

Factsheet Windenergie & Windturbine

KIVI Ingenieurs en Energietransitie. (KIVI I&E)

Samenstelling: (op persoonlijke titel) Anton Arnoldus, Evert-Jan Bouvy
Sept 2026 V 0.7

Inleiding

Een windturbine converteert de kinetische van bewegende lucht (wind) in elektrische energie. Wind energie > Mechanische Energie > Elektrische Energie.

Vermogen

Het afgegeven vermogen van een windturbine hangt af van de windsnelheid en de grootte van de wieken. Als de windsnelheid v (meter/seconde) en de straal van de turbine R (meter) bedraagt, dan kan een turbine een vermogen (P_{in}) leveren van $P_{in} = \frac{1}{2} \rho v^3 \pi R^2$ (Watt). De Luchtdichtheid ρ is ca 1,293 kg/m³

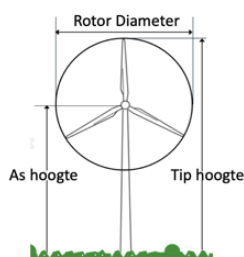


Fig. Afmetingenbenamingen van een windmolen

Het maximale vermogen (P_{max}) dat een windturbine uit wind kan halen wordt niet hoger dan: $P_{max} = (16/27) \times P_{in}$. De factor ($16/27=0.59$) wordt de Betz-limiet genoemd. Volgens de wet van Betz is er een theoretisch maximale hoeveelheid energie die door middel van een rotor(wieken) kan worden onttrokken. https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet_van_Betz

De rotor vormt het belangrijkste energieverlies van een windmolen. Moderne grote windturbines kunnen deze Betz-limiet (0.59) wel benaderen en wel tussen 0.4 en 0.5. De kinetische energie van wind is sterk aan variatie onderhevig. Een verdubbeling van de windsnelheid (v) zorgt voor een achtvoudige toename van het beschikbare vermogen. (zie bovenstaande formule voor P_{in})

Vermogen en Vollaastuur

Het piekvermogen is het maximale elektrische vermogen (Watt) dat de turbine kan leveren (bv 10 MegaWatt). De capaciteitsfactor van een windturbine is de verhouding tussen de werkelijk geproduceerde energie en de maximale energie die geproduceerd zou worden als de turbine op vol vermogen (nominaal vermogen) zou draaien gedurende een bepaalde tijd.

Een vollaastuur kan worden gezien als de tijdsduur, waarin de windturbine op vol vermogen draait. Op zee is dat ca 3.000-4.000

vollasturen(maximaal vermogen) per jaar, dus een capaciteitsfactor van ongeveer 40%. Grotere windturbines bezitten hogere capaciteisfactoren.

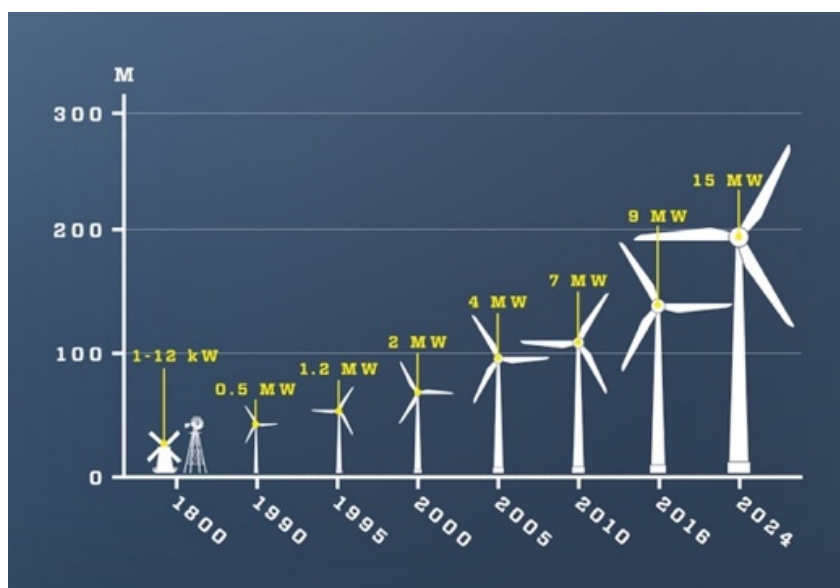
$$\text{Capaciteitsfactor} = \frac{\text{Werkelijke opbrengst}}{\text{Maximaal vermogen} \times \text{Tijd}}.$$

Type windturbine	Capaciteitsfactor (NL, gemiddeld)
Wind op land	22% – 28%
Wind op zee (offshore)	40% – 55%

Hoogte Windturbines

De windsnelheid neemt toe naarmate de hoogte toeneemt, dus hoe groter het vermogen van een windturbine des te hoger de mast wordt.

Onderstaande figuur geeft een indruk van het turbinevermogen ten opzichte van de hoogte.



Wanneer de windsnelheid te hoog wordt (meestal boven 89 km/uur, windkracht 10 Beaufort), worden windmolens automatisch stilgelegd uit veiligheidsoverwegingen om schade te voorkomen.

Snellopendheid van een winturbine

De snellopendheid (tip-speed) van een windmolen is de verhouding tussen de snelheid van de rotortips en de snelheid van de onverstoorte wind (rotortipsnelheid/windsnelheid). Een te lage snellopendheid betekent dat de wind langs de bladen 'lekt' zonder energie af te geven terwijl een hoge snellopendheid kan leiden tot overbelasting. Moderne windturbines (3 wieken) hebben meestal een optimale snellopendheid.

Opgesteld vermogen op het Nederlandse deel Noordzee

Eind 2024 beschikte het Nederlandse deel van de Noordzee over ongeveer 4,7 tot 4,75 GigaWatt aan operationeel windvermogen. De ambitie is om dit snel uit te breiden naar circa 21 GigaWatt rond 2030-2033.

Opgesteld vermogen op land in Nederland.

Eind 2023 was er in Nederland ca 6.816 MegaWatt (6,8 GigaWatt) aan windenergie op land operationeel. In 2023 werd 771 MegaWatt netto aan windvermogen op land bijgeplaatst door grote en middelgrote windparken.

Onderhoud Windturbines

Preventief onderhoud: Dit omvat visuele inspecties, smering bewegende delen, aandraaien van boutverbindingen en het controleren van veiligheidssystemen, controle oliepeil en trillingen voor de tandwielkast en generator. Jaarlijks testen van de remmen en noodstopssystemen

Smeermiddelen: Tandwielkastensmeerolie wordt periodiek vervangen, elke 4 tot 7 jaar.(ca 1000 liter per windturbine)

Wieken: Jaarlijkse inspectie op slijtage, blikseminslag of scheuren.

Onderhoudskosten en Levensduur:

De kosten voor onderhoud en verzekeringen van windmolens liggen gemiddeld rond de € 363.000,- per jaar, afhankelijk van de grootte en locatie. Windturbines hebben een levensduur van 20 tot 30 jaar.

Nadeel Windturbines/zee en land

De belangrijkste nadelen van windenergie zijn de onbetrouwbaarheid van de energieopbrengst(weersomstandigheden), geluidsoverlast, slagschaduw, groot ruimtebeslag, de horizonvervuiling voor omwonenden, de impact op het landschap en de vogelstand.

Hierbij nog opgemerkt dat Windenergie tijdens een hittegolf bijna tot stilstand kan komen.

Geluidsoverlast

Afstandsnorm tot de bewoonde omgeving in Nederland: 4 x de naafhoogte (ca 400 meter. De geluidsnormen zijn van toepassing. In Duitsland bv geldt de afstandsnorm 1000 meter(varieert per deelstaat)

Ook is de bouw duur, vereist het zeldzame materialen en zijn de turbines onderhoudsgevoelig. De wieken zijn (nog) niet 'recyclebaar' en bevatten de giftige stof Bisfenol A, die recycling nog compliceert.

Veiligheid risico's windturbines

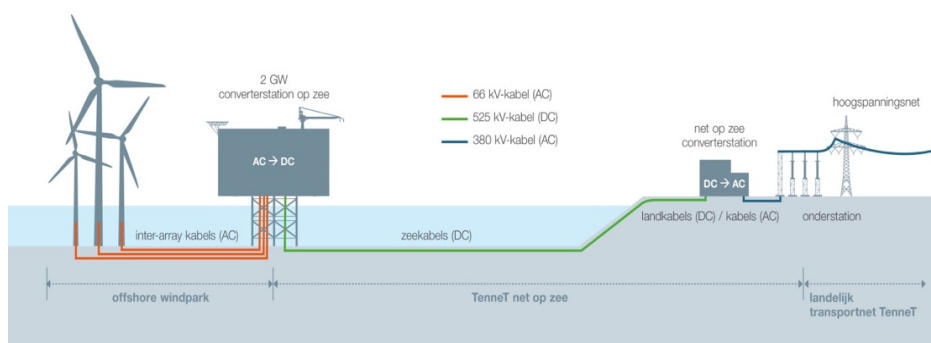
Windmolens zijn in principe veilig. Er zijn kleine risico's zoals ijsafwerping, bladbreuk en brand. Tegenwoordig wordt regelmatig in de media vermeld,

dat windparken op zee kwetsbaar zouden zijn in geval van calamiteiten, vooral de transformatorstations ('de stopcontacten') waarop de windparken aangesloten zijn. Men is ook bevreesd voor sabotage van de kabels tussen de windmolens.

NL Wind op zee en land



Een Transformatorstopcontact (TenneT) verbindt offshore windparken met het elektriciteitsnet op het vasteland. Als de afstand van het transformatorstopcontact tot het vasteland >50 km is, kan men overwegen het energietransport met HVDC (High Voltage Direct Current) uit te voeren. Bij transport van elektriciteit over lange afstanden geeft gelijkstroom minder energieverlies dan wisselstroom. (geen blindstroom en skin-effect)



HVDC-systeem met convertorstations op zee en aan land –
Bron: TenneT