

Welk type windturbine levert op welke plek de meeste energie? Daarvoor moet je weten wat de kans is op alle windsnelheden op die plaats. De Weibull-functie geeft die kans.

# Statistiek bepaalt keuze wind- turbine

Niets zo variabel als de wind. Nu eens stormt het, dan weer is het windstil. Nu eens waait de wind uit het westen, dan weer uit het oosten. Maar waar je op aarde ook de windsnelheid meet, op elke plek wordt de kans op een bepaalde windsnelheid gegeven door een wiskundige functie, de Weibull-functie. De Zweedse ingenieur en wetenschapper Waloddi Weibull beschreef deze functie voor het eerst in 1939.

De Weibull-functie wijkt af van bekendste verdeling uit de statistiek, de standaard- of normale verdeling. De standaardverdeling is symmetrisch; de Weibull-functie is asymmetrisch. Het is eigenlijk een standaardverdeling die wordt gesampeld bij positieve windsnelheden. Voor de Weibull-functie telt alleen de grootte van de snelheid en niet de richting. Net zoals voor een windturbine de windrichting ook niet uitmaakt, omdat de turbine met de wind meedraait.

In de Weibull-functie is de kans op windsnelheid nul heel klein. Gaande naar grotere windsnelheden, neemt de kans eerst toe tot een bepaald maximum. Hierna neemt de kans op steeds grotere windsnelheid langzaam af. Slechts twee factoren bepalen hoe uitgerekt of gepiekt de kansverdeling is: een schaalfactor en een vormfactor.

In Nederland komen veel verschillende windsnelheden voor, waardoor de Weibull-functie overal in ons land breed is uitgerekt. Daarentegen komen aan de evenaar vrij weinig verschillende windsnelheden voor: daar waait het of hard of niet. Dat

levert een sterk gepiekte Weibull-functie. Voor het plaatsen van een windturbine of een windpark is het essentieel om de Weibull-functie op de beoogde locatie precies te kennen. Want daarmee kun je de verwachte energieopbrengst berekenen.

## Communicerende vaten

"Om de Weibull-functie op een bepaalde plek te bepalen, moet je op die plek minimaal een jaar lang continu de wind meten", zo vertelt hoogleraar windenergie Gerard van Bussel van de TU Delft. "Dan heb je in ieder geval alle seizoenen een keer gehad. De informatie van de gemeten Weibull-functie moet je vervolgens combineren met de informatie die turbinefabrikanten leveren over het verband tussen turbinevermogen en windsnelheid bij een bepaald type windturbine. Daaruit kun je berekenen welke windturbine het beste op die locatie past en wat de geschatte energieopbrengst is."

In eerste instantie zou je misschien denken dat je een windturbine moet kiezen die zoveel mogelijk energie levert. In de praktijk zijn energiebedrijven echter meer geïnteresseerd in een zo betrouwbaar mogelijke levering van een bepaald vermogen. "Helaas zijn een maximale energieopbrengst en een maximale betrouwbaarheid twee communicerende vaten", zegt van Bussel, "en dus moet je kiezen tussen die twee. Dan kan het zijn dat je met een vijf megawatt-turbine weliswaar de meest kilowattuur produceert, maar dat je met een tweeënhalf megawatt-turbine het meest betrouwbaar energie levert, simpelweg omdat die tweeënhalf megawatt eerder wordt bereikt."

Anno 2014 haalt Nederland 4,5% van zijn energie uit wind, wat neerkomt op 2.300 megawatt. Het plan voor 2020 is dat maar liefst twaalfduizend megawatt uit wind zou moeten komen, waarvan de helft zou moeten komen van windparken op land en de andere helft van windparken op zee.

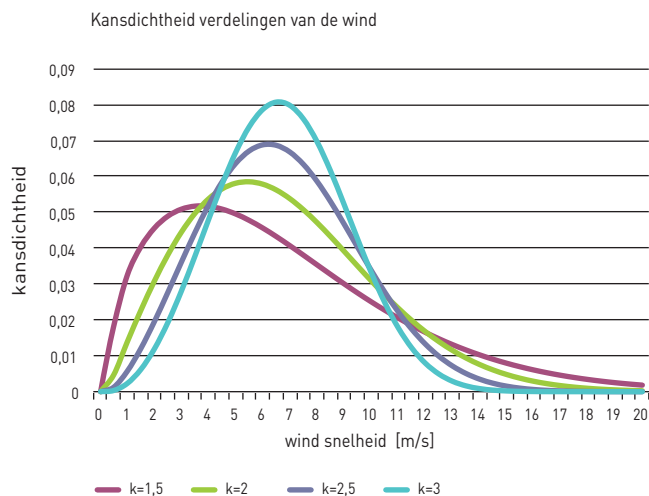
## Windmolens op zee

Nederland heeft nu twee windmolenparken op zee: Noordzee-Wind bij Egmond aan Zee en het Prinses Amalia-windpark bij

IJmuiden. Daar zouden er drie bij moeten komen voor 2020. "Voor het bouwen van windparken op zee zitten we nog in een leerproces", zegt van Bussel. "Het is niet slim om landturbines ook op zee te gebruiken. Op zee slijten windturbines veel sneller, onder andere omdat de lucht zo zout is en het harder waait. Bovendien is reparatie op zee duur en lang niet elke dag mogelijk. Dat vraagt om robuuste turbines."

Veel mensen onderschatten de eisen die aan windturbines worden gesteld, zegt van Bussel. "De grootste turbine ter wereld heeft rotorbladen met een diameter van honderdtachtig meter. Dat is tweeënhalf maal de lengte van het grootste passagiersvliegtuig ter wereld, de A380. En die rotordiameter gaat zelfs toe naar tweehonderdvijftig meter."

Bovendien moet een windturbine twintig jaar continu opereren in omstandigheden vergelijkbaar met start- en landingscondities bij een vliegtuig, precies de momenten waarop een vliegtuig het meest te lijden heeft. Van Bussel: "Over twintig jaar zien de windturbines er op het oog nog wel hetzelfde uit, maar dan zitten er allemaal slimme trucjes in, net zoals auto's en vliegtuigen in de afgelopen decennia ook zijn geëvolueerd van lowtech naar hightech. Maar de Weibull-functie blijft onveranderd geldig."



Voorbeeld van Weibull-functies bij verschillende vormfactoren ( $k$ ).