat is gelijk aan 3 dagen van het huidige elektriciteitsverbruik in Nederland. In potentie is het gebruik van auto-accu's als back-up voor het elektriciteitsstelsel dus een aantrekkelijke optie. Zelfs in het denkbeeldige geval dat alle elektriciteitsproductie uitvalt, dan duurt het nog 3 dagen voordat alle accu's leeg zijn, bij normaal gebruik van elektriciteit¹².

Terzijde: om de elektriciteit vanuit de accu's aan het net te kunnen leveren, moeten de accu's met het netwerk verbonden zijn. Er zullen meet- en regelinstallaties moeten komen, zodat de levering gecontroleerd gebeurt en de leverancier betaalt krijgt voor de service. Tevens dient het netwerk in staat te zijn de geleverde elektriciteit te verwerken. Normaal komt deze uit centraal opgestelde eenheden; bij gebruik van autoaccu's komt de voeding uit woonwijken en van parkeerplaatsen. Door enige 'systeemintelligentie' moet worden voorkomen dat het systeem, in een poging om het uitvallen van grootschalige eenheden op te vangen, niet overbelast raakt omdat er plots zeer veel decentrale elektriciteit wordt gevoed. We nemen aan dat daarvoor voorzieningen zullen komen.

Bij de aldus berekende hoeveelheid van 1 TWh aan elektriciteitsvoorraad moet een tweetal kanttekeningen worden gemaakt:

- In de eerste plaats kan de volledige accucapaciteit niet worden gebruikt voor back-up. Immers, als dat zou gebeuren, dan zou vervolgens geen enkele auto in Nederland nog kunnen rijden. In de praktijk zullen (vracht)autobezitters daarom slechts een deel van hun accucapaciteit ter beschikking stellen ten bate van het netwerk. We gaan ervan uit dat dit principe ertoe leidt dat autobezitters minimaal 40% van hun accucapaciteit "op voorraad" willen houden (0,4 TWh), de auto's hebben dan een actieradius van minimaal 80 km, vrachtauto's hebben een minimale actieradius van 160 km.

¹¹ Een vrachtauto vereist per km ongeveer 5 maal de energie dan een personenauto. Bij een accu van 500 kWh levert dit dan een actieradius op van ongeveer 400 km. Dit is naar ruwe schatting ongeveer de gemiddelde afstand die een Nederlandse vrachtwagen per dag aflegt.

¹² Dit is niet strikt juist, omdat bij uitval van alle elektriciteitscentrales ook het 50 Hz signaal wegvalt. De elektriciteitsvoorziening werkt dan niet meer. Het leveren van elektriciteit via autoaccu's of bijvoorbeeld zonnepanelen lukt dan niet meer.

- De tweede kanttekening is dat, in geval van schaarste aan elektriciteit, de elektrische (vracht)auto's na het rijden vermoedelijk ook niet volledig opgeladen zullen zijn. Bij een elektriciteitsverbruik voor wegtransport van 35 TWh per jaar, wordt per dag ongeveer 0,1 TWh gebruikt. Dit deel is eveneens niet beschikbaar voor het netwerk.

Op basis van deze overwegingen wordt geconcludeerd dat de bruikbare voorraad elektriciteit, bij volledige elektrificatie van het Nederlandse wegtransport, ongeveer 0,5 TWh (= 1 TWh - 0,4 TWh - 0,1 TWh) bedraagt. Daarvan is ongeveer de helft (0,25 TWh) afkomstig uit accu's in personenwagens, en de andere helft afkomstig uit accu's van het vrachttransport.

Het huidige elektriciteitsverbruik is ongeveer 115 TWh, dat is ongeveer 0.3 TWh per dag. De bruikbare hoeveelheid accucapaciteit gelijk aan 0,5 TWh voor back-up is dan gelijk aan 36 uur van het huidige elektriciteitsverbruik van Nederland.

In de praktijk zal echter nooit alle elektriciteitsproductie tegelijk uitvallen. Zelfs in een systeem dat louter bestaat uit zon en wind zal het (hopelijk) altijd wel ergens een klein beetje waaien. Deze 36 uren zijn dus een minimum. Daar staat tegenover dat er ook elektriciteit nodig is om accu's te vullen zodat de volgende dagen kan worden gereden, zowel zeker het vrachtverkeer, maar ook de personenwagens.

Geconcludeerd wordt daarom dat de back-up functie vanuit autoaccu's hooguit kan worden waargemaakt in geval van onderbrekingen gedurende een of enkele dagen.

Tenzijde: Mogelijk dat de capaciteit van accu's door technologische ontwikkelingen in de toekomst groter wordt. Dan kan de back-up functie stijgen en kan de balanceerfunctie uitgroeien tot wellicht meer dagen. Wellicht, in een zeer positief scenario wat betreft de ontwikkeling van accu's, in de richting van een week/weekend patroon. Daartoe dient dan het volledige wegvervoer elektrisch te worden en dient ook de accucapaciteit per auto/vrachtwagen fors toe te nemen.

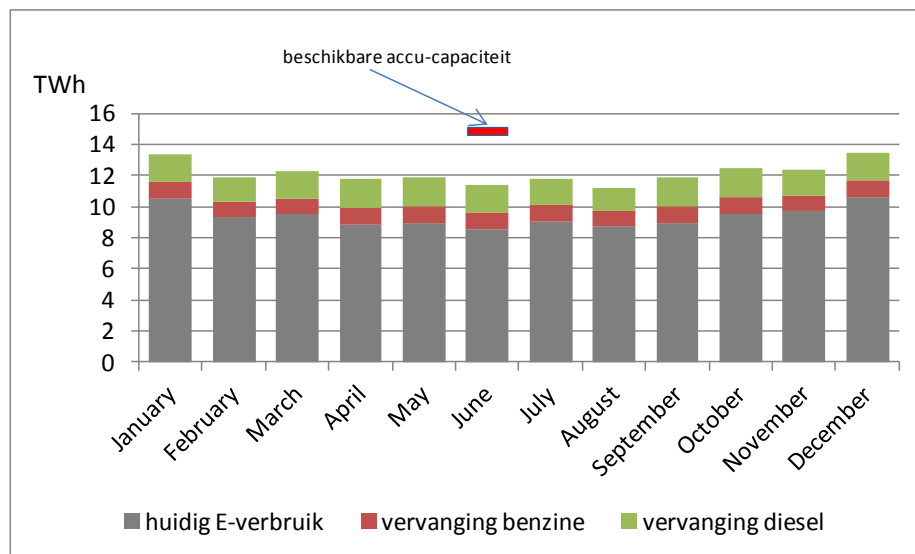
Dit betekent dat het slim verbruik van accu's, via laden en ontladen, in principe een belangrijke bijdrage kan leveren aan de dag/nacht mismatch die ontstaat als gevolg van grootschalige introductie van zon-PV. Tevens, zeker in geval van veel grotere accu's, kan een nuttige bijdrage worden geleverd om een of meerdere dag met lage windopbrengst te overbruggen. Echter voor langere perioden van enkele weken met weinig of geen wind, zullen autoaccu's geen soelaas bieden.

Dit is bij nader inzien niet verwonderlijk. De totale opslagcapaciteit van de accu's in elektrisch vervoer is weliswaar aanzienlijk, maar toch zeer gering ten opzichte van energievoorraden van gasopslagen zoals in Bergermeer of Norg, die elk een 100-voudige capaciteit (50 TWh) hebben en die enkele maanden lang achtereen in bedrijf zijn, tijdens een (koude) winter.

Tot zover enkele algemene overwegingen. In de volgende paragrafen gaan we meer gedetailleerd in op de rol die accu's van elektrische auto's en vrachtauto's kunnen spelen bij de balancering van de elektriciteitsnetten in de toekomst.

6. Wisselwerking tussen bestaand elektriciteitsysteem en elektrisch wegtransport

Het huidige verbruik van elektriciteit in Nederland is redelijk stabiel over het jaar, met een licht piek in de winter. Figuur 6 presenteert het elektriciteitsverbruik per maand in 2014¹³, met daarbij tevens het extra verbruik indien door een (virtuele) volledige elektrificatie van het wegtransport in Nederland.

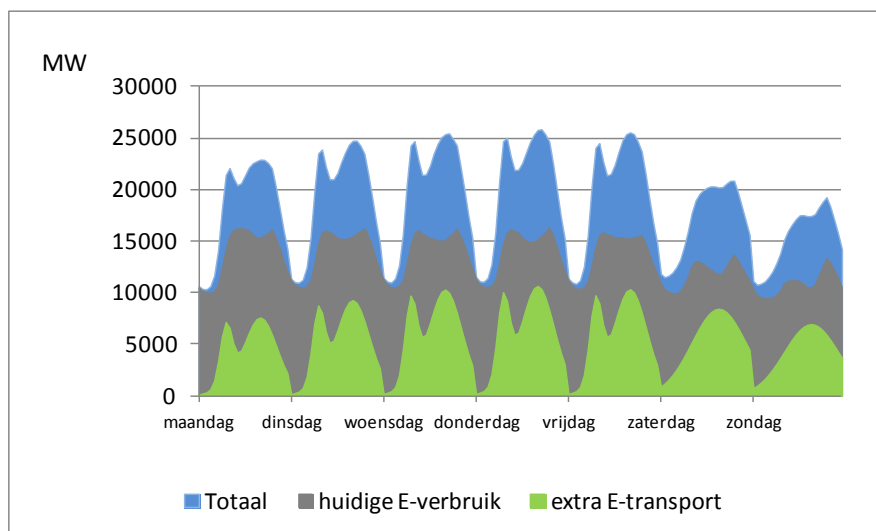


Figuur 5: huidig elektriciteitsverbruik per maand + extra verbruik E-transport

Uit de figuur blijkt dat door de elektrificatie van het wegtransport het jaarprofiel van het elektriciteitsverbruik in Nederland niet wezenlijk wordt beïnvloed. In de figuur is tevens, op schaal, de voor balancering beschikbare accu-capaciteit (0,5 TWh) van het 100% geëlektrificeerde Nederlandse wegtransport weergegeven. Geconcludeerd kan worden dat deze capaciteit zeer gering is ten opzichte van het maandelijkse verbruik, en ook ten opzichte van de maandelijkse fluctuaties in de energievraag.

Het huidige elektriciteitsverbruik in Nederland kent een typisch week/weekend en dag/nacht patroon. Nederlandse huishoudens gebruiken elektriciteit voor diverse doeleinden zoals: wassen, schoonmaken, koelen, verlichting, verwarming (inductieplaat en waterkoker) en audio/video. In de industrie wordt elektriciteit verbruikt voor eveneens een reeks aan toepassingen. Veel industrieën, vooral de grote energieverbruikers, zijn volcontinu in bedrijf. Dit laatste geldt ook voor bijvoorbeeld datacentra die veel elektriciteit verbruiken.

¹³ Data van www.en-tran-ce.nl, Renewable Energy in The Netherlands.



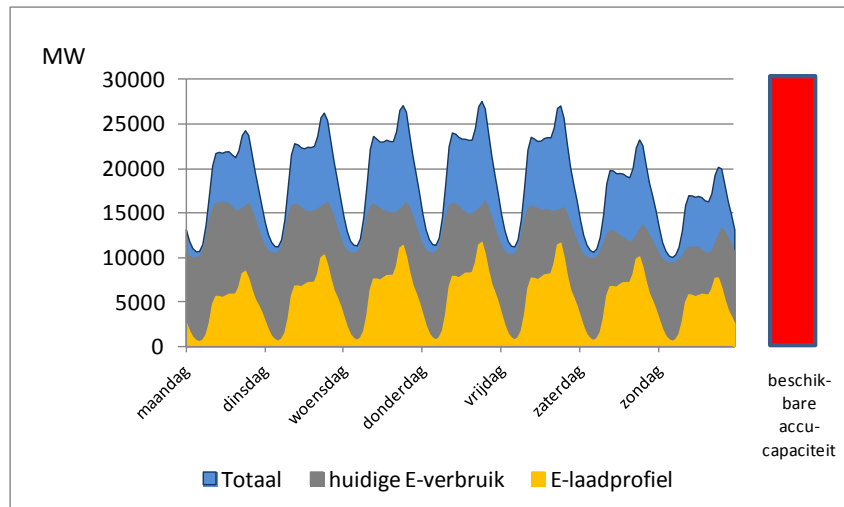
Figuur 6: E-verbruik 3 tot 9 maart 2014 en (virtueel) verbruik bij 100% E-wegtransport

Figuur 6 toont het elektriciteitsverbruik in Nederland tijdens in een week in maart 2014¹⁴. Deze week is als voorbeeld ook in de eerdere figuren gebruikt en loopt van maandag tot en met zondag. De figuur toont eveneens het extra elektriciteitsverbruik dat zou plaats vinden bij volledige elektrificatie van de Nederlandse wegtransportsector (personen en vracht).

Echter, omdat elektrische auto's met accu's zijn uitgerust, en deze accu's op andere tijdstippen worden opgeladen, geeft deze verbruiksfiguur geen goede informatie over de belasting van elektriciteitsnet. Daartoe dienen profielen te worden gebruikt op basis van het laadgedrag van de accu's van auto's en vracht auto's. Figuur 6 geeft overigens wel een correct beeld indien een (futuristisch) concept zou worden geïntroduceerd waarbij elektrische auto's terwijl ze rijden, via lussen in het wegdek van energie worden voorzien.

Figuur 7 corrigeert dit beeld. In plaats van het verbruik van elektriciteit tijdens het rijden, toont deze figuur het laadpatroon van de elektrische accu's, in vergelijking met het actuele elektriciteitsverbruik in dezelfde week in maart 2014.

¹⁴ Data van www.en-tran-ce.nl, Renewable Energy in The Netherlands.



Figuur 7: verbruik elektriciteit bij volledig elektrisch vervoer tussen 3 en 9 maart 2014.

Figuur 7 gaat uit van volledige elektrificatie van het wegtransport in Nederland. Het laadprofiel van het 100% elektrische wegtransport is bepaald door extrapolatie van het laadprofiel uit december 2013, zoals weergegeven in figuur 4. Uit de figuur blijkt dat in deze (virtuele) situatie de maximale elektriciteitsvraag in deze week stijgt van ongeveer 16000 MW naar ruim 27000 MW. Nadere bestudering leert dat deze hoge waarde wordt verklaard uit het feit dat het laadprofiel van elektrische auto's een piek vertoont tussen 18 en 20 uur. Bezitters van elektrische auto's hebben blijkbaar de gewoonte hun accu meteen na thuiskomst te vullen en wachten niet tot het gunstiger nachttarief.

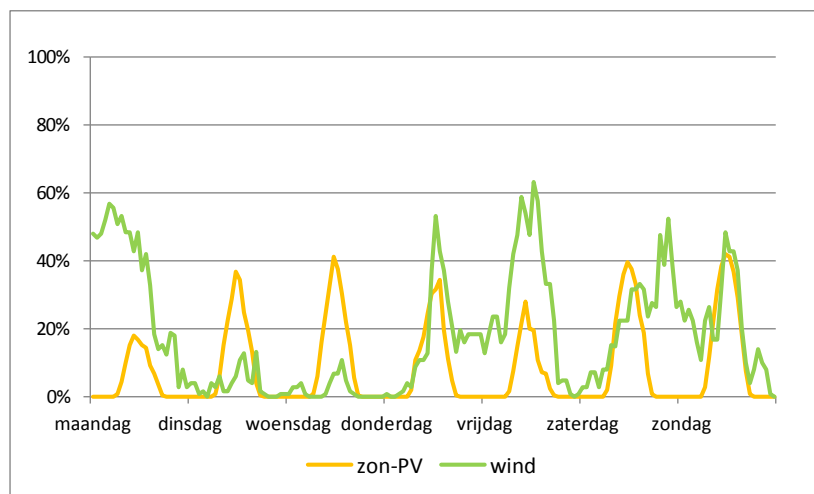
Deze kortdurende piek zal via vraagsturing moeten worden gemitigeerd. De gemiddelde bezitter van een elektrisch voertuig zal er dan aan moeten wennen dat het opladen van zijn accu pas na 21 of 22 uur begint. Ook als de accu's meer capaciteit krijgen, en het opladen bij een gelijke netbelasting dus langer gaat duren, dan is er in de nacht ruim voldoende tijd tot de volgende ochtend beschikbaar. Er resteert dan een stijging van de piekcapaciteit van de elektriciteitsvraag ter grootte van circa 50%.

Ter illustratie is in de figuur op schaal tevens de beschikbare accucapaciteit (0,5 TWh) weergegeven, die kan worden benut voor stabilisatie van het elektriciteitsnet. In figuur 7 komt dit overeen met een vlak ter grootte van 30.000 MW gedurende ruim 16 uren. Zoals al geconcludeerd is de totale beschikbare accucapaciteit zodanig groot, dat deze gebruikt zou kunnen worden om het stroomprofiel gedurende een of meerdere dagen glad te strijken.

7. Enkele overwegingen rondom duurzame elektriciteitsproductie uit wind en zon-PV

De ontwikkeling van elektrisch vervoer is niet de enige ontwikkeling die de komende decennia zal plaatsvinden. De productie van elektriciteit zal steeds meer gebeuren door wind en zon. Wind op zee lijkt enigszins op de huidige centrale productie van elektriciteit: de geproduceerde elektriciteit zal grootschalig via het elektriciteitsnet naar de eindverbruikers worden getransporteerd. Uiteraard is de productie van elektriciteit door wind op zee wel fluctuerend. Wind op land en zon-PV worden

decentraal geproduceerd en via middenspanning en laagspanning op het net worden gezet. Terwijl wind in meer of minder mate stochastisch is, kent zon een typisch dag/nacht en zomer/winter patroon; er is uiteraard wel invloed van bewolking. Productie uit beide decentrale bronnen is niet gegarandeerd en varieert, maar is wel redelijk voorspelbaar. Op een mistige dag zal er nauwelijks elektriciteitsproductie zijn. Op andere dagen juist veel. Onderstaande figuur 8 geeft het benuttingpercentage in Nederland van de aanwezige windturbines en zonnepanelen voor de al eerder besproken week in maart 2014.



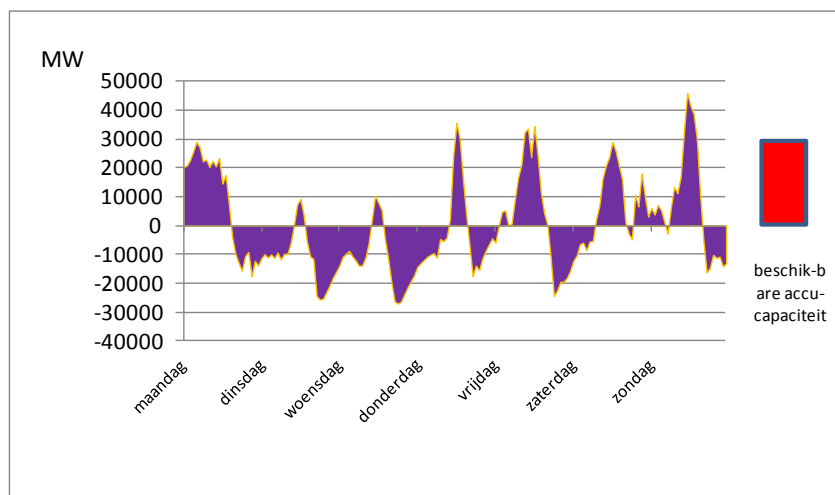
Figuur 8: Benuttingpercentage van zon en wind in NL van 3-9 maart 2014¹⁵

De weersomstandigheden in deze week in maart leidden tot een matige benutting van de beschikbare windcapaciteit. De gemiddelde benutting was 18%, terwijl geheel 2014 een benutting van 24% liet zien. Voor zon was de gemiddelde benutting 9%, gelijk aan het jaargemiddelde.

In maart 2014 was in Nederland ongeveer 2700 Wind en 800 MW zon geïnstalleerd. Op dinsdag en woensdag 4 en 5 maart was er nauwelijks sprake van de productie van duurzame elektriciteit uit zon en wind in Nederland.

De totale vraag naar elektriciteit in de beschouwde week in maart, ten behoeve van de huidige elektriciteitsvraag en de additionele elektriciteitsvraag voor wegtransport, bedraagt ruim 3,1 TWh. We gaan ervan uit dat er op 70 GW zon en 70 GW wind staat opgesteld. Op jaarbasis is dat ruim voldoende om heel Nederland van alle benodigde elektriciteit te voorzien. Voor deze week geldt dat vraag en aanbod ongeveer in balans zijn. Op sommige momenten is er teveel elektriciteitsproductie, op andere momenten te weinig. Deze overschotten en tekorten worden gepresenteerd in figuur 9.

¹⁵ Bron: "Renewable Energy in The Netherlands", zie www.en-tran-ce.nl



Figuur 9: overschotten en tekorten elektriciteit 3-9 maart 2014

In figuur 9 is tevens de beschikbare accu-capaciteit weergegeven. Dit blijkt niet voldoende om de twee dagen, dinsdag en woensdag, met een relatief lage opbrengst uit wind en zon-PV, te compenseren.

Uiteraard is figuur 9 een extreem voorbeeld. Het zal vermoedelijk niet snel gebeuren dat de volledige Nederlandse elektriciteitsvoorziening uit wind en zon bestaat. Alleen al de daarvoor benodigde capaciteit, deze week 140 GW aan wind en zon, maakt dit vrijwel onmogelijk. De toekomstige elektriciteitsvoorziening zal daarom vermoedelijk niet alleen bestaan uit wind en zon, maar ook uit gas- en kolencentrales (met of zonder CCS), of kerncentrales, die kunnen worden ingeschakeld op het moment dat er te weinig duurzame productie is uit wind en zon.

8. De toekomstige rol voor autoaccu's bij de balancering van het elektriciteitsstelsel

We hebben in deze analyse gezien dat autoaccu's geen panacee vormen voor de vraag naar elektriciteitsopslag. De reden is de relatief geringe omvang van de beschikbare accu-capaciteit in relatie tot de verwachte variaties in vraag naar elektriciteit en het aanbod van hernieuwbare elektriciteit. Een verdubbeling of zelfs een verviervoudiging van de accu-capaciteit, waardoor de actieradius van elektrisch vervoer op het niveau van het huidige vervoer komt, zal daar geen verandering in brengen.

Geconcludeerd wordt dat met de accu-capaciteit van elektrische auto's en vrachtauto's de balancering van het elektriciteitsnetwerk over een dag en mogelijk enkele dagen mogelijk is, maar deze oplossing geen soelaas biedt voor windstille perioden van een of meerdere weken, noch voor de balancering van het elektriciteitsnetwerk over de seizoenen. Dit laatste wordt vooral van belang als ook gebouwverwarming elektrisch gaat gebeuren.

Op dit moment vormen de gasopslagen de seizoensopslag voor een koude winter. De totale behoefte aan opslagcapaciteit voor Nederland wordt geschat op 100 TWh, dit is 25% van de jaarlijkse gasvraag. De komende decennia zal de behoefte aan seizoensopslag afnemen naarmate woningen en andere

gebouwen beter geïsoleerd worden. Tevens zijn er voldoende gascentrales die het aardgas uit de seizoensopslag kunnen omzetten naar elektriciteit, om perioden met een tekort te overbruggen.

Terzijde: op dit moment zijn de gasopslagen gevuld met aardgas. In een duurzame samenleving kan groen gas, of waterstof, de rol van aardgas overnemen. Als er dan elektriciteit nodig en het waait onvoldoende, dan zullen gascentrales dit duurzame gas uit de voorraad omzetten in elektriciteit.

Echter als deze gasopslagen er toch al moeten zijn om seizoenseffecten in de warmtevraag op te vangen, evenals gascentrales om langdurige periodes zonder wind te overbruggen, dan wordt het economisch mogelijk attractief deze faciliteiten tevens te benutten om het elektriciteitsnet op dagbasis te balanceren. De grootschalige inzet van autoaccu's om het elektriciteitsnetwerk te balanceren, met de bijbehorende kosten om dit technisch en economisch mogelijk te maken, zal vrijwel zeker duurder zijn dan het gebruik van faciliteiten die er toch al zijn.

Mogelijk zijn er wel nichemarkten, waar de opslagcapaciteit van autoaccu's kan worden benut. Een van deze "nichemarkten" zou het moment kunnen zijn dat de elektriciteitsvraag incidenteel een grote piek vertoont, terwijl er dan juist, toevallig weinig decentrale wind en zon is. In dat geval fungeren autoaccu's als een soort verzekering. Of dit zinvol is zal ondermeer afhangen van de inschatting dat zo'n situatie zich meerdere dagen achtereen kan voordoen. Autoaccu's raken dan leeg; terwijl een ongestoorde levering van elektriciteit voor de samenleving een must is. Het alternatief, back-up door gascentrales, heeft van deze tijdbeperving geen last¹⁶.

Een tweede nichemarkt waarop autoaccu's zouden kunnen worden ingezet is het regionaal of lokaal in balans houden bij kortdurende variaties in de vraag of het aanbod van elektriciteit. Bijvoorbeeld als er een wolk(je) voor de zon komt, waardoor de productie vanuit zonnepanelen eventjes minder wordt. TenneT heeft hiervoor nu snel regelvermogen gecontracteerd. Wanneer de bijdrage van wind en zon-PV toeneemt, zal deze hoeveelheid regelvermogen mogelijk gaan stijgen. De kosten van de inzet van autoaccu's zouden in dit geval moeten worden afgewogen tegen de kosten voor vraagsturing.

9. Conclusies en aanbevelingen

In deze studie wordt aangenomen dat alle wegtransport, personen en vrachtwagens, geëlektrificeerd wordt. De volgende conclusies worden getrokken:

1. Volledige elektrisch wegtransport vereist een aanzienlijke verzwaring van het elektriciteitsnet; de vraag naar elektriciteit neemt dan met circa 30% toe. De piekvraag naar elektriciteit neemt naar verwachting met circa 50% toe.

¹⁶ Een voordeel van balancering met autoaccu's ten opzichte van balancering met gascentrales is dat deze ook voor de opslag van teveel geproduceerde elektriciteit kunnen worden benut. Door te kiezen voor het opladen van autoaccu's bij lage prijzen, dus bij overschotten aan elektriciteit, kan dit voordeel deels ook worden verkregen in een systeem waarbij tekorten aan elektriciteit worden aangevuld met elektriciteit uit gascentrales.

2. Autoaccu's kunnen worden benut voor de balancering van het elektriciteitsnet. De daartoe beschikbare hoeveelheid elektriciteit bedraagt ongeveer 0,5 TWh. Dat is gelijk aan het nationale elektriciteitsverbruik (regulier + wegtransport) gedurende 24 uur.
3. Met autoaccu's kan het elektriciteitsstelsel meerdere dagen in balans worden gehouden en kan het dag/nachtpatroon van de elektriciteitsvraag worden afgevlakt.
4. De overgang naar een duurzaam elektriciteitsstelsel op basis van zon en wind leidt vanwege het variabele karakter van deze energiebronnen tot extra eisen aan de balancering.
5. De opgeslagen elektriciteit in autoaccu's is onvoldoende om een periode van meerdere dagen of zelfs weken met weinig wind en zon te overbruggen. Er zullen daarom aanvullende middelen moeten zijn; bijvoorbeeld gascentrales.
6. Deze aanvullende middelen zijn nodig voor balancering kunnen ook worden ingezet voor korte termijn balancering. Naar verwachting is de inzet van bestaande middelen economisch attractiever dan het opzetten van een nieuw stelsel waarbij autoaccu's een balanceringsrol voor korte termijn fluctuaties gaan vervullen.
7. Autoaccu's zouden kunnen mogelijk wel worden ingezet in nichemarkten, voor balancering van vraag en aanbod op korte termijn, waarbij het voordeel is dat verzwaring van distributienetten wordt voorkomen.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek:

- A. Deze analyse bevat een aantal aannamen wat betreft de toekomstige ontwikkeling van autoaccu's en ten aanzien van de bereidheid van autobezitters om hun accucapaciteit (tegen betaling) ter beschikking te stellen van het elektriciteitsstelsel. Het verdient aanbeveling deze aannamen tegen het licht te houden.
- B. In deze analyse wordt de inzet van elektriciteit voor verwarmingsdoeleinden niet meegenomen. Een eventuele verdere uitrol van all-electric concepten, waarbij de verwarming met gas wordt vervangen door warmtepompen, zal het elektriciteitsgebruikspatroon structureel veranderen en een meer seizoensmatig karakter geven.
- C. Er wordt in deze studie uitgegaan van het volledig elektrificeren van alle wegtransport en volledige verduurzaming van de elektriciteitsproductie. Mogelijk dat minder extreme aannamen leiden tot iets andere conclusies.
- D. De analyse is verricht op het niveau van Nederland. Het verdient aanbeveling de analyse eveneens uit te voeren op het niveau van een moderne woonwijk. Wellicht dat op dat niveau de benutting van autoaccu's om het netwerk in een woonwijk te ondersteunen kansrijker is.
- E. De verwachting dat de inzet van gascentrales, noodzakelijk voor de balancering op niveau van meerdere dagen tot enkele weken, economisch attractiever is dan de ontwikkeling van een (nationaal) stelsel met autoaccu's zou kwantitatief onderbouwd te worden.