

# Winddroogtes en winterkou bedreigen Europese energiezekerheid

KARIN VAN DER WIEL (KNMI), LAURENS STOOP (IMAU, KNMI), FRANK SELTEN (KNMI)

**Door de energietransitie wordt zowel de energieproductie als het energieverbruik in toenemende mate afhankelijk van de weersomstandigheden. Daardoor wordt de maatschappij op een nieuwe manier gevoelig voor de gevolgen van het weer en eventuele veranderingen daarin. In dit artikel onderzoeken we de meteorologische condities die leiden tot situaties met een hoog potentieel energietekort.**

## Energietransitie

Om verdere klimaatverandering te voorkomen moet de mondiale uitstoot van broeikasgassen drastisch verminderd worden. Een noodzakelijke stap om dat doel te bereiken is de transitie van fossiele brandstoffen als bron van energie naar hernieuwbare energiebronnen. Eén van de problemen daarbij is de sterke weersafhankelijkheid van de energieproductie uit wind en zon. Dit maakt de transitie ingewikkeld, want ook in periodes met ongunstig weer moet de levering van elektriciteit gegarandeerd worden.

In deze studie onderzoeken wij situaties met een groot ‘potentieel energietekort’ waarin een groot verschil optreedt tussen energievraag en energieproductie uit wind en zon. Wanneer deze situaties bekend en begrepen zijn, kan men daar rekening mee houden in het ontwerp van het toekomstige energienet zodanig dat, wanneer de productie van windenergie op de Noordzee tegenvalt, of wanneer de vraag naar energie uitzonderlijk hoog is, de continue levering van elektriciteit niet in de problemen komt.

Technologische oplossingen die waarschijnlijk van groot belang zullen zijn in een toekomstig hoog-hernieuwbaar energiesysteem zijn, onder andere, back-up biomassa of nucleaire energiecentrales (waarvan de energieproductie precies gepland kan worden), verbindingen tussen energienetten over grote gebieden (zodat er energie geïmporteerd kan worden in geval van een lokaal tekort), batterijen (voor opslag in tijden van overproductie), en vraagsturing (dynamische elektriciteitsprijzen, smart grids). In een robuust toekomstig energiesysteem zullen de situaties die wij hier analyseren, hoog potentieel energietekort, niet tot een werkelijk tekort en stroomuitval mogen leiden.

Onze analyse is gebaseerd op een groot ensemble-experiment met het mondiale klimaatmodel EC-Earth (v2.3, ~100

km horizontale resolutie; Hazeleger et al., 2012). Dit experiment heeft 2000 jaar gesimuleerd weer opgeleverd voor het huidige klimaat. Wij hebben vervolgens de volledige 2000 jaar aan weergegevens doorgerekend met een energiemodel (Kader 1) en zo een schatting van  $2000 \times 365$  dagen aan energieproductie en energievraag verkregen. Deze grote hoeveelheid gegevens maakt het mogelijk om extreme situaties in detail te bestuderen, aangezien deze extremen werkelijk in de modelgegevens voorkomen. Er hoeven dus geen statistische aannames gemaakt te worden over de kenmerken van de staart van de verdeling, in tegenstelling tot studies die gebaseerd zijn op relatief korte tijdreeksen van waarnemingen. We analyseren een groot West-Europees gebied (15 landen) en nemen aan dat elektriciteit instantaan over het gehele gebied gedeeld kan worden (‘copper-plate assumption’). Variaties op tijdschalen korter dan één dag worden niet meegenomen, in werkelijkheid moeten ook op zeer korte tijdschalen energievraag en -productie in balans zijn. Ondanks deze twee aannames geeft de analyse relevante meteorologische inzichten in situaties van groot potentieel energietekort in een energiesysteem dat sterk afhankelijk is van hernieuwbare energiebronnen.

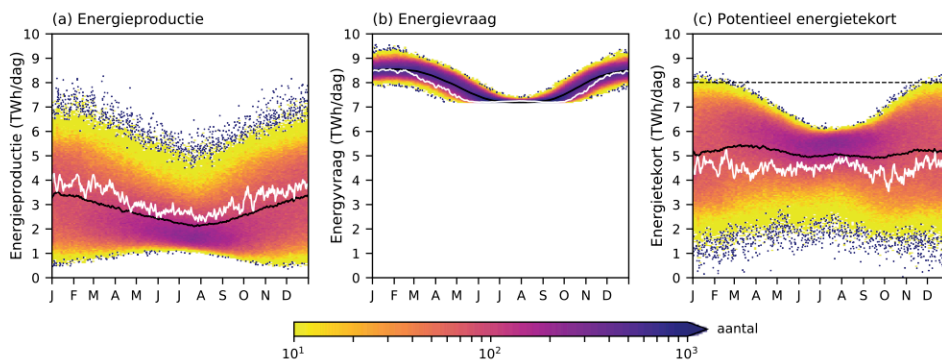
## Jaarlijkse gang van energiev variabelen

De jaargemiddelde productie van hernieuwbare energie in ons model is 2.7 TWh/dag. Doordat het ‘s winters gemiddeld harder waait dan ‘s zomers, wordt er dan gemiddeld meer energie geproduceerd (zwarte lijn in Figuur 1a), ondanks het gegeven dat de dagen in de zomer langer zijn, waardoor zonne-energie dan rendabeler is dan in de winter. Voor de ontwikkeling van een stabiel energienet met een continue levering van elektriciteit is echter de variabiliteit van energieproductie van groter belang dan de gemiddelde productiewaarden. De standaard afwijking van hernieuwbare energieproductie is 1.1

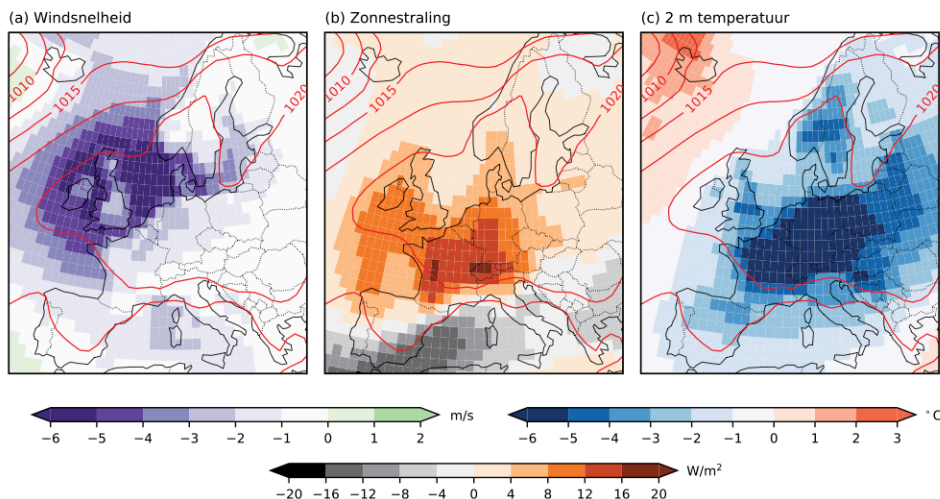
TWh/dag; deze variabiliteit is groter in de wintermaanden dan in de zomermaanden (groter kleurenvlak in Figuur 1a).

De gesimuleerde waarden liggen iets lager dan wat gevonden wordt op basis van de waarnemingen (ERA-interim data; Dee et al., 2011; jaargemiddelde productie: 3.2 TWh/dag, standaard afwijking: 1.3 TWh/dag). Deze onderschatting in het model is redelijk constant gedurende het jaar. Er is geen correctie op de gesimuleerde meteorologische variabelen toegepast.

De gemodelleerde energievraag is gemiddeld 7.9 TWh/dag, en ligt ‘s winters hoger dan ‘s zomers van-



Figuur 1. 2D histogram van (a) energieproductie, (b) energievraag, (c) potentieel energietekort (TWh/dag). Kleuren geven het aantal dagen met een bepaalde energieproductie, tekort of vraag als functie van de dag in het jaar weer (de gegevens zijn geteld in bins van 3 dagen breed, 0.05 TWh/dag hoog), blauwe stipjes zijn de outliers (slechts 1 waarneming per bin), de zwarte lijn geeft de gemiddelde jaarlijkse gang aan, de witte lijn de gemiddelde jaarlijkse gang uit ERA-interim. De gestreepte lijn in (c) geeft de drempel voor 1-in-10 jaar potentieel tekort situaties aan.



**Figuur 2.** Typisch weerpatroon ten tijde van een 1-in-10 jaar situatie met hoog potentieel energietekort. Luchtdruk aan het oppervlakte (hPa, rode contouren, interval 2.5 hPa) en in kleuren de anomalie van (a) 10 m windsnelheid (m/s), (b) inkomende zonnestraling ( $W/m^2$ ), (c) 2 m temperatuur ( $^{\circ}C$ ).

wege het hoge energieverbruik van verwarmingsinstallaties (Figuur 1b). Er is weinig variatie in het energiegebruik ‘s zomers, vooral doordat de toename van de energievraag voor airconditioning kleiner is dan die voor verwarming (Kader 1). EC-Earth is ‘s zomers wat te koud, waardoor de kleine verhoging van energievraag door airconditioning gemist wordt, maar in de ERA-interim data is dit effect wel te zien. Deze temperatuurafwijking is echter niet van groot belang voor deze studie, want we zullen later zien dat het risico op tekorten voornamelijk in de wintermaanden ligt.

De gesimuleerde energievraag ligt hoger dan de gesimuleerde productie, en dit leidt tot een potentieel energietekort (Figuur 1c). Gemiddeld over het ensemble is het potentieel tekort vrij constant gedurende het jaar: 5.1 TWh/dag. Variabiliteit rond dit gemiddelde is hoog, voornamelijk in de winter. We selecteren de 1-in-10 jaar gebeurtenissen op basis van het berekende potentieel energietekort, met een selectiedrempel van 8.0 TWh/dag (gestreepte lijn in Figuur 1c). De 200 geselecteerde dagen vallen allemaal in de maanden november tot maart.

### Meteorologische condities die leiden tot hoog potentieel energietekort

Dagen met een hoog potentieel tekort worden gekenmerkt door een grootschalig hogedrukgebied over Centraal Europa (Figuur 2). Het gebrek aan luchtdrukgradiënten leidt tot lage windsnelheden in geheel Europa (Figuur 2a), en over grote delen van het continent is de windsnelheid lager dan die waarbij windturbines stroom beginnen te leveren. In het Noordzeegebied, waar veel windmolens staan, is de windsnelheid veel lager dan normaal, en het energiepotentieel ligt daar dan ook zo’n 63% onder normaal. De totale productie van windenergie over het gebied is hierdoor minimaal.

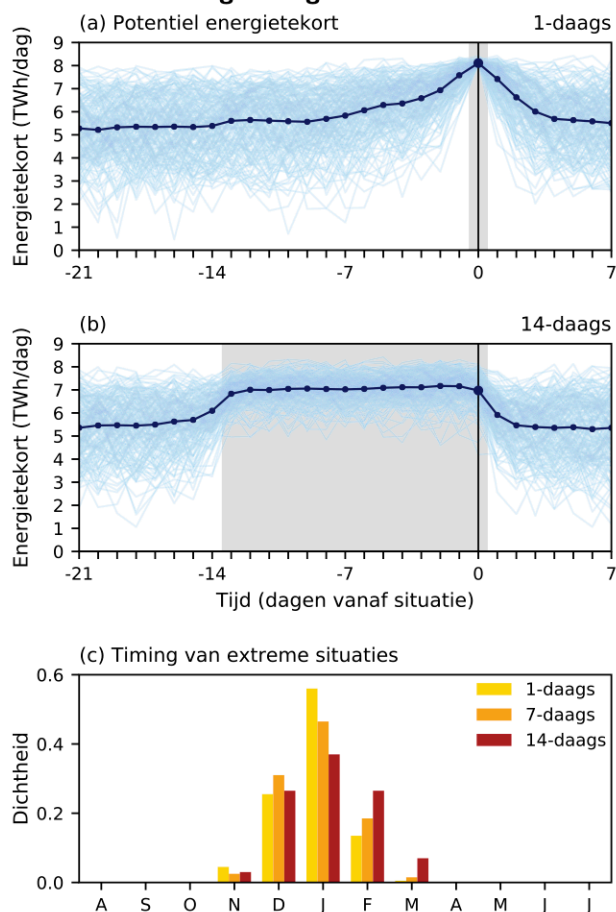
Inkomende zonnestraling is lager dan normaal in het Middellandse Zeegebied, maar hoger dan normaal over Centraal Europa (Figuur 2b). In Zuid Europa ligt energieproductie van zonnepanelen dus iets onder normaal (3% lager dan normaal energiepotentieel), al is dit in de wintermaanden sowieso al relatief laag vanwege de kortere dagen. De heldere condities over Centraal Europa leiden ‘s nachts tot sterke afkoeling door uitgaande langgolvlige straling, en in combinatie met advectie van koude lucht uit het oosten leidt dit tot zeer lage temperaturen nabij het oppervlakte (Figuur 2c). Het Europees

energieverbruik neemt hierdoor toe.

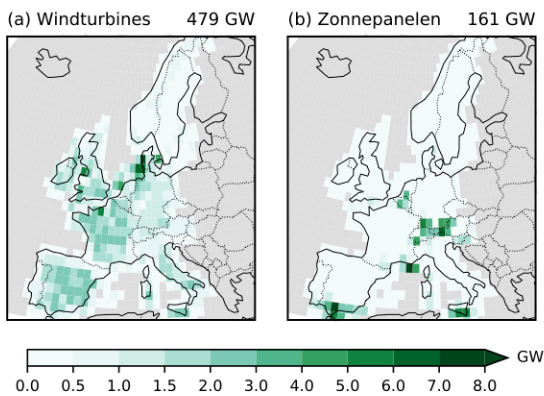
De beschreven situatie leidt tot een hoog potentieel energietekort. Het is een voorbeeld van een ‘compound event’: de combinatie van meerdere drivers en/of hazards die samen leiden tot maatschappelijk of natuurlijk risico (Zscheischler et al., 2018). Lage windsnelheden limiteren hernieuwbare energieproductie en tegelijkertijd leiden lage temperaturen tot een hogere energievraag, en samen leidt dit tot een hoog potentieel energietekort. Als we de situatie kwantitatief bekijken: 1-in-2.2 jaar lage energieproductie in combinatie met 1-in-0.3 jaar hoge energievraag leidt tot 1-in-10 jaar hoog potentieel tekort.

Ter verificatie van deze modelresultaten hebben we de berekening herhaald op basis van ERA-interim data en op basis van eenzelfde 2000 jaar ensemble-experiment uitgevoerd met het HadGEM2-ES klimaatmodel (Martin et al., 2008). Beide datasets geven vergelijkbare resultaten als de hier gepresenteerde gegevens op basis van EC-Earth.

### Persistentie van hogedrukgebieden



**Figuur 3.** (a,b) Tijdreeksen van potentieel energie tekort voor geselecteerde (a) 1-daagse situaties, (b) 14-daagse situaties van hoog potentieel energietekort (TWh/dag). Lichtblauwe lijnen geven 200 individuele gebeurtenissen weer; de donkerblauwe lijn is het gemiddelde hiervan, en de grijze arcering geeft de lengte van de situatie aan. (c) Histogram van de maand in het jaar waarin deze situaties voorkomen.



Figuur 4. Ruimtelijke verdeling van geïnstalleerd vermogen van (a) windturbines, (b) zonnepanelen (GW/gridcel) in een geprojecteerd toekomstig scenario. Let op de niet-lineaire kleurschaal; de waarde in de rechterbovenhoek geeft het totaal geïnstalleerd vermogen weer.

De meteorologische condities zoals beschreven in de vorige sectie (Figuur 2) gelden voor een ééndaags hoog potentieel energietekort. Zulke situaties zouden opgevangen kunnen worden in het energienet door het gebruik van opgeslagen energie (in batterijen, waterstofcentrales, waterkrachtcentrales, Tesla auto's, etc.) of met een verschuiving van energieverbruik (vraagsturing, dynamische energieprijzen, etc.).

Wij hebben een vergelijkbare analyse uitgevoerd voor 7- en 14-daagse periodes van hoog potentieel energietekort. Qua meteorologie zijn deze periodes vergelijkbaar: een groot hogedrukgebied, lage windsnelheden op land en boven de Noordzee en lage temperaturen. Wanneer het hogedrukgebied echter persistent blijkt en dus lang op zijn plek blijft liggen, dan houdt ook het hoog potentieel energietekort meerdere dagen aan (Figuur 3a,b). Het is onwaarschijnlijk dat batterijen of vraagsturing voldoende capaciteit hebben om werkelijke energietekorten in zulk soort persistente situaties te voorkomen. Back-up energiecentrales met lage CO<sub>2</sub> uitstoot of hernieuwbare energiebronnen die niet meegenomen zijn in deze analyse zullen dan moeten bijspringen. Alle situaties van hoog potentieel energietekort, onafhankelijk van de totale tijdsduur, vallen in de wintermaanden (november-maart, Figuur 3c).

Grofschalige weer- en klimaatmodellen hebben moeite met het realistisch simuleren van persistente hogedrukgebieden. Onderzoek heeft uitgewezen dat nieuw ontwikkelde modellen van hogere resolutie de opbouw, persistentie en afbraak van deze blokkades beter beschrijven (Breckmans et

al., 2013). Het zou daarom goed zijn dit onderzoek te herhalen met een model van hogere resolutie, zodat getest kan worden of de onderzochte situaties van persistente hoge druk hierdoor beïnvloed worden. Verder worden de effecten van complexe kustlijnen en orografie op windsnelheden en temperatuur natuurlijk ook beter gesimuleerd in modellen van hogere resolutie.

## Conclusie

Onze analyse van de meteorologische gevoeligheid van een hoog-hernieuwbaar energiesysteem laat zien dat de energietransitie leidt tot nieuwe maatschappelijke risico's aangaande het weer. Het toenemende aantal windturbines en zonnepanelen in Nederland en Europa maakt de productie van energie steeds meer weersafhankelijk. Bovendien wordt door bijvoorbeeld de introductie van warmtepompen ook het verbruik van elektriciteit in toenemende mate afhankelijk van het weer. Ongunstige weersomstandigheden kunnen dus leiden tot ongewenste situaties, met in het slechtste geval stroomuitval tot gevolg.

Met het hier gepresenteerde onderzoek hopen wij een steentje bij te dragen aan een succesvolle Europese energietransitie. De resultaten laten zien dat er niet alleen voldoende capaciteit geplaatst moet worden om *gemiddeld* genoeg energie te kunnen leveren, maar dat het nieuw te bouwen energiesysteem ook moet kunnen leveren ten tijde van winterkou en lage windsnelheden. Alleen dan zal de energietransitie succesvol kunnen zijn.

## Referenties

- Breckmans et al. (2013): Atmospheric blocking in a high resolution climate model: Influences of mean state, orography and eddy forcing. *Atmospheric Science Letters*, 14, 34-40.
- Dee et al. (2011): The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 553-597.
- Jerez et al. (2015): The CLIMIX model: a tool to create and evaluate spatially-resolved scenarios of photovoltaic and wind power development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1-15.
- Hazeleger et al. (2012): EC-Earth V2.2: description and validation of a new seamless earth system prediction model. *Climate Dynamics*, 39, pp. 2611-2629.
- Martin et al. (2008): The HadGEM2 family of met office unified model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, 4, 723-757.
- TamizhMani et al. (2003): Photovoltaic module thermal/wind performance: long-term monitoring and model development for energy rating, in: *NCPV and solar program review meeting*, volume 2003, NREL.
- Terasvirta (1994): Specification, estimation, and evaluation of smooth transition autoregressive models. *Journal of the American Statistical Association*, 89, 208-218.
- Zscheischler et al. (2018): Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8, 469-477.

## Kader 1 – Energiemodel

Het EC-Earth klimaatmodel is gebruikt om 2000 jaar weersimulaties te genereren voor het huidige klimaat. We gebruiken een relatief simpel energiemodel om uit de gemodelleerde meteorologische variabelen dagelijkse hernieuwbare energieproductie uit wind en zon, en de energievraag te bepalen.

WIND – 10 m wind snelheden worden met behulp van een powerlaw-profiel geschaald naar wind op hoogte (80 m boven land, 120 m boven zee). Deze geschaalde windsnelheden worden aan de hand van een power-curve (Jerez et al., 2015), en een toekomstige ruimtelijke verdeling van windturbines (Figuur 4a), omgezet naar windenergieproductie in TWh/dag.

ZON – Inkomende zonnestraling wordt gebruikt om energieproductie van zonnepanelen te bepalen. De efficiëntie

van zonnepanelen gaat omlaag als de temperatuur van de panelen stijgt. De temperatuur van de panelen wordt in het model bepaald door de luchttemperatuur, de windsnelheid en de inkomende straling (TamizhMani et al., 2003). Ook hier wordt een toekomstige ruimtelijke verdeling van zonnepanelen aangenomen (Figuur 4b).

VRAAG – We bepalen de energievraag aan de hand van een empirisch model gekalibreerd met historische data van elektriciteitsgebruik (ENTSO-E data, 2006-2015). Het model is een dubbele lineaire regressie met een geleidelijke transitie tussen twee regimes (Terasvirta, 1994). Op deze manier wordt zowel de energievraag voor verwarming (0.1 TWh/dag/°C) als de energievraag voor airconditioning (0.02 TWh/dag/°C), beide afhankelijk van de temperatuur, meegenomen. Er zijn geen aannames gemaakt over mogelijke toekomstige veranderingen van energievraag.