

Zon en wind zorgden voor forse verlaging in elektriciteitskosten

De ontwikkelingen in hernieuwbare energiebronnen gaan snel. Wat was het effect van de energieontwikkelingen in 2022 op de elektriciteitsprijzen?

IN HET KORT

- Zonne- en windenergie verlaagden de elektriciteitsprijzen voor alle consumenten substantieel.
- Zowel zonne- als windenergie vermindert de afhankelijkheid van gas en de gasprijs – en dus van de Russische politiek.
- Negatieve energieprijzen ontstaan met name door veel aanbod van zonne-energie, wat pleit voor thuisbatterijen.

REYER GERLAGH

Hoogleraar aan Tilburg University

MARTIJN SCHOOT UITERKAMP

Universitair docent aan Tilburg University

Het jaar 2022 was bijzonder. We kwamen bij van corona, en Rusland viel Oekraïne binnen. De gasprijzen, en in hun kielzog de elektriciteitsprijzen, piekten in augustus tot ongekende hoogten. De prijs van steenkool werd meegetrokken in de prijsvolatiliteit door beperkte toevocerapaciteit. Het gebruik van steenkool in de elektriciteitsproductie bleef stabiel ten opzichte van 2021 op 16,5 terawattuur en het gebruik van gas daalde van 55,5 tot 46,9 terawattuur.

De windproductie daarentegen steeg van 18 terawattuur in 2021 tot 21 in 2022, en zonne-energie steeg heel hard, van 11,5 in 2021 tot 17,7 terawattuur in 2022 (CBS, 2023). De hernieuwbare zonne- en windenergie leverden dus een fikse besparing op: Nederland hoefde minder uit te geven aan fossiele brandstoffen.

Maar naast lagere kosten aan fossiele brandstoffen, kunnen wind en zon ook de totale elektriciteitsprijzen verlagen. De marginale kosten van opwekking zijn immers nul. De vraag is echter hoe groot het effect op de prijzen is. In dit artikel onderzoeken we, via een korte analyse van de elektriciteitsprijzen in 2022, hoe hernieuwbare energieproductie en gas- en kolenprijzen de elektriciteitsprijzen in 2022 beïnvloed hebben.

Tevens onderzoeken we wat de effecten zijn van een verdere toename van het aanbod van wind- en zonne-energie. Dat is van belang omdat er zorgen zijn over de snelheid van de energietransitie. Er is congestie op het elektriciteitsnet en via salderen ontvangen eigenaren van zonnepanelen grote subsidies; mensen zijn bezorgd dat de kosten van de

snelle stijging van hernieuwbare energie misschien groter zijn dan de baten. Is dat terecht?

Model

Om de elektriciteitsprijzen te analyseren maken we gebruik van het merit-model. Dit model impliceert dat als het aanbod van hernieuwbare energie toeneemt, eerst de brandstof met de hoogste marginale kosten uit de markt wordt gedrukt, namelijk gas. Als er zo veel hernieuwbare energie is dat er geen gas meer nodig is, wordt de elektriciteitsprijs niet meer bepaald door de gasprijs, maar door die van de brandstof met de op één na hoogste marginale kosten, in dit geval de steenkoolprijs. Bij nog meer hernieuwbare energie wordt de prijs bepaald door de marginale kosten van wind en zon: nul. Omdat de meeste zon- en windparken nog niet de optie hebben om uitgeschakeld te worden bij te veel aanbod, zien we zelfs negatieve prijzen.

Het merit-model voorspelt dus dat de afhankelijkheid van de elektriciteitsprijs ten opzichte van de gasprijs dalend is in de hoeveelheid hernieuwbare energie, terwijl de afhankelijkheid van de steenkoolprijs niet alleen laag is bij weinig zon en wind omdat dan gas de prijs bepaalt, maar ook bij veel zon en wind, omdat de prijs dan naar nul daalt.

In de literatuur is het merit-model eerder toegepast om het totale effect van hernieuwbare energie op de spotmarktprijzen te analyseren, waarbij gebruik wordt gemaakt van simulatiemodellen voor uurdata (Sensfuß et al., 2008) of empirische regressie-analyses (Cludius et al., 2014; Clò et al., 2015). In onze analyse daarentegen bekijken we de individuele effecten van de hernieuwbare energieproductie en de gas- en kolenprijzen op de elektriciteitsprijzen, wat ons in staat stelt om het merit-order-effect direct te linken aan de prijzen van andere energiebronnen.

Data

Het jaar 2022 is bij uitstek geschikt om het merit-model te testen vanwege de volatiele prijzen voor gas, kolen en elektriciteit. We voeren een regressieanalyse uit om het gemiddelde effect van de zon- en windproductie op de elektriciteitsprijzen te vinden. Onze studie is het best vergelijkbaar met de analyse van Jäger (2023) voor Duitsland; helaas is de productie van zonne-energie per uur voor Nederland op het moment van schrijven van dit artikel niet publiek beschikbaar. We gebruiken daarom windsnelheid en zon- en windkracht per uur – data van het KNMI – als instrument



voor niet-geobserveerde hernieuwbare elektriciteitsproductie.

Voor windenergie benaderen we de productie per uur door de totale jaarlijkse opbrengst (21 terawattuur) te delen door de cumulatieve windsnelheid, uitgedrukt in meter per seconde. Hiermee vinden we een opbrengst van 5,0 gigawattuur per meter per seconde. Voor zon delen we de totale opbrengst van 17,7 terawattuur door de cumulatieve zonnekracht, en vinden een opbrengst van 0,40 gigawattuur per Joule per vierkante centimeter.

Zon- en windproductie zijn genormaliseerd zodat het gemiddelde 0 is en het minimum -1 ; dat wil zeggen, we nemen de relatieve verandering ten opzichte van het gemiddelde mee in de analyse.

De periodiciteit in de productie op dag-, week- en jaarniveau modelleren we met Fourier-getransformeerde dummyvariabelen om rekening te houden met seizoenpatronen.

Ten slotte gebruiken we elektriciteitsprijzen, per uur beschikbaar, van Ember.nl. Uit deze data blijkt dat de gemiddelde prijs (vóór belasting) rond de 240 euro per megawattuur lag, oftewel 24 cent per kilowattuur. We gebruiken in onze berekeningen de kostprijs van elektriciteit op basis van gas (of steenkool) inclusief de CO_2 -prijs, uitgaande van een standaardrendement van elektriciteitsproductie.

Invloed van hernieuwbare energie

We bekijken twee versies van het regressiemodel. In het eerst model nemen we enkel de zon- en windproductie mee (tabel 1). Omdat de groothandelprijzen in euro's per megawattuur zijn, moeten we de coëfficiënten door 10 delen om de prijsverandering in cent per kilowattuur te krijgen. We zien een gemiddelde prijs van 24 cent per kilowattuur, en dat zonne-energie in 2022 de elektriciteitsprijs met ongeveer 6,2 cent per kilowattuur verlaagde en windenergie met 11 cent per kilowattuur. Dat is substantieel. Het model laat een grote verandering zien sinds 2011, toen zon nog geen waarneembaar prijseffect had (Mulder en Scholtens, 2013)

Zon en wind verminderen dus niet alleen de uitgaven voor Nederland aan kolen en gas door het gebruik van deze brandstoffen te verminderen, maar het vermindert ook de uitgaven voor bedrijven en huishoudens door de te betalen elektriciteitsprijs te verlagen – en aanzienlijk. Een eerste

Merit-modeluitkomsten op elektriciteitsprijzen

TABEL 1

	Model 1	Model 2
Prijs kolen + CO_2		0,59**
Prijs gas + CO_2		0,68***
Zon	-62***	-158***
Wind	-110***	13
Kolenprijs \times zon		0,73***
Kolenprijs \times wind		-0,14
Gasprijs \times zon		-0,18***
Gasprijs \times wind		-0,28***
Constante	241***	-65*
AR(1)	0,91***	0,81***
R ² -adj	0,94	0,95

*** Significant op eenprocentniveau

Noot: $n = 8759$. We rapporteren cumulatieve effecten. Zon en wind zijn genormaliseerd op gemiddeld 0, en minimum -1 , wat betekent dat de coëfficiënten de gemiddelde effecten zijn. Alle regressies gebruiken uur, dag-in-de-week en seizoeneffecten door middel van Fourier-series.

Data: ENTSO-E; KNMI; Refinitiv | ESB

ruwe schatting is dat zonne-energie de uitgaven aan elektriciteit laat dalen met 6,2 cent per kilowattuur maal 120 terawattuur is 7,4 miljard euro. Ook huishoudens zonder zonnepanelen profiteren daarom van zonnepanelen.

De impliciete subsidies op zonnepanelen aan eigenaren door salderen worden ruim terugverdiend door lagere kosten – voor alle Nederlanders. De kosten van deze salderingsregel komen namelijk uit op 15 cent per kilowattuur \times 17,7 terawattuur, dus 2,7 miljard euro.

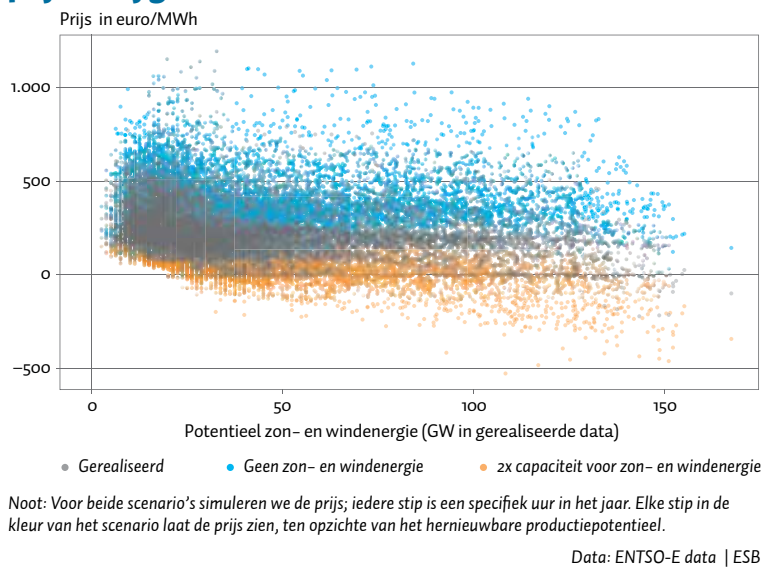
Subsidies voor zonnepanelen op daken van huishoudens zijn dus een voorbeeld van een win-win voor huishoudens met en zonder zonnepanelen. De subsidies worden indirect betaald uit verlaagde winsten van de steenkool- en gascentrales. Oftewel: de vervuiler betaalt (zie Liski en Vehviläinen (2020) voor een vergelijkbare berekening voor Scandinavië).

Gasprijs minder bepalend

In discussies over de elektriciteitsprijs gaat de meeste aandacht meestal uit naar de gasprijs, als bepalende factor voor de elektriciteitsprijs (Gasparella et al., 2023). In het tweede model voegen we de gas- en kolenprijs toe voor een door-

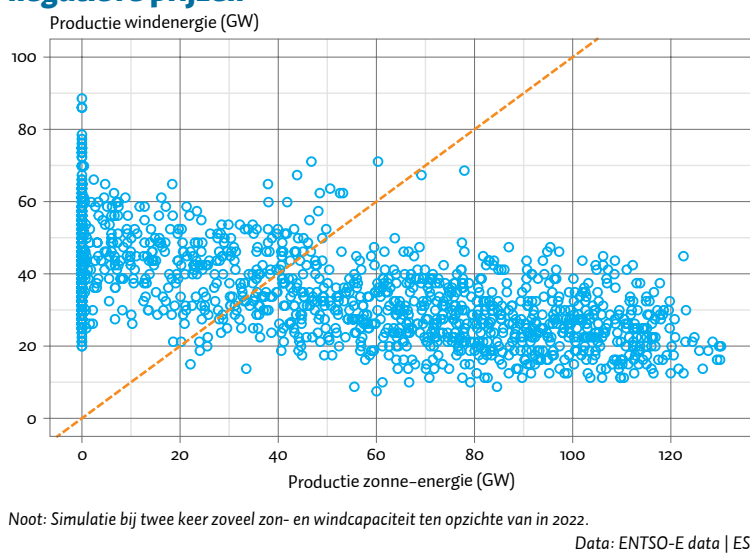
Actuele prijzen en simulatie van elektriciteitsprijzen bij geen of twee keer zoveel zon- en wind

FIGUUR 1



Productie van zon- en windenergie bij negatieve prijzen

FIGUUR 2



snee elektriciteitscentrale. Daarnaast interacteren we zonne- en windenergie met de gas- en kolenprijs. Wij vinden dat, in tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, de prijs van gas en de prijs van steenkool beide een ongeveer gelijk effect hebben (0,59 en 0,68) op de prijs van elektriciteit in 2022 (tabel 1). Vanwege de normalisatie van de wind- en zon-variabele is dit het gemiddelde effect in 2022.

Zowel zonne- als windenergie vermindert de afhankelijkheid van gas, (-0,18, -0,28) en daarmee de relatie tussen de prijs van gas en die van elektriciteit. Hernieuwbare energie maakt ons dus minder gevoelig voor de Russische politiek. Voor steenkool is de relatie minder eenduidig. Het effect van zon is positief (0,73); dat suggereert dat zon een verschuiving van gas naar steenkool veroorzaakt. Het effect van wind is niet significant (-0,14). Mogelijk zorgt wind soms voor een grotere rol voor kolen, en op andere uren voor een kleinere rol.

Ter validatie passen we de twee modellen ook toe op 2023, waarin de prijzen van gas en steenkool stabiel waren (resultaten niet gepresenteerd in dit artikel). Dat maakt schatten van het merit-model moeilijker. De regressie-resultaten zijn vergelijkbaar, met twee uitzonderingen. Ten eerste zijn de prijsverlaging door zon en wind grofweg gehalveerd; er was minder hernieuwbare energie en steenkool en gas waren goedkoper. Ten tweede is het effect van de kolenprijs insignificant omdat de steenkoolprijs onvoldoende variabel is. De volatiele steenkoolprijzen van 2022 zijn dus nodig om het merit-model te schatten.

Gevolgen meer hernieuwbare energie

De elektriciteitsprijzen zouden zonder het aanbod van hernieuwbare energie gemiddeld 130 euro per megawattuur hoger zijn geweest in 2022. Dat blijkt als we model 2 in tabel 1 gebruiken om de prijsverandering te simuleren van een scenario zonder hernieuwbare energie ten opzichte van de daadwerkelijke prijzen in 2022. Figuur 1 laat de gesimuleerde prijzen zien als er geen hernieuwbare voorziening was. Elke stip correspondeert met één specifiek uur van het jaar en geeft de gesimuleerde prijs op dat uur ten opzichte van het hernieuwbare productiepotentieel.

Kansen voor batterijen

We simuleren tevens een scenario waarin het aanbod van zowel windturbines als zonnepanelen verdubbelt. In dat geval vinden we een zeer groot aantal uren met negatieve prijzen. Dat duidt op een overschot van energie en betekent dat we dan in een nieuwe fase van de energietransitie komen, waarin opslag relevanter wordt. In Californië leveren batterijen een groot aandeel in het afvlakken van de prijs in de vroege avonduren (The New York Times, 2024). Vanuit technisch oogpunt is de ideale plaatsing van opslagcapaciteit (batterijen of elektrolyse) dicht bij de bron om de belasting van hernieuwbare energie op het gehele netwerk tot een minimum te beperken. Daarnaast is de (financiële) meerwaarde het grootst tijdens uren met lage prijzen.

Vooral opslag van zonne-energie is van belang. Figuur 2 geeft een beeld van de aanbodzijde, tijdens uren met negatieve prijzen in onze simulatie met twee keer zoveel zon- en windcapaciteit als de situatie in 2022. We zien dat in die uren zonnepanelen substantieel meer opwekken dan windturbines, wat consistent is met de observatie in figuur 3 dat minimumprijzen vooral aan het begin van de middag plaats vinden – wanneer de zon relatief veel energie oplevert.

Een groot deel van de zonne-energie wordt geproduceerd door huishouden. Opslag in de vorm van thuisbatterijen ligt daarom voor de hand. Een veelgehoorde kritische kanttekening is dat grootschalige batterijopslag juist zal leiden tot meer netcongestie omdat alle batterijen tegelijkertijd gaan opslaan op tijden van lage prijzen (CE Delft, 2023). Onze analyse laat echter zien dat tijdens deze goedkoopste uren er overwegend meer zonne-energie dan windenergie geproduceerd wordt. Op die momenten wordt dus het merendeel van de energie lokaal opgewekt, waardoor lokale opslag juist voorkomt dat meer zonne-energie verder het netwerk in wordt gestuurd.

Daarnaast kunnen dynamische prijscontracten en slimme prijsprikkels ingezet worden om de flexibele ener-

gievraag in de gewenste richting te sturen. Veldtesten laten zien dat met behulp van slimme sturingsmechanismen zowel thuis- als buurtbatterijen actief kunnen bijdragen aan de reductie van lokale netcongestie (Reijnders et al., 2020; Van Westering en Hellendoorn, 2020). Deze bevindingen roepen vragen op over sommige conclusies uit de studie van CE Delft (2023). Helaas zijn de ruwe data van de berekeningen van CE Delft (2023) niet beschikbaar voor reproductie en gevoeligheidsanalyse. We willen in een vervolgstudie kijken of we beter inzicht kunnen krijgen in de mogelijke rol van batterijen.

Conclusies en aanbevelingen

Terwijl de energiecrisis, voornamelijk veroorzaakt door verstoorde gasleveringen door Rusland, de elektriciteitsprijzen in 2022 aanzienlijk deed stijgen, hielpen hernieuwbare energiebronnen om de stijging van de gemiddelde prijzen te beheersen. In vele uren veroorzaakten hernieuwbare energiebronnen een verschuiving van gas naar steenkool als bepalende factor van de elektriciteitsprijzen.

Wanneer we blijven investeren in hernieuwbare elektriciteit – wat we moeten doen om klimaatverandering tegen te gaan – zullen we steeds meer opslagcapaciteit nodig hebben. Op basis van onze beoordeling van de gegevens zou opslag dichtbij of door huishoudens een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de opslagstrategie.

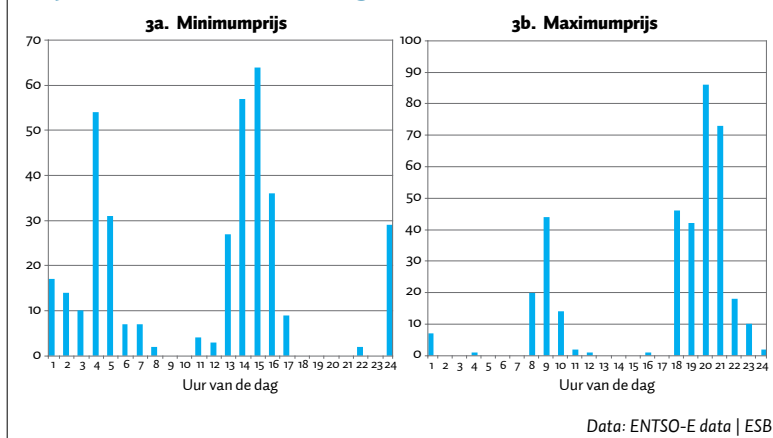
In de budgettaire bijlage van het hoofdlijnenakkoord staat dat het salderen per 2027 afgeschaft moet worden. Een achterliggend idee is dat dit huishoudens stimuleert om met batterijen hun eigen zonnestroom op te slaan. Thuisbatterijen zijn echter niet rendabel voor consumenten als ze uitsluitend worden gebruikt voor opslag van eigen zonnestroom (CE Delft, 2023; Energeia, 2024; Tweakers, 2024). Maar thuisbatterijen zijn mogelijk wél rendabel als ze worden ingezet voor het balanceren van het net, of de buurt. Daarvoor is het dus juist belangrijk dat huishoudens bij afgifte van stroom aan het net via de thuisbatterij belasting terugkrijgen (salderen).

Het lijkt ons van belang dat huishoudens met opslagcapaciteit als echte prosumenten kunnen opereren, dat wil zeggen belasting kunnen salderen (geen dubbele belastingen), ook als de salderingsregels in de toekomst veranderen. Hiermee kan de overheid de opslag van hernieuwbare energie stimuleren, net zoals ze de afgelopen jaren zonnepanelen heeft gestimuleerd.

Het effect op netcongestie onder zulke regels moet verder onderzocht worden. Met slim beleid zijn batterijen complementair aan zonnepanelen, hetgeen tijd geeft voor het verzwaren van het elektriciteitsnetwerk. Voor zo'n belangrijke ontwikkeling lijkt ons een degelijke kwantitatieve analyse op zijn plaats.

Frequentie van minimum- en maximumdagprijzen per uur van de dag

FIGUUR 3



Literatuur

- CBS (2023) *Aandeel hernieuwbare elektriciteit met 20 procent gestegen in 2022*. CBS Nieuwsbericht, 6 maart.
- CE Delft (2023) *Thuis- en buurtbatterijen: Kansen, knelpunten en beleidsaanbevelingen*. CE Delft Rapport, 23.230315.183.
- Clò, S., A. Cataldi en P. Zoppoli (2015) The merit-order effect in the Italian power market: The impact of solar and wind generation on national wholesale electricity prices. *Energy Policy*, 77, 79–88.
- Cludius, J., H. Hermann, F.C. Matthes, en V. Graichen (2014) The merit order effect of wind and photovoltaic electricity generation in Germany 2008–2016: Estimation and distributional implications. *Energy Economics*, 44, 302–313.
- Energeia (2024) *Buurt- en thuisbatterijen niet de oplossing voor netcongestie*. Energeia Nieuwsbericht, 5 januari.
- Gasparella, A., D. Koolen en A. Zucker (2023) *The merit order and price-setting dynamics in European electricity markets*. Europese Commissie, JRC134300. Te vinden op publications.jrc.ec.europa.eu.
- Gelabert, L., X. Labandeira en P. Linares (2011) An ex-post analysis of the effect of renewables and cogeneration on Spanish electricity prices. *Energy Economics*, 33 (supplement 1), S59–S65.
- Jäger, N.A. (2023) *The shift from gas to coal: The merit-order effect of renewable energy in Germany during the 2022 energy crisis*. MSc Proefschrift, MSc Economics, Tilburg University.
- Liski, M. en I. Vehviläinen (2020) Gone with the wind? An empirical analysis of the equilibrium impact of renewable energy. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 7(5), 873–900.
- Mulder, M. en B. Scholtens (2013) The impact of renewable energy on electricity prices in the Netherlands. *Renewable Energy*, 57, 94–100.
- Reijnders, V.M.J.J., M.D. van der Laan en R. Dijkstra (2020) Energy communities: a Dutch case study. In: F. Sioshansi (red.), *Behind and beyond the meter*. Cambridge (MA): Academic Press, p. 137–155.
- Sensfuß, F., M. Ragwitz en M. Genoese (2008) The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. *Energy Policy*, 36(8), 3086–3094.
- The New York Times (2024) Giant batteries are transforming the way the U.S. uses electricity. *The New York Times*, 7 mei.
- Tweakers (2024) *Handelen op de onbalansmarkt: Nieuw verdienmodel voor een thuisaccu*. Tweakers Review, 25 februari..
- Westering, W. van, en H. Hellendoorn (2020) Low voltage power grid congestion reduction using a community battery: Design principles, control and experimental validation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 114, 105349.