

# Hoe duurzaam is een duurzaam elektriciteitsnet?

<http://www.lowtechmagazine.be/2017/09/hoe-duurzaam-is-een-duurzaam-elektriciteitsnet-.html>

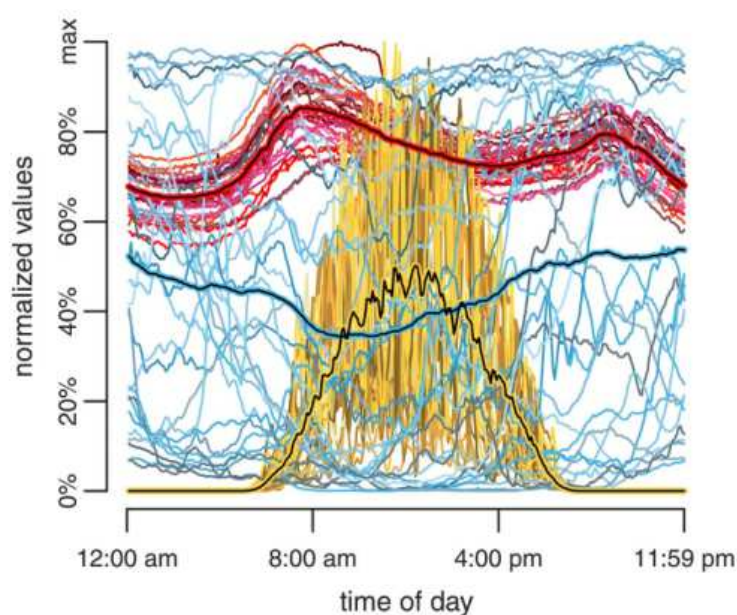
**Hoewel het potentieel van wind- en zonne-energie groter is dan de energievraag van industriële samenlevingen, zijn deze energiebronnen niet altijd beschikbaar. Om te verzekeren dat het aanbod altijd aan de vraag kan voldoen, heeft een elektriciteitsnet op basis van wind en zon heel veel extra infrastructuur nodig.**

Die infrastructuur maakt van hernieuwbare elektriciteitsproductie een complexe, trage, dure en onduurzame onderneming. Als we daarentegen de energievraag zouden aanpassen aan het wisselende aanbod, dan kan hernieuwbare elektriciteitsproductie wel heel voordelig zijn. Deze strategie was heel gewoon in vroegere tijden, en moderne technologie maakt ze nog interessanter.

Het idee leeft dat hernieuwbare energiebronnen ons in de toekomst onafhankelijk zullen maken van fossiele brandstoffen. Windenergie en zonne-energie hebben met voorsprong het grootste potentieel. De hoeveelheid energie die Europa praktisch kan uit de wind halen, wordt geschat op 30.000 terawatt-uur (TWh) per jaar, of tien keer meer dan het jaarlijkse energieverbruik. [1] Het potentieel aan zonne-energie in de VS wordt geschat op 400.000 TWh, of 100 keer het jaarlijkse energieverbruik. [2]

In praktijk zijn dit soort uitspraken problematisch. Ze zijn gebaseerd op jaarlijkse gemiddelden, en houden totaal geen rekening met de variabiliteit van windenergie en zonne-energie. In een elektriciteitsnetwerk moeten vraag en aanbod altijd in evenwicht zijn. Dat is relatief makkelijk met fossiele brandstoffen, want die zijn op afroep beschikbaar. Maar de opbrengst van windturbines en zonnepanelen is totaal afhankelijk van de grillen van het weer.

Om te weten of er genoeg hernieuwbare energie is om een moderne samenleving op wind en zon te laten draaien, moeten we dus een vergelijking maken doorheen de tijd. Wetenschappers die deze metingen en berekeningen hebben uitgevoerd, maken duidelijk dat vraag en aanbod heel vaak niet overeen stemmen. [3-5]



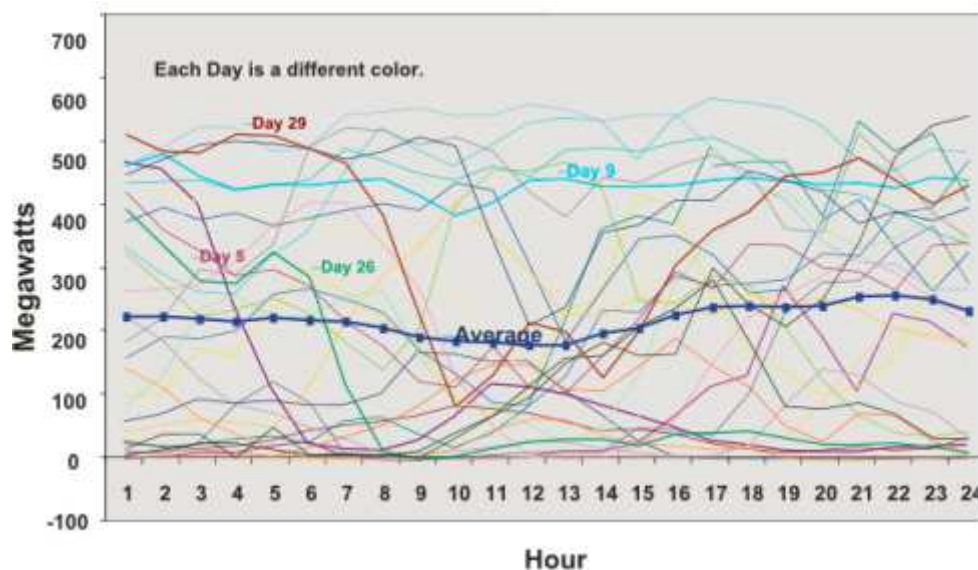
De grafiek hierboven laat de dagelijkse energieopbrengst zien van wind (blauw) en zon (geel) over een periode van dertig dagen, De energievraag is in het rood aangeduid. De dikke lijnen zijn de gemiddelden. Lokatie: Bonneville, VS, april 2010. [21]

De opbrengst van een zonnepaneel kan enorm variëren in de tijd. Bijvoorbeeld in onze streken is er 's winters ongeveer 10 keer minder zon dan 's zomers. Vergelijk je een zonnige zomerdag op de middag met een miezerige winterochtend, dan is er 65 keer meer zonne-energie in het eerste geval. En 's nachts is er uiteraard helemaal geen zonne-energie. [6-10]

**Het enige wat met zekerheid kan worden voorspeld, is dat de opbrengst van een windmolen 0 tot 100% van het maximale vermogen bedraagt.**

Wind is nog minder voorspelbaar. Langs de ene kant kan het zowel 's nachts als overdag waaien, maar langs de andere kant is er geen verzekerde minimum opbrengst zoals bij zonne-energie. In tegenstelling tot zon kan wind dagen- of wekenlang helemaal afwezig zijn. Er kan ook te veel wind zijn, en dan moeten windturbines worden stil gelegd om schade te voorkomen.

Windmolenparken produceren gemiddeld over een jaar 10-45% van hun maximale capaciteit. Dat is dubbel de jaarlijkse capaciteitsfactor van zonne-energie (5-30%), afhankelijk van de locatie. [6][12-14] Maar in praktijk produceren windturbines op elk mogelijk moment 0 tot 100% van hun maximale vermogen.



Elektriciteitsopbrengst van een windmolenpark in Californië op 29 verschillende dagen in april 2005. [6]

Voor veel locaties zijn alleen gemiddelde windsnelheden bekend. Maar de grafiek hierboven laat zien hoe de energieopbrengst van een windmolenpark in Californië varieert van uur tot uur en van dag tot dag over een periode van 29 dagen. Het enige wat met zekerheid te zeggen valt, is dat de opbrengst elk moment kan wisselen van nul tot 600 megawatt (het maximale vermogen van de centrale). [6] Het aanbod van wind- en zonne-energie varieert ook doorheen de jaren, met verschillen van 20-30%. [16-17]

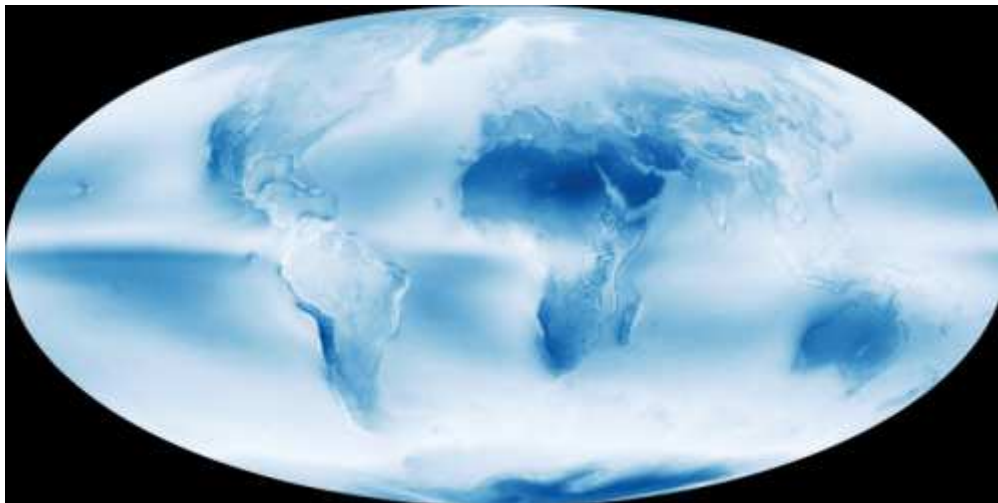
## Hoe vraag en aanbod verzoenen?

Tot op zeker hoogte kunnen zonne-energie en windenergie elkaar aanvullen. Zo is de wind ongeveer dubbel zo sterk tijdens de winter, terwijl er dan minder zon is. [18] Maar dat gaat weer om gemiddelde waarden. Op elk moment van het jaar kunnen wind en zonne-energie ons tegelijk in de steek laten.

De vraag naar elektriciteit varieert ook doorheen de dag en de seizoenen, maar deze variaties zijn een stuk voorspelbaarder en veel minder extreem. De vraag naar elektriciteit piekt tijdens de ochtend en de avond, en is het laagst gedurende de nacht. Maar zelfs 's nachts is het elektriciteitsverbruik nog altijd ongeveer 60% van het maximale verbruik.

### **Om te verzekeren dat het aanbod van elektriciteit altijd overeenstemt met de vraag, is er extra infrastructuur nodig.**

Als we bijgevolg de capaciteit van zonne-energie en windenergie berekenen op de jaarlijkse gemiddelde opbrengst en in overeenstemming met het gemiddelde elektriciteitsverbruik, dan zouden er enorme elektriciteitstekorten zijn gedurende het grootste deel van het jaar. Om te verzekeren dat het aanbod van elektriciteit altijd overeenstemt met de vraag, zijn er dus extra maatregelen nodig.



Het gemiddelde wolkendek op aarde 2002-2015. Bron: [NASA](#).

Ten eerste zouden we kunnen rekenen op een reservecapaciteit van klassieke elektriciteitscentrales die op fossiele brandstoffen draaien. Die centrales worden dan ingezet als er onvoldoende wind en zon is. Ten tweede kunnen we veel meer windturbines en zonnepanelen plaatsen, zodat er zelfs bij bewolkt weer en bij lage windsnelheden voldoende hernieuwbare energie is.

Ten derde kunnen we geografisch verspreide hernieuwbare energiecentrales met elkaar verbinden, zodat de variaties in elektriciteitsproductie worden uitgevlakt. Tot slot kunnen we overtollige stroom opslaan voor gebruik op momenten dat zon en wind het laten afweten.

Zoals we zullen zien, ondermijnt elk van deze strategieën de duurzaamheid van een 'duurzaam' elektriciteitsnetwerk, ook als ze met elkaar worden gecombineerd. Als de energie die nodig is voor het bouwen en onderhouden van de extra infrastructuur mee in rekening wordt gebracht in een levenscyclusanalyse, dan zou een elektriciteitsnetwerk met alleen maar windturbines en zonnepanelen net zo CO<sub>2</sub>-intensief zijn als het nu bestaande elektriciteitsnetwerk.

### **Strategie 1: Reservecapaciteit van klassieke energiecentrales**

Tot nu toe wordt het relatief kleine aandeel van hernieuwbare energie in evenwicht gehouden door aardgascentrales. Hoewel deze aanpak het probleem van een wisselend aanbod volledig "oplost", resulteert dit in een paradox omdat het nu net de bedoeling is om onafhankelijk te worden van fossiele brandstoffen, inclusief aardgas. [19]

Voor een elektriciteitsnet dat gebaseerd is op 100% zonne-energie en windenergie, zonder energieopslag en met alleen maar uitwisseling van elektriciteit op nationaal niveau, moet de reservecapaciteit van klassieke elektriciteitscentrales net zo groot zijn als de piekvraag. [12] Met andere woorden: er zouden evenveel klassieke energiecentrales staan als vandaag.

Zo'n hybride infrastructuur zou het gebruik van fossiele brandstoffen voor de opwekking van elektriciteit verminderen, aangezien hernieuwbare energiecentrales inspringen als er zon of wind is. Maar tegelijk moet er heel veel energie en materialen worden geïnvesteerd in wat in essentie een dubbele infrastructuur is. De energie die we besparen door minder fossiele brandstoffen te verbranden, wordt gespendeerd aan het bouwen, installeren en verbinden van miljoenen zonnepanelen en windturbines.

Hoewel een reservecapaciteit van fossiele brandstoffen algemeen wordt beschouwd als een tijdelijke oplossing die niet geschikt is voor een groter aandeel hernieuwbare energiebronnen, zullen we zien dat bijna alle andere technologische strategieën de nood aan reservecapaciteit slechts deels kunnen verlagen.

### **Strategie 2: Overdimensioneren van de hernieuwbare energieproductie**

Een andere manier om elektriciteitstekorten te vermijden is het installeren van meer zonnepanelen en windturbines. Als de geïnstalleerde capaciteit van zonnepanelen gedimensioneerd is op de kortste en donkerste winterdagen, en de geïnstalleerde capaciteit van windturbines wordt afgestemd op de laagste windsnelheden, dan wordt het risico op elektriciteitstekorten veel kleiner.

Het voor de hand liggende nadeel is dat er tegelijk een overaanbod van hernieuwbare elektriciteit ontstaat voor de grootste tijd van het jaar.

Als er te veel hernieuwbare energie is, dan moet de productie van windturbines en zonnepanelen worden beperkt. Het probleem is dat op die manier de totale elektriciteitsopbrengst van zonnepanelen of windturbines gedurende hun levensduur afneemt, terwijl de energie die nodig is om ze te produceren, te installeren en te verbinden dezelfde blijft. Dat betekent dat een zonnepaneel minder duurzaam wordt.

Het 'vernietigen' van duurzame energieproductie neemt spectaculair toe naarmate wind en zon een groter aandeel uitmaken van de totale elektriciteitsproductie. Wetenschappers berekenden dat een Europees elektriciteitsnetwerk bestaande uit 60% wind- en zonne-energie een overdimensionering vereist die gelijk is aan twee keer de piekvraag naar elektriciteit. Dat resulteert in 300 TWh overtollige elektriciteit per jaar -- 10% van de huidige jaarlijkse elektriciteitsproductie in Europa.

### **Bij een aandeel van 100% wind- en zonne-energie is het elektriciteitsoverschot groter dan het energieverbruik.**

Bij een aandeel van 80% wind en zon moeten er zes keer meer windturbines en zonnepanelen worden gebouwd, terwijl de overtollige elektriciteit oploopt tot 60% van het totale jaarlijkse verbruik. Bij een aandeel van 100% wind en zon moet de productiecapaciteit tien keer groter zijn, en is de overtollige elektriciteit groter dan het jaarlijkse elektriciteitsverbruik in Europa. [21-23]

Dit betekent dat er tot tien keer meer zonnepanelen en windturbines moeten worden gebouwd. De energie die nodig is voor deze infrastructuur zou de overgang naar hernieuwbare elektriciteit totaal onzinnig maken, zeker wat zonne-energie betreft. Als we ervan uitgaan dat het twee tot vier jaar duurt eer een zonnepaneel de energie heeft terugverdiend die de productie ervan kostte, dan zou een overdimensionering met een factor tien daar 20 tot 40 jaar van maken.

Aangezien een zonnepaneel maar 30 jaar meegaat, wil dat zeggen dat de productie ervan meer energie kan kosten dan het paneel gedurende zijn gehele levensduur oplevert. Wind blijft voordelig omdat de terugverdientijd korter is, maar ook in dit geval wordt het verschil met fossiele brandstoffen een stuk kleiner.

### **Strategie 3: Europees Elektriciteitsnet**

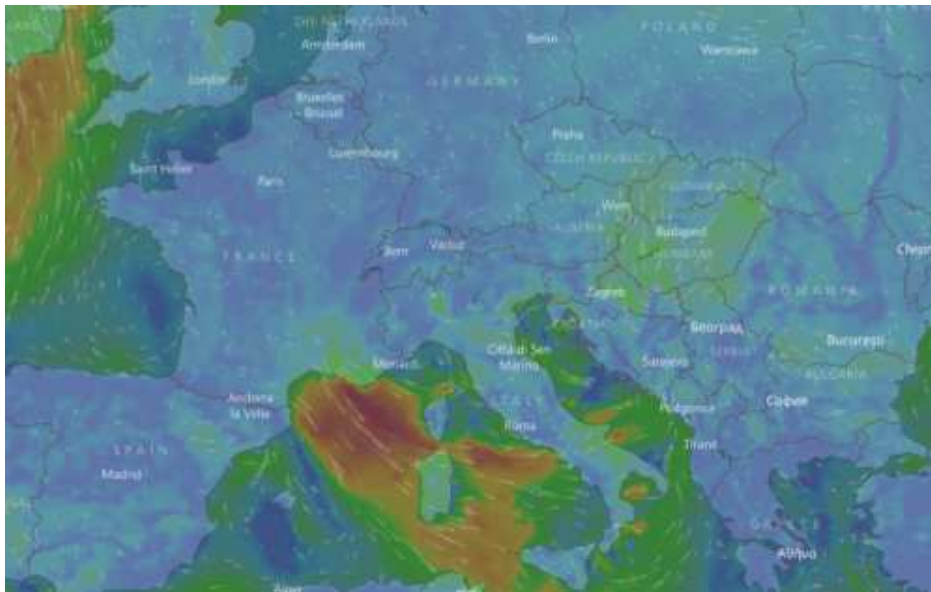
De variabiliteit van zon en wind kan ook worden opgevangen door hernieuwbare energiebronnen met elkaar te verbinden over een geografisch uitgestrekt gebied. [19] Bijvoorbeeld: als er in Denemarken te veel wind is, en in Italië te weinig, dan kan de Deense windenergie via het elektriciteitsnetwerk naar Italië worden getransporteerd.

Deze strategie biedt ook de mogelijkheid om verschillende soorten hernieuwbare energiebronnen met elkaar te combineren, zoals energie uit golven en getijden. [3] Bovendien laat interconnectie toe om de reservecapaciteit van klassieke energiecentrales te delen.

Hoewel het huidige elektriciteitsnetwerk zich over heel Europa uitstrekt, is het lang niet krachtig genoeg om dit idee in de praktijk te brengen. Er zijn dus nieuwe hoogspanningsverbindingen nodig. Zo'n 'supergrids' zijn onderdeel van een reeks ambitieuze plannen voor hernieuwbare energie, vooral in Europa. [25] Maar hetzelfde probleem duikt op: deze strategie impliceert dat we de infrastructuur gaan overdimensioneren. [19]

Voor een Europees elektriciteitsnet met een aandeel van 60% zon en wind moet de capaciteit van het hoogspanningsnetwerk zeven keer groter worden. Als individuele Europese landen hun gevoeligheden over nationale energieverzekering aan de kant schuiven, en de reservecapaciteit optimaal over het continent zou worden verspreid, dan kan het met een

"slechts" drie keer grotere transmissiecapaciteit. Voor een netwerk met een aandeel van 100% wind en zon moet het hoogspanningsnetwerk twaalf keer krachtiger worden dan vandaag. [21][26]



Windkaart van Europa, 2 september 2017, 23h48. Bron: [Windy](#).

Er zijn drie problemen met het uitbreiden van de transmissiecapaciteit. Ten eerste kost het bouwen van hoogspanningsmasten, funderingen, stroomkabels, substations, enzovoort heel veel energie en andere grondstoffen. Deze moeten ook in rekening worden gebracht als er een levenscyclusanalyse wordt gemaakt van een 'duurzaam' elektriciteitsnetwerk. De overgedimensioneerde hoogspanningslijnen zullen slechts een deel van de tijd worden gebruikt, waardoor de capaciteitsfactor van het transmissienetwerk zal dalen.

### **Zelfs met twaalf keer de huidige transmissiecapaciteit is er 65 dagen per jaar een stroomtekort.**

Ten tweede introduceert het transport van elektriciteit energieverliezen, wat betekent dat er meer windturbines en zonnepanelen moeten worden gebouwd om dit verlies goed te maken. Ten derde verloopt het aanleggen van nieuwe hoogspanningslijnen bijzonder moeizaam -- het duurt tot tien jaar eer een plan werkelijkheid wordt. [20][25] Bureaucratische rompslomp is niet de enige reden: hoogspanningslijnen hebben een ingrijpende impact op het landschap en krijgen meestal te maken met lokale oppositie.

Zelfs met een 'supergrid' blijft er de mogelijkheid dat er op bepaalde dagen niet voldoende elektriciteit is. Met een aandeel van 100% wind en zon en twaalf keer de huidige transmissiecapaciteit in Europa is er nog steeds een reservecapaciteit nodig die gelijk is aan 15% van de totale jaarlijkse elektriciteitsconsumptie. [28]

Zelfs in het Verenigd Koninkrijk, waar relatief gezien erg veel hernieuwbare energie te oogsten valt, zou een netwerk dat windturbines, zonnepanelen, getijdencentrales en golfslaggeneratoren met elkaar combineert, nog altijd 65 dagen per jaar tegen een elektriciteitstekort aankijken. [29]

## Strategie 4: Energieopslag

Een laatste strategie om het aanbod van energie in overeenstemming te brengen met de vraag, is energieopslag. Op momenten dat er meer hernieuwbare energie wordt geproduceerd dan er nodig is, wordt die opgeslagen voor gebruik in de toekomst, wanneer er een tekort is. Energieopslag maakt komaf met het probleem van overtollige hernieuwbare energie, en het is de enige strategie die een reservecapaciteit van fossiele energiecentrales overbodig kan maken, tenminste in theorie. In praktijk botst de opslag van energie op een aantal obstakels.

Ten eerste: hoewel er geen nood is aan het bouwen en onderhouden van een reservecapaciteit van fossiele energiecentrales, wordt dit voordeel teniet gedaan door de bouw en het onderhoud van de energieopslag. Ten tweede hebben alle opslagtechnologieën laad- en ontladaverliezen, en bijgevolg zijn er meer windturbines en zonnepanelen nodig om dit verlies te compenseren.

Onderzoek heeft uitgewezen dat het efficiënter kan zijn om windenergie te vernietigen dan op te slaan: de energie die nodig is voor het bouwen en onderhouden van de energieopslag, is groter dan de energie die verloren gaat als de turbine wordt stilgelegd. [23]

Wetenschappers hebben uitgerekend dat er voor een Europees netwerk met 100% hernieuwbare energie (670 GW wind, 810 GW zon), zonder reservecapaciteit, een energieopslag nodig is die 1,5 keer zo groot is als het gemiddelde maandelijks verbruik. Dat is 400 TWh, zonder rekening te houden met de laad- en ontladaverliezen.[32-34]

Als we op elektrische auto's rekenen om het surplus van hernieuwbare elektriciteit op te slaan, dan zouden hun batterijen 60 keer groter (of efficiënter) moeten zijn.

Om een idee te geven wat dat betekent: volgens de meest optimistische schattingen van Europa's capaciteit voor pompcentrales is 80 TWh [35], terwijl het omwisselen van alle auto's door elektrische voertuigen met een batterij van 30 kWh zou resulteren in een energieopslag van 7.5 TWh.

Met andere woorden: als we op elektrische auto's rekenen om het surplus van hernieuwbare elektriciteit op te slaan, dan zouden hun batterijen 60 keer groter (of efficiënter) moeten zijn. En dan houden we er niet eens rekening mee dat elektrische auto's [het elektriciteitsverbruik flink zouden doen stijgen](#).

Als we uitgaan van een laad- en ontlad-efficiëntie van 85%, dan zou het produceren van 460 TWh lithium-ion batterijen 644 miljoen Terajoule primaire energie vragen, wat overeenkomt met 15 keer het jaarlijkse primaire energieverbruik in Europa.[36] Deze investering moet minimaal elke twintig jaar gebeuren, want dat is de meest optimistische schatting voor de levensduur van een li-ion batterij. Er zijn veel andere technologieën voor het opslaan van energie, maar die hebben allemaal unieke nadelen die ze onaantrekkelijk maken bij gebruik op grote schaal. [37-38]

## Overdimensioneren van de Infrastructuur

Conclusie: het berekenen van de duurzaamheid van hernieuwbare energie, [louter op basis van de energie die het kost om zonnepanelen en windturbines te bouwen](#), overschat de

duurzaamheid van een elektriciteitsnet gebaseerd op wind en zon. Als we willen dat het aanbod steeds aan de vraag voldoet, dan moeten we ook de energie in rekening brengen voor het overdimensioneren van de generatiecapaciteit en de transmissiecapaciteit, alsook voor de reservecapaciteit en/of de [energieopslag](#).

De nood om het hele systeem te overdimensioneren verhoogt ook de financiële investering en de tijd die het kost om een overgang te maken naar hernieuwbare energie.

Het combineren van de verschillende strategieën die hierboven worden beschreven is een synergetische aanpak die de duurzaamheid van een hernieuwbaar elektriciteitsnetwerk verhoogt, maar dit voordeel is niet groot genoeg om een fundamentele oplossing te bieden. [33][39-40]

Het bouwen van zonnepanelen, windturbines, transmissielijnen, reservecapaciteit en energieopslag met energie afkomstig van hernieuwbare energie is evenmin een oplossing: ook dan wordt een overdimensionering verondersteld, want we moeten de hernieuwbare energie-infrastructuur bouwen die de hernieuwbare energie-infrastructuur zal bouwen.

### **De Vraag Aanpassen aan het Aanbod**

Dit alles betekent niet dat een duurzaam elektriciteitsnetwerk onmogelijk is. Er is een vijfde strategie, die niet probeert om het aanbod aan de vraag aan te passen, maar daarentegen probeert om de vraag af te stemmen op het wisselende aanbod van wind- en zonne-energie. In dit scenario wordt hernieuwbare energie ideaal gezien alleen maar gebruikt als de zon schijnt of de wind waait.

Als we daarin zouden slagen, dan zou er helemaal geen nood zijn aan energieopslag, reservecapaciteit, of een overgedimensioneerde transmissie- en generatiecapaciteit. Alle energie die door zonnepanelen en windturbines wordt geproduceerd, zou ook worden gebruikt, zonder transmissieverliezen, laad- en ontladverliezen, of de nood om hernieuwbare energiecentrales stil te leggen. In feite zouden pas dan de nu bestaande levenscyclusanalyses van zonne-energie en windenergie geldig zijn.

Uiteraard is het onmogelijk om de energievraag ten alle tijd aan het wisselende aanbod aan te passen, aangezien niet alle energieverbruik kan worden uitgesteld tot het zonnig of winderig is. Maar als deze strategie prioriteit zou hebben, terwijl de andere (technologische) middelen een ondersteunende rol spelen, dan zou een hernieuwbaar elektriciteitsnet veel sneller, goedkoper en duurzamer kunnen worden gebouwd. Dat impliceert dat we afstappen van de verwachting dat we 24 uur per dag en 365 dagen per jaar zoveel elektriciteit hebben als we maar willen.

### **Als we de vraag aanpassen aan het wisselende aanbod, dan hebben we al deze extra infrastructuur niet nodig.**

Zelfs relatief kleine toegevingen kunnen een aanzienlijk effect hebben. Bijvoorbeeld, als het Verenigd Koninkrijk 65 dagen per jaar een elektriciteitstekort zou accepteren, dan zou het elektriciteitsverbruik helemaal op hernieuwbare energiebronnen kunnen steunen (wind, zon, golf, getijden), zonder de nood aan energieopslag, reservecapaciteit of een grote overdimensionering van hernieuwbare energiebronnen. [29]



Als deze vraag-strategie al wordt besproken, dan is de discussie meestal beperkt tot zogenaamd "slimme" apparaten zoals wasmachines en afwasmachines die automatisch aanslaan als er hernieuwbare energie is. Maar er is veel meer mogelijk.

Voor de komst van de Industriële Revolutie waren industrie en transport grotendeels afhankelijk van variabele hernieuwbare energiebronnen. De variabiliteit werd in grote mate opgelost door het aanpassen van de vraag naar energie. Bijvoorbeeld windmolens en zeilboten werkten alleen maar als het waaide.

In het volgende artikel zullen we zien dat dezelfde strategie ook succesvol kan worden toegepast op moderne industrie en goederentransport: [Geen wind? Geen trein: hernieuwbare energie zonder opslag.](#)

Kris De Decker

---

#### Verwante artikels:

- [Hernieuwbare energie vreet ruimte.](#)
  - [Zonnepanelen: steeds goedkoper, maar ook steeds minder duurzaam.](#)
  - [Batterijen maken van zonne-energie een CO2-intensieve energiebron.](#)
  - [Hernieuwbare energie op grote schaal is een illusie: er is een tekort aan grondstoffen.](#)
  - [Het dubbele dividend van lokale energie.](#)
- 

#### Bronnen:

[1] Swart, R. J., et al. [Europe's onshore and offshore wind energy potential, an assessment of environmental and economic constraints](#). No. 6/2009. European Environment Agency, 2009.

[2] Lopez, Anthony, et al. [US renewable energy technical potentials: a GIS-based analysis](#). NREL, 2012. See also [Here's how much of the world would need to be covered in solar panels to power Earth](#), Business Insider, October 2015.

[3] Hart, Elaine K., Eric D. Stoutenburg, and Mark Z. Jacobson. "[The potential of intermittent renewables to meet electric power demand: current methods and emerging analytical techniques](#)." *Proceedings of the IEEE* 100.2 (2012): 322-334.

[4] Ambec, Stefan, and Claude Crampes. [Electricity production with intermittent sources of energy](#). No. 10.07. 313. LERNA, University of Toulouse, 2010.

[5] Mulder, F. M. "[Implications of diurnal and seasonal variations in renewable energy generation for large scale energy storage](#)." *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 6.3 (2014): 033105.

[6] INITIATIVE, MIT ENERGY. "[Managing large-scale penetration of intermittent renewables](#)." (2012).

- [7] Richard Perez, Mathieu David, Thomas E. Hoff, Mohammad Jamaly, Sergey Kivalov, Jan Kleissl, Philippe Lauret and Marc Perez (2016), "[Spatial and temporal variability of solar energy](#)", Foundations and Trends in Renewable Energy: Vol. 1: No. 1, pp 1-44.  
<http://dx.doi.org/10.1561/27000000006>
- [8] [Sun Angle and Insolation](#). FTExploring.
- [9] [Sun position calculator](#), Sun Earth Tools.
- [10] Burgess, Paul. " [Variation in light intensity at different latitudes and seasons effects of cloud cover](#), and the amounts of direct and diffused light." *Forres, UK: Continuous Cover Forestry Group. Available online at [http://www.ccfg.org.uk/conferences/downloads/P\\_Burgess.pdf](http://www.ccfg.org.uk/conferences/downloads/P_Burgess.pdf). 2009.*
- [12] Schaber, Katrin, Florian Steinke, and Thomas Hamacher. "[Transmission grid extensions for the integration of variable renewable energies in europe: who benefits where?.](#)" *Energy Policy* 43 (2012): 123-135.
- [13] [German offshore wind capacity factors](#), Energy Numbers, July 2017
- [14] [What are the capacity factors of America's wind farms?](#) Carbon Counter, 24 July 2015.
- [15] Sorensen, Bent. [Renewable Energy: physics, engineering, environmental impacts, economics & planning](#); Fourth Edition. Elsevier Ltd, 2010.
- [16] Jerez, S., et al. "[The Impact of the North Atlantic Oscillation on Renewable Energy Resources in Southwestern Europe.](#)" *Journal of applied meteorology and climatology* 52.10 (2013): 2204-2225.
- [17] Eerme, Kalju. "[Interannual and intraseasonal variations of the available solar radiation.](#)" *Solar Radiation*. InTech, 2012.
- [18] Archer, Cristina L., and Mark Z. Jacobson. "[Geographical and seasonal variability of the global practical wind resources.](#)" *Applied Geography* 45 (2013): 119-130.
- [19] Rugolo, Jason, and Michael J. Aziz. "[Electricity storage for intermittent renewable sources.](#)" *Energy & Environmental Science* 5.5 (2012): 7151-7160.
- [21] Barnhart, Charles J., et al. "[The energetic implications of curtailing versus storing solar- and wind-generated electricity.](#)" *Energy & Environmental Science* 6.10 (2013): 2804-2810.
- [22] Schaber, Katrin, et al. "[Parametric study of variable renewable energy integration in europe: advantages and costs of transmission grid extensions.](#)" *Energy Policy* 42 (2012): 498-508.
- [23] Schaber, Katrin, Florian Steinke, and Thomas Hamacher. "[Managing temporary oversupply from renewables efficiently: electricity storage versus energy sector coupling in Germany.](#)" *International Energy Workshop, Paris*. 2013.

- [25] Szarka, Joseph, et al., eds. [\*Learning from wind power: governance, societal and policy perspectives on sustainable energy\*](#). Palgrave Macmillan, 2012.
- [26] Rodriguez, Rolando A., et al. "[Transmission needs across a fully renewable european storage system](#)." *Renewable Energy* 63 (2014): 467-476.
- [28] Becker, Sarah, et al. "[Transmission grid extensions during the build-up of a fully renewable pan-European electricity supply](#)." *Energy* 64 (2014): 404-418.
- [29] [Zero Carbon Britain: Rethinking the Future](#), Paul Allen et al., Centre for Alternative Technology, 2013
- [32] Heide, Dominik, et al. "[Seasonal optimal mix of wind and solar power in a future, highly renewable Europe](#)." *Renewable Energy* 35.11 (2010): 2483-2489.
- [33] Rasmussen, Morten Grud, Gorm Bruun Andresen, and Martin Greiner. "[Storage and balancing synergies in a fully or highly renewable pan-european system](#)." *Energy Policy* 51 (2012): 642-651.
- [34] Weitemeyer, Stefan, et al. "[Integration of renewable energy sources in future power systems: the role of storage](#)." *Renewable Energy* 75 (2015): 14-20.
- [35] [Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage](#), Marcos Gimeno-Gutiérrez et al., European Commission, 2013
- [36] De berekening is gebaseerd op de data uit het volgende artikel: [Batterijen maken van zonne-energie een CO2-intensieve energiebron](#). Kris De Decker, Lowtech Magazine, 2015.
- [37] Evans, Annette, Vladimir Strezov, and Tim J. Evans. "[Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration](#)." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.6 (2012): 4141-4147.
- [38] Zakeri, Behnam, and Sanna Syri. "[Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis](#)." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42 (2015): 569-596.
- [39] Steinke, Florian, Philipp Wolfrum, and Clemens Hoffmann. "[Grid vs. storage in a 100% renewable Europe](#)." *Renewable Energy* 50 (2013): 826-832.
- [40] Heide, Dominik, et al. "[Reduced storage and balancing needs in a fully renewable European power system with excess wind and solar power generation](#)." *Renewable Energy* 36.9 (2011): 2515-2523.