

## Zijn 100 gigafabrieken genoeg voor een wereld op groene energie? Ik rekende het na

Thalia Verkade

De Tesla-Gigafabriek in aanbouw in Nevada, Amerika. 18 juli 2016. Foto: Jason Henry / The New York Times / Hollandse Hoogte

Het gaat hard [De prijzen voor zonnepanelen blijven kelderen](#). [De prijzen voor zonnepanelen blijven kelderen](#). hard met het opwekken van hernieuwbare energie. Maar alles wat we opwekken, moeten we ook kunnen opslaan voor momenten dat de zon niet schijnt en de wind niet waait. En dat gaat minder hard. In China bijvoorbeeld gaat op dit moment [opgewekte windenergie verloren](#). [Lees meer over windenergie in China in The Wall Street Journal](#). [Lees meer over windenergie in China in The Wall Street Journal](#). opgewekte windenergie verloren.

Tesla-oprichter Elon Musk zegt (een deel van) het antwoord te hebben: de batterijen uit zijn Gigafabriek in Nevada, met een mogelijke dependance [in Europa](#). [Minister Henk Kamp zei Gigafabriek nummer 2 graag in Nederland te zien, maar er zijn meer landen in de race](#). [Minister Henk Kamp zei Gigafabriek nummer 2 graag in Nederland te zien, maar er zijn meer landen in de race](#). in Europa. Zou je honderd van die gigafabrieken hebben, zegt hij, dan zou je genoeg batterijen kunnen produceren voor de energieopslag voor een wereld die volledig draait op duurzame energie.

Klopt die bewering, vroegen enkelen van jullie. Ik vroeg het me ook af en ben gaan rekenen. Hieronder lees je waar ik op uitkom. Voor wie haast heeft: [in de onderste paragraaf](#) vat ik alles in een paar alinea's samen.

### Wat heeft Musk precies gezegd?

In zijn klimaatdocumentaire *Before the Flood* krijgt Leonardo DiCaprio een rondleiding door de Gigafabriek van Musk. Intussen praten ze met elkaar over het probleem dat broeikasgas veroorzaakt op aarde.



Bron: YouTube

Bekijk hier het gesprek tussen DiCaprio en Musk in de Gigafabriek in Reno, Nevada.

Musk zegt: DiCaprio: 'A hundred of these?' Musk: 'A hundred of these, yes.' DiCaprio: 'That would make the United States...' Musk: 'No, the whole world.' DiCaprio: 'The whole world...' Musk: 'The whole world. All energy. DiCaprio: That's it? That sounds...' Musk: 'It's manageable.' DiCaprio: 'That sounds manageable.' Musk: 'Yeah.' 'We hebben berekeningen gemaakt van wat er nodig zou zijn om de hele wereld over te laten stappen op duurzame energie... wat voor doorvoer je eigenlijk nodig zou hebben, en je zou honderd gigafabrieken nodig hebben.'

DiCaprio antwoordt verbaasd: 'Honderd, van deze?' Musk: 'Honderd van deze, ja.'

DiCaprio: 'Dat zou de Verenigde Staten...' Musk: 'Nee, de hele wereld.'

DiCaprio: 'De hele wereld...' Musk: 'De hele wereld. Alle energie.'

DiCaprio: 'Dat is alles? Dat klinkt...' Musk: 'Het is te doen.'

DiCaprio: 'Dat klinkt alsof het te doen is.' Musk: 'Yeah.'

Daarna zegt Musk nog dat Tesla niet al die honderd fabrieken zelf kan gaan neerzetten: fabrikanten in China, de VS en Europa moeten het verschil gaan maken. Autofabrikanten, voegt hij eraan toe. Het gesprek eindigt ermee dat de overheid belasting op CO2 zou moeten heffen om te zorgen dat ze dat gaan doen.

## Bij gebrek aan antwoord van Tesla

Aan Tesla, het bedrijf waar de Gigafabriek onder valt, heb ik per mail meer informatie gevraagd over de berekeningen waar Musk zich op zegt te baseren. Ik heb nog geen antwoord. Omdat Carbon Brief dezelfde vraag Bron: [Carbon Brief over Before the Flood](#) al in oktober stelde en ook nog steeds geen antwoord publiceerde, waag ik het er nu op zelf een eerste aanzet tot een berekening te maken. Volgt er een antwoord van Tesla, of komen we samen verder in de bijdragen hieronder, dan maak ik een update.

Dan nog een paar voorbehouden:

1. Er zijn veel manieren om energie op te slaan. Lithium-iontechnologie is niet voor elke toepassing logisch of mogelijk. Ik kom daar nog op terug.
2. Of we genoeg grondstoffen hebben voor één gigafabriek, laat staan honderd, is een cruciale kwestie, waar ik op inga in een later verhaal.
3. Er moeten nog veel meer zonnepanelen en windmolens of andere vormen van hernieuwbare energie komen.
4. Het elektriciteitsnetwerk moet fundamenteel gaan veranderen. [Zie deze illustratie van Eneco voor het idee.](#)

Dat laat ik hier allemaal even voor wat het is. Het gaat hier alleen om de vraag hoeveel jaar het kost om honderd gigafabrieken de energieopslag te laten leveren die nodig is voor de overgang naar een duurzame wereld.



*De Gigafabriek in aanbouw in September 2015. Foto: Jonathan Sprague / Redux / HH*

## Drie types batterijen die de Gigafabriek maakt

De Gigafabriek in aanbouw nabij Reno, Nevada, maakt op dit moment drie soorten lithium-ionbatterijen:

1. De auto-accu voor de elektrische auto Tesla.
2. De huisbatterij: de Powerwall Zo ziet de Powerwall eruit. Bron: <https://www.tesla.com/powerwall> die energie uit het net of uit eigen zonnepanelen opslaat.
3. De Powerpack: [Powerpack op Tesla's site](#) grote energieopslagkasten voor industriële klanten en collectieven om energieoverschotten en piekgebruik op te vangen.

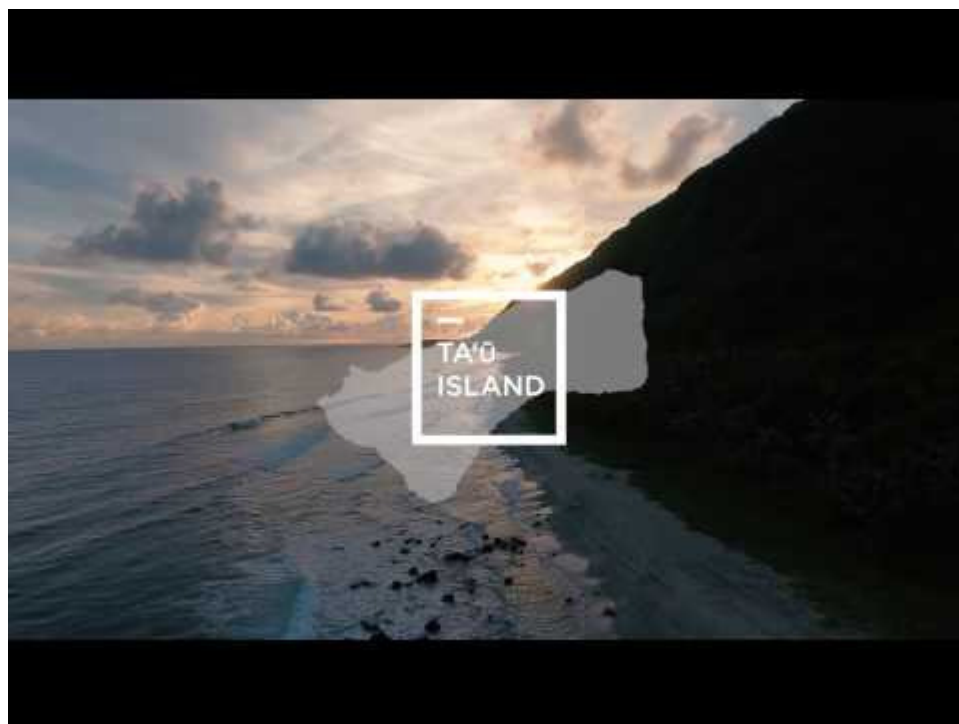
Een klein deel van de Gigafabriek in Nevada is momenteel al in bedrijf; het grootste deel moet nog gebouwd worden. De bedoeling is dat de fabriek zelf energieneutraal wordt, het hele dak komt vol te liggen met zonnepanelen. Het totale vloeroppervlak, verdeeld over meerdere verdiepingen, wordt zo'n 139 hectare: drie keer het Vondelpark. Met honderd gigafabrieken van één verdieping zou je de provincie Utrecht kunnen vullen.

In Musks zonnige toekomst heeft elk huishouden straks een huis vol zonnepanelen, een Powerwall aan de muur en een Tesla voor de deur

In de zonnige toekomst van Musk heeft ieder huishouden straks een huis vol zonnedakpannen, met een garage waar een Powerwall aan de muur hangt en een Tesla geparkeerd staat. De batterijen worden in de praktijk elke dag opgeladen aan het stopcontact, net zoals je laptop of smartphone. Het is precies dezelfde technologie, maar dan wat groter. Ingeplugd zijn ze deel van een flexibel, gedecentraliseerd energienetwerk.

Om het overzichtelijk te houden ga ik eerst kijken of je met de auto-accu's en de Powerwalls uit honderd gigafabrieken genoeg energie zou kunnen opslaan om alle auto's en huishoudens ter wereld van duurzame stroom te voorzien, en hoelang je daarvoor nodig hebt. Daarna kom ik terug op de Powerpack en de energie voor industrie en zwaar transport.

De reclame voor een Tesla-huis met zonnepanelen, auto en huisbatterijen.



Bron: YouTube

Het eilandje Ta'u ging onlangs over van dieselgeneratoren op Powerpacks.

## **Auto-accu's: 210 miljoen per jaar**

Hoeveel autobatterijen kan één gigafabriek produceren?

Laten we eerst kijken naar de cijfers die Tesla zelf naar buiten heeft gebracht. Tesla claimde bij de [presentatie](#) Bron: [Presentatie van Tesla](#) van de fabriek dat er in 2020 35 gigawattuur (GWh) per jaar aan batterijen geproduceerd zou kunnen worden, en dat dat genoeg zou zijn om 500.000 elektrische auto's op te laten rijden. In juli van dit jaar [zei Musk zei dat tegen het blad Fortune](#). Musk dat de Gigafabriek in Nevada zo nodig veel meer batterijen zal kunnen maken, ter waarde van zo'n 150 gigawattuur per jaar, zonder dat het volume van de fabriek toeneemt. Dat zijn nog eens ruim vier keer zoveel auto's.

Als de Gigafabriek op maximale kracht draait en jaarlijks 150 gigawattuur aan batterijen van 70KWh produceert, dan zouden er in een jaar batterijen voor 2,1 miljoen Tesla's van de band moeten kunnen rollen ([berekening](#)). Eén Tesla heeft een batterypack van 60 of 85 Kilowattuur (KWh), waarmee je respectievelijk drie à vierhonderd kilometer kan rijden voordat die weer moet worden opgeladen. Als je met 35 Gigawattuur (35 miljoen KWh) 500.000 auto's kan laten rijden dan kom je uit op 70 KWh gemiddeld per batterypack, tussen die 60 en 85 in. Zo komt Tesla aan die half miljoen auto's.

Wat dat betekent?

*Heb je honderd van die fabrieken, dan kom je uit op batterijen voor 210 miljoen Tesla's per jaar.*

## Huisbatterijen: ruim 1 miljard per jaar

Huisbatterijen zoals de Powerwall zie je nog weinig in Nederland - vanwege de salderingsregeling. Huishoudens met zonnepanelen krijgen nu nog financiële compensatie voor stroomoverschot dat ze terugleveren aan het net. Maar dat kan gaan veranderen. Ze helpen ook bij het opvangen van pieken in de vraag naar elektriciteit, die sterk toeneemt als je een elektrische auto thuis oplaadt en je huis elektrisch gaat verwarmen.

Hoeveel Powerwalls de Gigafabriek in Nevada kan maken, heeft Tesla bij mijn weten niet expliciet gezegd. Dus ga ik uit van de beloofde fabriekscapaciteit van 150 GWh per jaar, en ben ik op de website van Tesla gaan kijken hoeveel Powerwalls een huishouden nodig heeft. Vraag één daarbij is: waar op aarde woon je?

( Honderd gigafabrieken zouden ruim 1 miljard Powerwalls per jaar kunnen produceren

Kijk je op de Amerikaanse site, Bron: De Amerikaanse berekening van Tesla dan zie je dat een driekamerwoning naar schatting 30KWh aan stroom per dag verbruikt. Kijk je op de Nederlandse site, Bron: De Nederlandse berekening dan is het de helft. Amerikaanse huishoudens verbruiken veel meer energie dan Europese huishoudens, die weer meer gebruiken dan huishoudens in ontwikkelingslanden. (DiCaprio gaat in Before the Flood uitgebreid op die ongelijkheid in.) Bij een gemiddeld Nederlands huishouden liggen de cijfers nog iets lager. Op 9 KWh per dag volgens Milieu Centraal. maar het gasverbruik moet dan nog vervangen worden door stroom. Dagelijks verstoekt een huishouden gemiddeld 4 kuub gas. Energieneutrale nieuwbouwhuizen krijgen nu al geen gasaansluiting meer, maar (meestal) een elektrische warmtepomp. Die verbruikt naar schatting 10 KWh per dag. Tel dat op bij die 9 KWh voor wasmachine, licht en laptops, en een gemiddeld Nederlands huishouden dat volledig elektrisch leeft komt in totaal dan op 19KWh per dag uit.

Voor een 100 procent elektrisch huishouden met drie slaapkamers adviseert Tesla twee Powerwalls: Met elk 5 kW vermogen. dan kan je genoeg piekverbruik. De tijd waarin de warmtepomp loeit, je staat te douchen én de wasmachine aanstaat. opvangen. Als de Gigafabriek op maximale kracht draait en jaarlijks 150 gigawattuur aan Powerwalls van 14KWh produceert, dan zou dat meer dan tien miljoen huisbatterijen. Berekening: 150 GWh / 14KWh (voor één Powerwall). opleveren die een elektrisch huishouden zeventien uur van gelijkmatige stroom kunnen voorzien.

Wat dit betekent?

*Honderd gigafabrieken zouden ruim 1 miljard Powerwalls per jaar kunnen produceren, goed voor een half miljard elektrische huishoudens. Die zich gedragen als Nederlanders.*

## Zes jaar tot alle autobatterijen zijn geproduceerd

Hoelang gaat de productie van al die batterijen duren?

Eerst weer de auto's. Er rijden nu circa 1,2 miljard personenauto's rond op aarde (waaronder ruim een

miljoen Bron: Volgens het Internationaal Energie Agentschap [Meer in de Global EV Outlook 2016](#) elektrische auto's). Hoeveel auto's we in de nabije toekomst nodig gaan hebben is de grote vraag. Volgens [de ene schatting](#) Bron: [Schatting van Green Car Reports](#) neemt het aantal toe tot 2 miljard in 2035, maar als meer auto's zelfrijdend worden, kan het ook dat die een soort vloten vormen die we met elkaar kunnen delen, met minder autobezit (en files) tot gevolg. Dus ik ga uit van de huidige 1,2 miljard. Wat dit betekent:

*In zes jaar zouden honderd gigafabrieken genoeg autobatterijen kunnen produceren om het hele huidige wagenpark van de wereld te vervangen door elektrische auto's.*

Wat hier dus niet meetelt: de 40 procent overige transport, waaronder [vrachtwagens](#) voor de zware industrie en lange afstanden (elektrische vrachtwagens met kleine actieradius zijn er al), en scheep- en luchtvaart. In de praktijk te zwaar om op lithium-ionbatterijen te laten werken. Zou je het mee willen rekenen, dan zit je op nog eens vier jaar aan auto-accuproductie.



*De Gigafabriek in aanbouw op 18 november 2014. Foto: James Glover/ Reuters / ANP*

## **Tweeënhalf tot vijf jaar tot alle huisbatterijen zijn geproduceerd**

Dan de huisbatterijen. Een betrouwbare telling van het gemiddeld aantal personen per huishouden in de wereld bestaat bij mijn weten niet. Veronderstellen we dat wie een elektrische auto heeft, ook aan de thuisbatterijen gaat, dan betekent dat dit:

*De honderd fabrieken hebben een kleine tweeënhalf jaar fulltimecapaciteit nodig om alle autobezitters van twee Powerwalls te voorzien. Wil je bij nog eens zoveel mensen zónder auto twee Powerwalls ophangen? Dan zit je op 2,4 miljard huishoudens. Dat zou neerkomen op een gemiddelde huishoudengrootte van iets meer dan 3 personen wereldwijd. Dat kost vijf jaar.*

Wat ik hierbij niet meetel: andere gebouwen, waaronder bedrijfspanden. De commerciële sector in de VS is ongeveer een half keer zo groot als de residentiële sector. Nog eens tweeënhalf jaar aan Powerpacks.

## **Hoelang gaan die mee?**

In totaal hebben honderd gigafabrieken zes jaar nodig om 1,2 miljard autobezitters van batterijen te



voorzien en nog eens tweeënhalft tot vijf jaar om 2,4 miljard wereldburgers van huisbatterijen te voorzien. Dan nog even deze kwestie: hoelang gaan die batterijen mee?

Omdat de technologie nog zo jong is, is het niet zeker. We kunnen wel afgaan op de garantie die Tesla geeft (en wat Tesla-eigenaren daarover zeggen): [Teslarijders houden hun range en hun kilometerstand bij en melden vooralsnog nauwelijks degradatie](#). acht jaar voor de batterypack in de auto en tien jaar voor de Powerwall 2. Tesla is van plan de eigen batterijen zo volledig mogelijk te gaan recyclen.

Dat klinkt inderdaad alsof het te doen is. Zonder de industrie.

## Twee mogelijke meevallers

Eerst even twee mogelijke meevallers die ik nog niet heb meegeteld.

Eén: de batterijen van de gigafabrieken worden waarschijnlijk elk jaar een paar procent beter. In de afgelopen tien jaar is de energiedichtheid verdubbeld, en er is geen reden om aan te nemen dat dat verandert. 'We zouden allemaal veel groter moeten denken,' zegt Tesla-CTO [Jeffrey Straubel over energie-opslag](#). [Lees op Green Tech Media wat JB Straubel zei over energie-opslag](#). [Lees op Green Tech Media wat JB Straubel zei over energie-opslag](#). Jeffrey Straubel over energie-opslag.

( We gaan misschien veel minder energie nodig hebben dan we nu denken

Twee: we gaan misschien veel minder energie nodig hebben dan we nu denken. Kijk maar: in de VS gaat bijna een derde van alle energie die fabrieken gebruiken naar olieraffinaderijen. Zie deze taartgrafiek Bron: [https://www.eia.gov/energyexplained/images/charts/energy\\_use\\_by\\_industry-small.gif](https://www.eia.gov/energyexplained/images/charts/energy_use_by_industry-small.gif) En die heb je als alles op wind, zon en water draait niet of nauwelijks meer nodig. Het overstappen naar wind, zon en water gaat alleen daarom al veel energieverbruik schelen. Volgens Stanfordprofessor [Mark Jacobson](#) Jacobson is hoogleraar Civiele en Milieutechniek aan de Stanford Universiteit. [Jacobsons homepage bij Stanford](#) zo'n 13 procent van het totaal in 2050.

Door over te stappen op elektrisch neemt de consumptie volgens Jacobson nog heel veel verder af met in totaal ruim 40 procent gerekend voor het jaar 2050. Dit omdat een Tesla of een warmtepomp eenvoudigweg veel minder energie verbruikt dan een auto met verbrandingsmotor of een cv-installatie, voor hetzelfde resultaat.

Nu is Jacobsons optimistische rekenwerk niet onbetwist. Maar hij maakt volgens mij wel hard dat onze energieconsumptie zuiniger wordt naarmate we meer elektrisch doen. Als batterijen ook nog sterker worden, kunnen we met minder batterijen dus meer dan in bovenstaande berekening.





[Grote meevaller in de overgang naar groene energie? Linkjes naar Jacobsons werk en kritiek erop lees je in deze notitie. Lees mijn notitie hier](#)

## Maar hoe zit het met industrie en transport?

‘Alle energie’ willen opslaan in Gigafabrieks batterijen: het is eigenlijk een gek statement van Musk. Want het kan gewoon niet. We kunnen op dit moment bijvoorbeeld geen zwaar staal smelten met een elektrische lasboog die werkt op li-ionbatterijen. Ook kunnen vrachtwagens en olietankers er niet op rijden en varen. Powerpacks zijn dan ook vooral bedoeld voor energiebedrijven en nutsvoorzieningen: voor het tijdelijk opvangen en distribueren van energieoverschotten.

Maar laten we er even van uitgaan dat alle ingenieursuitdagingen kunnen worden opgelost en dat ook nog alle fabrieken in de wereld op lithium-ionbatterijen zouden kunnen werken. Hoeveel heb je er dan nodig?

In onderstaande notitie maak ik een zeer speculatieve *what if*-berekening. Ik kom uit op vier jaar, of een kleine twee als ik de logica van Mark Jacobson aanhoud. Dan kun je het gevraagde piekvermogen opvangen, maar mag je niet lang zonder stroom zitten: ik ga dus uit van een elektriciteitsnetwerk dat even goed de vraag opvangt als nu. Moeten de fabrieken dagen zonder stroom kunnen, dan heb je meer nodig.

Twee tot vier jaar voor de gehele industrie: dat klinkt snel in vergelijking met die zes jaar die het zou kosten om batterijen voor 1,2 miljard elektrische auto's te produceren. Maar bedenk dat het gaat om tijdelijke energieopslag, niet om de opwekking van alle energie. Fabrieken met zonnepanelen bijvoorbeeld kunnen de energie die overdag wordt opgewekt grotendeels direct verbruiken.



[Gigafabrieken voor fabrieken \(gedachte-experiment\) In deze notitie bereken ik hoeveel tijd het zou kosten als honderd Gigafabrieken batterijen zouden produceren om de hele energiesector op hernieuwbare energie over te laten gaan. Veel zware industrie kán niet over op lithium-iontechnologie, dus het is alleen een gedachte-experiment. Bekijk hier hoe ik aan vier jaar kom](#)

## Conclusie

Kunnen honderd gigafabrieken genoeg batterijen maken om de wereld over te laten stappen op duurzame energie? Ik kom hierop uit: in zes jaar kunnen de fabrieken de accu's voor de 1,2 miljard personenauto's in de wereld produceren. In nog eens tweeënhalf tot vijf jaar kunnen ze alle huishoudens van huisbatterijen voorzien.

Als je kijkt naar de garantie op de batterijen (acht tot tien jaar) zouden honderd fabrieken dit moeten kunnen halen. Hierbij ga ik ervan uit dat de claims die Tesla zelf doet over zijn batterijen en de maximale productiecapaciteit van de Gigafabriek in Nevada kloppen.

Dan zit je nog met bedrijfspanen (tweeënhalf jaar). Met vrachttransport (nog eens vier jaar) en de industrie (minimaal twee tot vier jaar). Dat wordt te krap. Nog los van het feit dat het op dit moment niet mogelijk is om zware transport en techniek op stroom en batterijen te laten draaien. Maar Tesla rekent op alsmaar toenemende energiedichtheid van de eigen batterijen. En mogelijk ook op energiebesparing die ontstaat als we overstappen op elektrisch.

Om het op zijn DiCaprio's te zeggen: het klinkt alsof het te doen is. In elk geval kunnen honderd gigafabrieken alle auto's en huishoudens van de wereld van batterijen voorzien. Met een paar meevallers nog veel meer dan dat.

## Volgende stap

De eerste Gigafabriek is nog niet eens af. Een cruciale vraag ligt open, namelijk of er wel genoeg grondstoffen te delven zijn voor al die batterijen en wat dat betekent voor het milieu. Nu ik weet hoeveel batterijen er geproduceerd zouden moeten worden, ga ik daarmee aan de slag.



[Wil je mijn verhalen volgen? Ik onderzoek hoe nieuwe ideeën en technologieën de wereld veranderen. Op dit moment richt ik me op de toekomst van mobiliteit, van de elektrische fiets tot de raket naar Mars. Wil je per mail op de hoogte worden gehouden? Abonneer je hier op mijn nieuwsbrief](#)

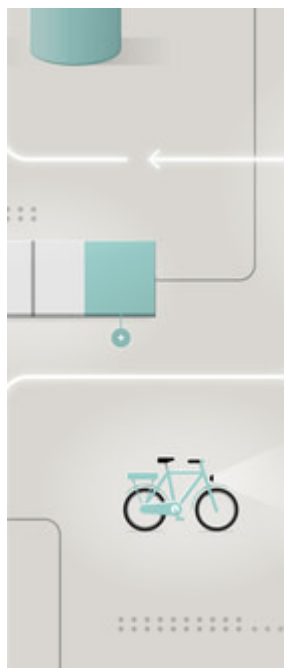
## Dank jullie wel!

Bij het schrijven van dit stuk heb ik hulp gekregen van meerdere experts en leden die meelazen en meer wisten dan ik. [Yvo Hunink](#) Yvo Hunink is bezig met een masterscriptie over innovatieprocessen in de energiemarkt voor het programma Sustainable Energy Technology aan de TU Delft. haalde me van een

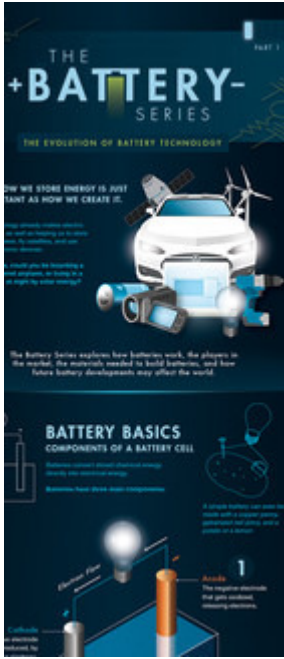
dwaalspoor rondom dieselgeneratoren af en wees me op het belang van pieken in energievraag, waar [Luuk Veeken](#) Luuk Veeken werkt voor Dexter Energy Services, een start-up die zich richt op 'demand response' (flexibilisering van de energievraag) bij zakelijke grootverbruikers. vervolgens een rekenmodel bij verschaft. [Jan Derk Stegeman](#) Met Jan Derk Stegeman kwam ik in contact dankzij zijn eerdere bijdrage onder een factcheck van collega's over windmolens. [Lees die bijdrage hier](#). wees me op het werk van Mark Jacobson. Heel veel dank voor jullie tijd en moeite.

Eventuele denk- en rekenfouten zijn alleen van mij.

## Verder lezen?



[Batterijen: onmisbaar nu en in de toekomst. Maar wat zijn het? Batterijen zijn onmisbaar als we gas, olie en kolen achter ons willen laten. En ze maken ons mobieler. Maar wat zijn batterijen, hoe komen we eraan, en hoe werken ze? Een explainer voor wie scheikunde voortijdig heeft laten vallen. Lees mijn explainer hier terug](#)



[Batterijen zijn big business. Deze infographics laten zien waarom Wat zijn de eigenschappen van de ideale batterij? En welke grondstoffen zijn ervoor nodig? Vijf verhelderende infographics van The Visual Capitalist nemen je mee in de wereld van batterijen. Ik kan ze van harte aanbevelen, maar heb er wel een paar kritische kanttekeningen bij. Lees mijn aanbeveling hier terug](#)
