

mbo

Windturbines

l^kenteq

Inhoudsopgave

1	Windturbines: Introductie	5
1.1	Wat is windenergie?	6
1.2	Verticale as-windturbines	15
1.3	Horizontale as-windturbines	17
1.4	Energieopwekking en -opslag	28
1.5	Samenvatting	34
1.6	Antwoorden	37
1.7	Vragen Windturbines: Introductie	39
2	Windturbines: Ontwerp, plaatsing en onderhoud	43
2.1	Ontwerp van een windturbine	44
2.2	Ontwerp van een windpark	50
2.3	Bouw van een windturbine	53
2.4	Onderhoud van windturbines	57
2.5	Samenvatting	60
2.6	Antwoorden	61
2.7	Vragen Windturbines: Ontwerp, plaatsing en onderhoud	62



INHOUDSOPGAVE

1 Windturbines: Introductie

Inleiding

In het Klimaatakkoord is vastgelegd dat Nederland in 2030 49% minder CO₂ moet uitstoten dan in 1990. In 2050 moet de uitstoot van broeikasgassen zelfs met 90% zijn afgenomen!

Dit is afgesproken om te voorkomen dat de aarde meer opwarmt dan 1,5 °C. Eén van de manieren om dit te voorkomen is door steeds minder elektriciteit op te wekken met fossiele energiebronnen (kolen, olie, aardgas). Daarom zoekt Nederland naar manieren om elektriciteit duurzamer op te wekken. Dit wordt de energietransitie genoemd.



Windturbines

Windenergie speelt een belangrijke rol in deze energietransitie. Een windturbine zet windenergie om in elektrische energie. Deze elektrische energie wordt via het elektriciteitsnet naar bedrijven en woningen getransporteerd. Er is in Nederland veel wind. Daarom is een windturbine voor ons land een geschikte en (relatief) goedkope energiebron. In deze introductie lees je hier meer over.

Leerdoelen

Je kunt:

- uitleggen hoe windenergie wordt omgezet in elektrische energie
- benoemen wat het aandeel windenergie is in onze totale energievoorziening
- de voor- en nadelen van windenergie benoemen
- verschillende soorten windturbines herkennen en benoemen
- de opbouw en werking van een horizontale as-windturbine verklaren
- uitleggen hoe bij een windturbine de koppeling met het elektriciteitsnet plaatsvindt.

1.1 Wat is windenergie?

Windenergie is de bewegingsenergie van lucht (wind). Je kunt windenergie omzetten in andere, bruikbare energievormen. Vroeger werd met windenergie vooral mechanische energie opgewekt. Rond 1900 draaiden er in Nederland ongeveer 10.000 windmolens. Met de energie van deze molens werd bijvoorbeeld graan gemalen of hout gezaagd. Vanaf 1950 wordt windenergie in Nederland gebruikt om elektrische energie op te wekken.



Houtzaagmolen

Hoe ontstaat wind?

Wind ontstaat doordat de zon de lucht op aarde aan de evenaar sterk opwarmt. Aan de Noord- en Zuidpool warmt de lucht nauwelijks op, omdat de zonkracht daar lager is.

De warme lucht rond de evenaar stijgt op en stroomt richting de Noord- en Zuidpool. Daar koelt de lucht weer af, zakt naar beneden en trekt weer richting de evenaar, omdat de lucht wordt aangezogen door de lucht die daar opstijgt. Door deze hoge- en lagedrukgebieden ontstaan er luchtstromen in onze atmosfeer, oftewel: wind.



Hoe ontstaat wind?

Energie opwekken met windkracht

De rotorbladen van een windturbine worden aangedreven door de kracht van de wind. Ze drijven een elektrische generator aan die elektrische energie opwekt.

De energieopbrengst van een windturbine hangt af van:

- de windsnelheid
- de hoeveelheid wind per jaar
- het soort windturbine (horizontale of verticale as) en de opbouw
- het nominale vermogen van de turbine
- de draaitijd van de windturbine.

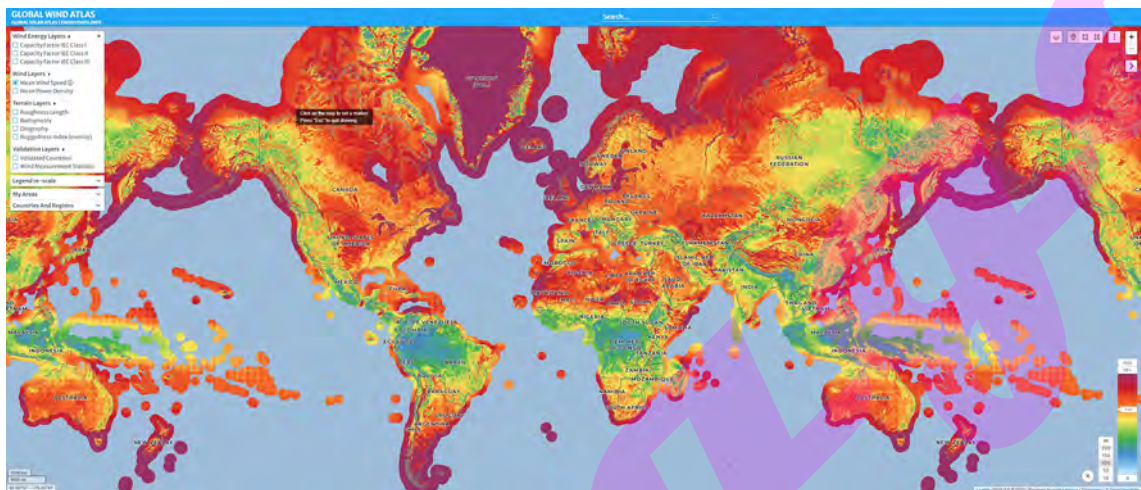


Voorbeeld van horizontale as-windturbines

Windsnelheid

Aan de kust en boven zee waait het meestal harder dan landinwaarts. Op grotere hoogte waait het meestal harder dan laag bij de grond. Daarnaast is de windsnelheid afhankelijk van het tijdstip: overdag waait het (gemiddeld) harder dan 's nachts. Verder waait het in de winter over het algemeen harder en vaker dan in de zomer. Er zijn dus nogal wat factoren van invloed op de windsnelheid, en dus op de energieopbrengst van een windturbine.

Toch is het jaargemiddelde van de windsnelheid redelijk goed in te schatten. Zo kan de optimale plaats voor windturbines bijvoorbeeld vooraf al worden bepaald met een windatlas. Dat is een kaart met gegevens over de jaarlijkse gemiddelde windsnelheid en -richting in een bepaald gebied.



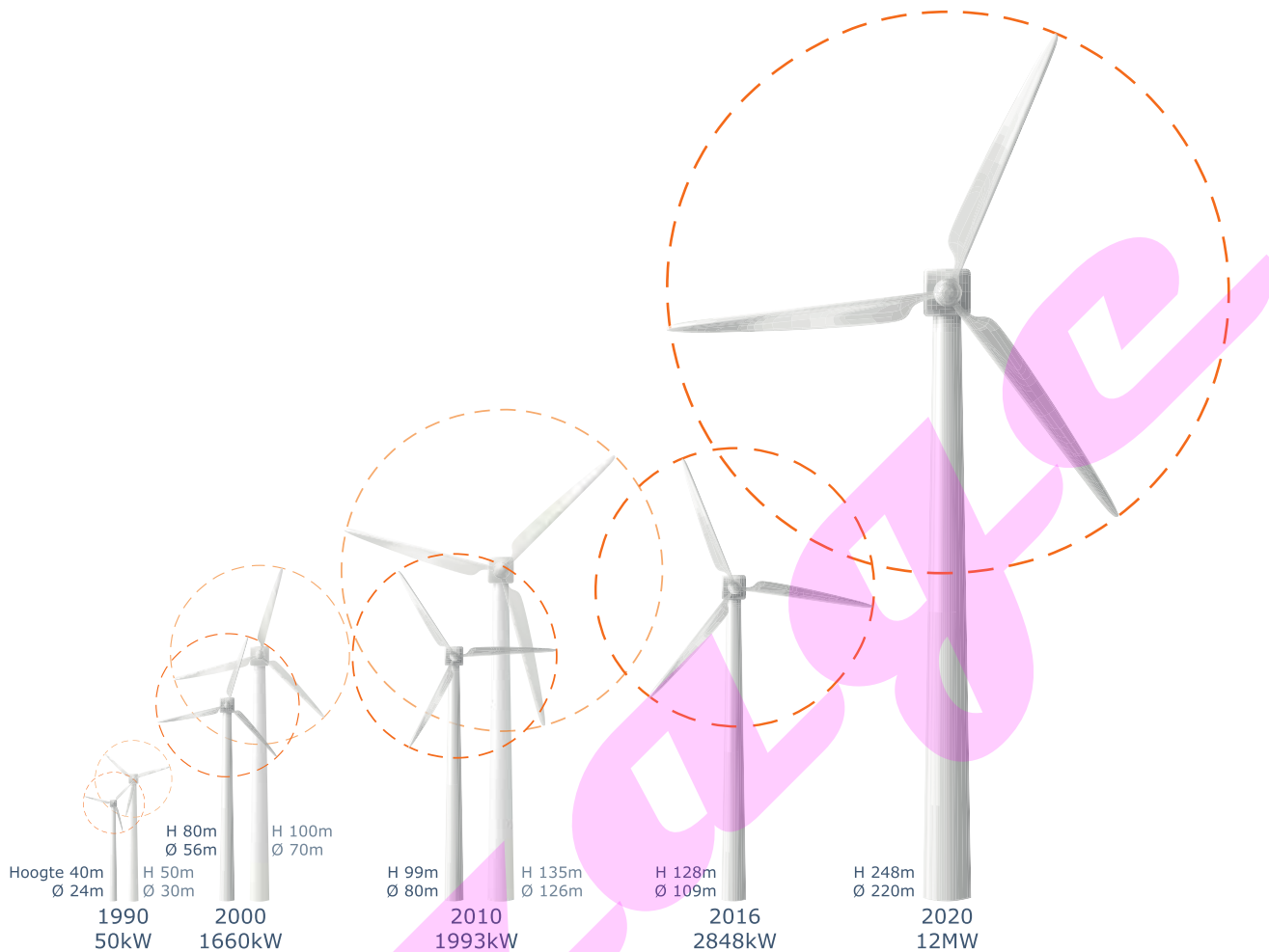
Windatlas (windsnelheid in m/s)

Vermogen van windturbines

Je kunt windturbines op basis van hun bouw en het geleverde nominale vermogen indelen in:

- kleine windturbines: masthoogte maximaal 15 meter, vermogen 0,5 tot 10 kW
- middelgrote windturbines: masthoogte 15 tot 50 meter, vermogen 10 tot 750 kW
- grote windturbines: mast hoger dan 50 meter, vermogen groter dan 750 kW.

Om de energieopbrengst te verhogen worden er steeds grotere windturbines gebouwd.



Windturbines worden steeds groter (boven 1990, 2000 en 2010 zie je de ontwikkeling gedurende het decennium)

Voorbeeld

In Rotterdam staat één van de grootste windturbines ter wereld: de Haliade X. Deze windturbine is 248 meter hoog, heeft een rotordiameter van 220 meter en levert een nominaal vermogen van 12 MW. De windturbine produceert jaarlijks 288 MWh aan elektrische energie, genoeg voor 16.000 huishoudens.



De Haliade X

Rotordiameter en masthoogte

Windturbines maken geluid. Om geluidsoverlast te voorkomen mogen de rotorbladen van een windturbine niet sneller draaien dan 75 m/s.

Daarom worden de rotordiameters steeds groter gemaakt. Daardoor neemt de energieopbrengst toe en kan het toerental laag blijven.

Windturbines aan de kust of op zee (*offshore*) hebben een hogere mast dan windturbines op land. Aan de kust waait het op 100 meter hoogte harder dan in het binnenland. In het binnenland waait het onder 90 meter meestal harder dan daarboven.



Rotorbladen liggen klaar voor montage

Draaitijd van een windturbine

Een windturbine kan draaien vanaf windkracht 2 tot 3. Om overbelasting te voorkomen worden windturbines stilgezet boven windkracht 10 tot 12 (afhankelijk van het type). In Nederland staan windmolens bijna nooit stil, ze draaien minstens 95% van de tijd. Maar ze draaien meestal niet op vol vermogen. Windturbines worden ontworpen om 2000 tot 4000 uur per jaar op vollast te draaien. Bij continu vermogen neemt de levensduur te snel af, en is veel meer onderhoud nodig. Een offshore windturbine kan meer dan 4000 uur draaien op vollast.

?

1. Hoe ontstaat wind? Leg dit uit in je eigen woorden.

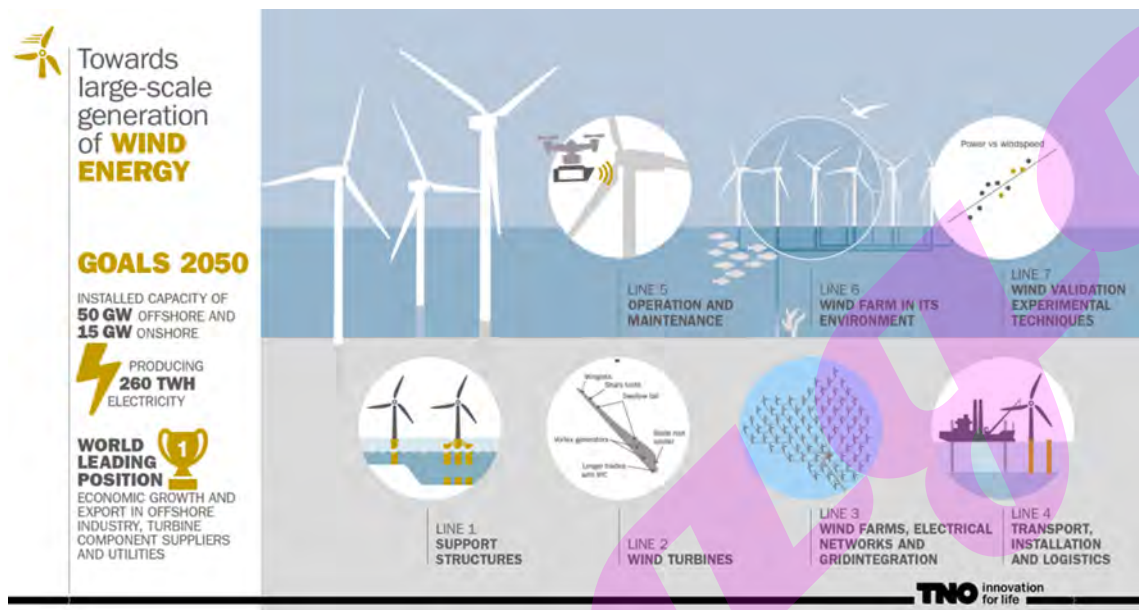
?

2. Welke factoren bepalen de energieopbrengst van een windturbine? Noem er minstens vier.

Waarom windturbines?

Windenergie is een duurzame energiebron. Door in plaats van fossiele energie windenergie te gebruiken wordt er CO₂-uitstoot vermeden. Hierdoor dragen windturbines bij aan het terugdringen van klimaatverandering.

Door het afbouwen van de gaswinning in Groningen zijn we in Nederland meer afhankelijk geworden van buitenlandse leveranciers van gas, zoals Rusland en Noorwegen. De inzet van windturbines zorgt ervoor dat we minder afhankelijk worden van deze leveranciers.



Doelstellingen van de overheid voor windenergie tot 2050 (Bron: TNO)

> Voordelen:

De belangrijkste voordelen van windenergie zijn:

- Het gebruik van windenergie vermindert het gebruik van fossiele brandstoffen, en verkleint daardoor de CO₂-uitstoot.
- Windenergie raakt nooit op: het is een onuitputtelijke en duurzame energiebron.
- Nederland wordt minder afhankelijk van leveranciers van fossiele brandstoffen.

> Nadelen:

De belangrijkste nadelen van windenergie zijn:

- Windsnelheid is moeilijk in te schatten en verandert constant. Daardoor is de energieopbrengst moeilijk voorspelbaar.
- Veel mensen vinden windturbines in het landschap lelijk, zij noemen het 'landschapsvervuiling' of 'horizonvervuiling'.
- De productie, het transport en de opbouw van windturbines geeft veel CO₂-uitstoot. De windturbine moet deze CO₂-uitstoot eerst 'terugverdienen', voordat de opgewekte energie echt duurzaam is.
- Windturbines verstoren het leefgebied van bepaalde dieren (vogels, vleermuizen).
- Windturbines kunnen hinder veroorzaken voor omwonenden. Ze maken geluid en veroorzaken slagschaduwen.

Plaatsing van windturbines

Windturbines worden niet zomaar op willekeurige plekken geplaatst. Voor het bouwen van een windturbine moet een energiebedrijf een omgevingsvergunning krijgen van de overheid. Vaak moet daarvoor ook het bestemmingsplan worden gewijzigd. Er zijn daarbij veel dingen waarmee rekening moet worden gehouden.



Bouw van een offshore windturbinepark

Zo moeten windturbines aangesloten worden op het elektriciteitsnet, hoe snel dat kan hangt weer af van de capaciteit bij de beheerders van het hoogspanningsnet. Daarom duurt het soms jaren voordat er een windturbine gebouwd mag worden.

Onderlinge afstand

Windturbines kunnen in verschillende patronen in een park worden geplaatst. Bijvoorbeeld in een rechte of gebogen lijn, of in een raster. Ze moeten op voldoende grote afstand van elkaar staan, zodat ze elkaars opbrengst niet beïnvloeden. Als de afstand te klein is profiteren de windturbines niet optimaal van de wind.

Omgevingsaspecten

Windturbines kunnen vogels en vleermuizen doden en het microklimaat op zee verstoren. Vissen kunnen niet tegen de trillingen en emigreren naar andere leefgebieden, waardoor vissers in de problemen komen. Verder trilt het slib van de bodem rond een windturbine los, waardoor het leefgebied van dieren wordt verstoord.

Scheepvaart en luchtvaart

Windturbines op zee vormen een obstakel voor de scheepvaart. Plaatsing in de buurt van drukbevaarde scheepsroutes kan problemen veroorzaken, bijvoorbeeld bij slecht zicht en zwaar weer. Verder kunnen windturbines de radarbeelden van schepen en vliegtuigen verstoren.

Geluidsoverlast

Bij moderne windturbines maken alleen de rotorbladen geluid, de gondel is geluidsdicht geïsoleerd. De geluidsproductie van de rotorbladen neemt toe met de windsnelheid en hangt ook af van het type windturbine. Het brongeluid van één windturbine ligt tussen 91 en 104 dB(A). Op een afstand van 250 meter neemt het geluidsniveau van de turbine af tot 40 tot 43 dB(A), als de turbine op zijn maximale vermogen draait.

Wat iemand als hinderlijk geluid ervaart verschilt per persoon. Uit onderzoek van de Universiteit Groningen blijkt dat voor sommige mensen het geluid zelfs op een afstand van twee kilometer als hinderlijk kan worden ervaren. Doordat er dan weinig andere geluiden te horen zijn valt het geluid van een windturbine extra op. Dit is een van de redenen waarom er veel weerstand is tegen het plaatsen van windturbines.

Schaduwhinder

Als de zon schijnt veroorzaken de rotorbladen van een windturbine een bewegende slagschaduw. Veel mensen vinden dit effect vervelend.



Slagschaduw

Landschapsvervuiling

Een andere belangrijke reden waarom veel mensen tegen de plaatsing van windturbines zijn, is dat ze voor landschapsvervuiling zouden zorgen. Veel mensen vinden windturbines lelijk of storend in het landschap.



Landschapsvervuiling?

Windturbineparken

Windturbines worden vaak in groepen van drie of meer windturbines bij elkaar geplaatst in een windturbinepark (of 'windpark'). Op die manier kunnen bepaalde gebieden worden aangewezen voor de plaatsing van windturbines. Ze staan dan niet in kleine groepjes her en der verspreid door het landschap, of in drukbevolkte woongebieden. Er zijn windturbineparken op land (*onshore*) en windturbineparken op zee (*offshore*).



Onshore windturbinepark

Offshore windparken

Op zee is de windsnelheid gemiddeld hoger dan op land. Daarom is de energieopbrengst van offshore windparken hoger en stabielere dan die van onshore windparken. Verder zijn veel mensen tegen het plaatsen van grote windturbines op land, omdat zij ze lelijk vinden of vanwege geluidsoverlast.

Daarom wordt er steeds vaker gekozen voor plaatsing op zee. De afstand van het park tot de kust beïnvloedt de energieopbrengst: hoe verder op zee, hoe harder het waait. Maar de aanleg- en transportkosten nemen ook toe. Ver op zee moeten de funderingen dieper geplaatst worden en is er een langere hoogspanningskabel nodig voor het transport van de opgewekte energie.



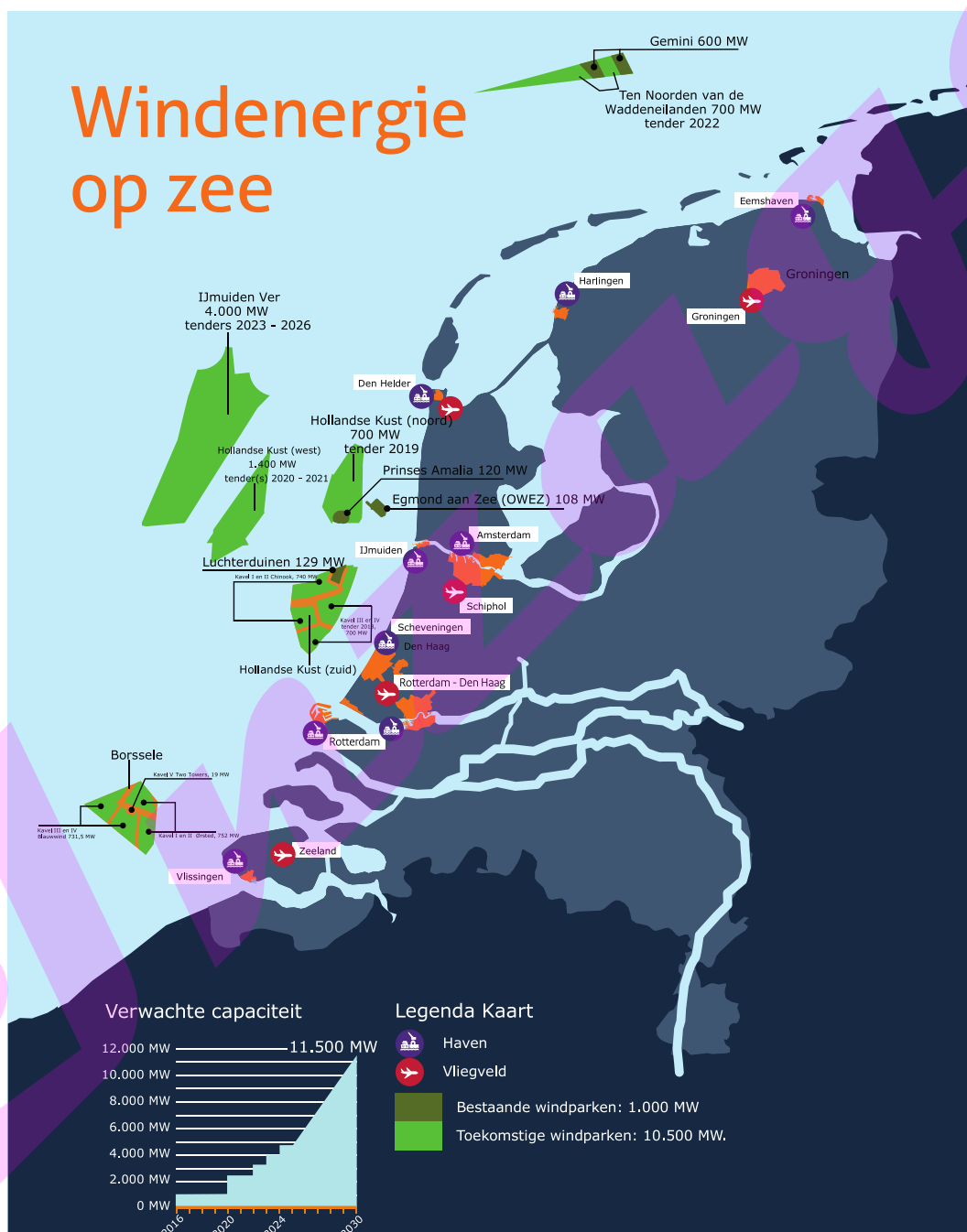
Offshore windturbinepark

Er zijn plannen om kunstmatige eilanden ('energiehubs') aan te leggen op zee. Zo'n eiland verzamelt alle opgewekte energie van de omliggende windturbineparken, waarna de energie door één enkele kabel naar de kust kan worden getransporteerd. Hiermee wordt bespaard op de aanleg- en transportkosten van het elektriciteitsnetwerk.

Toekomstige capaciteit

De overheid heeft afspraken gemaakt met de energiesector over de toekomst van onze energievoorziening. In 2021 stond er in Nederland in totaal 2,5 GW vermogen aan windenergie op zee. In 2030 moet 75% van onze totale elektriciteitsvraag opgewerkt worden met duurzame en hernieuwbare energiebronnen. Daarvan moet 70% opgewerkt worden met windenergie.

Het totale vermogen van offshore windturbines stijgt daardoor van 2,5 GW (2021) naar 11,5 GW (2030) of hoger. Er zijn zelfs al plannen voor 17 GW op zee. Tot 2050 zullen er in totaal 4800 windturbines worden geplaatst. Toch wordt de Noordzee niet volgebouwd: alle bestaande en geplande windturbines samen nemen 5-12% van het beschikbare oppervlak in beslag.



? 3. Noem minstens twee voordelen en twee nadelen van windturbines.

? 4. Met welke factoren moet rekening worden gehouden bij de plaatsing van windturbines? Noem er minstens vier.

1.2 Verticale as-windturbines

Er zijn twee type windturbines: de 'verticale as-windturbine' en de 'horizontale as-windturbine'. Bij een verticale as-windturbine (VAWT) staat de rotoras verticaal ten opzichte van de windrichting. Door deze stand hoeft de windturbine niet op de windrichting te worden gedraaid. De VAWT wordt wereldwijd veel minder gebruikt dan de horizontale as-windturbine, maar wordt hier voor de volledigheid behandeld.

Een VAWT werkt ook in turbulente windstromen, bijvoorbeeld in stedelijke gebieden met veel obstakels.

Wereldwijd worden er vooral verticale as-windturbines van het type Darrieus en Savonius gebruikt. Verder bestaan er veel afgeleide varianten van deze turbines. Deze worden hier niet behandeld.



Verticale as-windturbines (VAWT) van het type Darrieus

➤ Voordelen:

Voordelen van een VAWT zijn:

- niet afhankelijk van de windrichting
- lage opstartsnelheid
- weinig wind nodig om energie op te wekken
- veilig bij hoge windsnelheden
- eenvoudige opbouw (één bewegend deel)
- generator op grondniveau (makkelijk bij onderhoud)
- kan dicht bij andere VAWT's geplaatst worden
- stille werking en weinig slagschaduw.

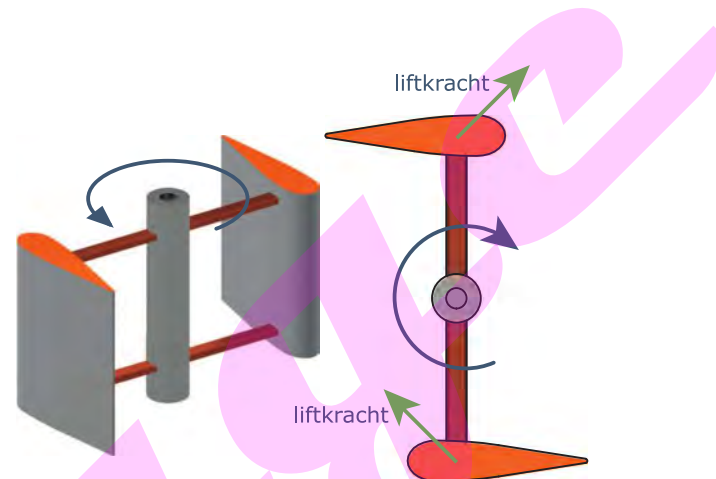
➤ **Nadelen:**

Nadelen van een VAWT zijn:

- lager opgewekt vermogen en rendement dan horizontale as-windturbines
- pulserend draaimoment en hoge krachtwerking op de machine
- op maaiveldhoogte is de windsnelheid laag
- kan niet automatisch starten, aanloophulp noodzakelijk
- bladen moeten grote krachten en vibraties opvangen
- kan niet uit de wind worden gedraaid bij storm.

Darrieus-windturbine

Een Darrieus-windturbine heeft twee of drie gebogen verticale wieken die gemonteerd zijn aan een verticale as. De wieken hebben dezelfde aerodynamische vorm en eigenschappen als vliegtuigvleugels. Ze worden voorgestuwd door liftkracht, net als bij een vliegtuig. De generator staat in een verticale positie op de grond. Doordat de basis het grootste gedeelte van de krachten opvangt, kunnen de wieken relatief licht worden geconstrueerd.

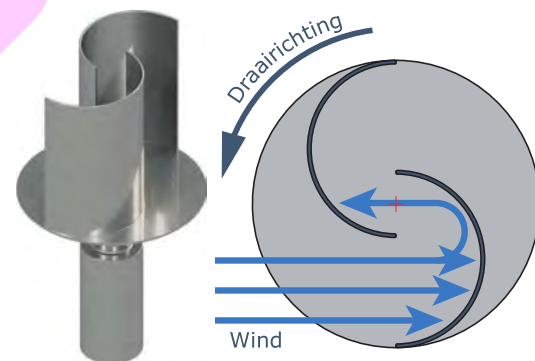


Werkingsprincipe van een Darrieus-windturbine

Savonius-windturbine

Een Savonius-windturbine heeft twee of drie schoepen die de wind opvangen en de windenergie overdragen op een verticale as. De weerstand van de schoepen is aan de ronde kant minder dan aan de binnenkant. Daardoor draait de rotor in de richting van de minste weerstand. Deze windturbine is zelfstartend.

Een Savonius-windturbine is relatief goedkoop en betrouwbaar, maar heeft een lage energieopbrengst vergeleken met andere windturbines. Dat komt doordat je een Savonius-windturbine alleen laag bij de grond kunt plaatsen, waar de windsnelheid niet zo hoog is. De windturbine is door zijn vorm erg stormgevoelig.



Werkingsprincipe Savonius-windturbine

Hybride Darrieus/Savonius-windturbine

Deze hybride turbine bestaat uit een combinatie van een Darrieus- en Savonius-windturbine. De Savonius-windturbine begint al bij lage windsnelheden te draaien en brengt de Darrieus-windturbine op gang.



Hybride Darrieus/Savonius-windturbine

- ? 5. Wat is het belangrijkste voordeel van een VAWT ten opzichte van een HAWT?

1.3 Horizontale as-windturbines

Wereldwijd worden er vooral 'horizontale as-windturbines' (HAWT) gebruikt. Bij deze windturbines staat de as horizontaal op de windrichting. HAWT's hebben een veel hogere energie-opbrengst en een hoger rendement dan VAWT's.

Ze worden vooral gebouwd op plaatsen waar weinig windturbulentie is en waar de wind vrij constant uit een richting komt. De rotor wordt op de windrichting gedraaid om de maximale energie-opbrengst te krijgen.

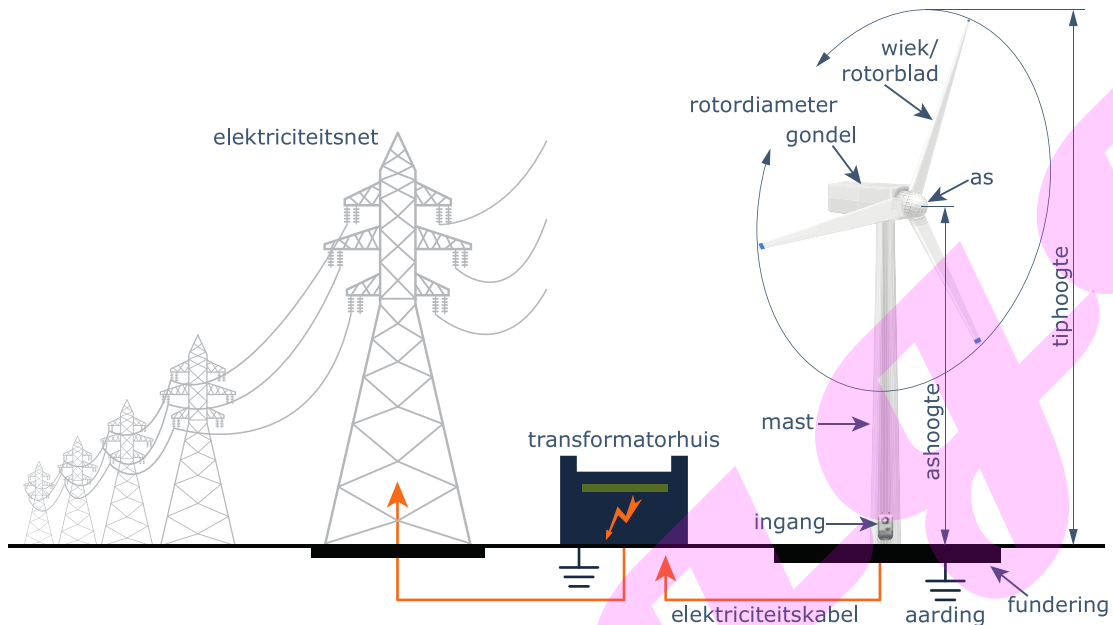
Horizontale as-windturbines starten automatisch op, maar wel pas bij relatief hoge windsnelheden (4-5 m/s). De bouw en het onderhoud van een HAWT zijn gevaarlijk en kostbaar. Dit komt vooral door de grote hoogte van de mast.



De bouw van een HAWT

Opbouw

Een HAWT bestaat uit een fundering, een mast en een gondel met een rotor. De rotor met daarop de rotorbladen (of 'wieken') is op de as van de gondel gemonteerd. In de gondel vind je de transmissie, de generator, het aandrijfsysteem en de besturing. Er lopen hoogspanningskabels vanaf de gondel door de mast naar de fundering. De windturbine is aangesloten op het dichtstbijzijnde netstation ('transformatorhuis') van het elektriciteitsnet.



Opbouw van een HAWT

Fundering

Op een windturbine werken grote krachten, daarom moet de mast goed verankerd worden. Het type fundering hangt af van de plaats waar de windturbine wordt gebouwd.

Onshore funderingen

Om kosten te besparen zijn funderingen voor onshore windturbines meestal ondiep (bijvoorbeeld 5 meter), met een relatief grote diameter (vaak groter dan 25 meter). De kern van de fundering bestaat uit een kooi van stalen pijpen met draadeinden waarop de mast wordt bevestigd. Daaromheen wordt een ring van vlechtijzer en beton gemaakt. De hele fundering rust op heipalen. De elektriciteitskabels lopen door mantelbuizen van kunststof (PVC of PE).



Onshore fundering

Offshore funderingen

Offshore windturbines worden meestal vastgezet met een fundering in de bodem van de zee, of ze staan op een drijflichaam dat met ankerlijnen op zijn plaats wordt gehouden. Een drijflichaam heeft het voordeel dat de windturbine ook in diepere gedeeltes van de zee kan worden geplaatst.

Bij offshore windparken worden tegenwoordig vaak betonnen voeten als fundering gebruikt. Zo'n betonvoet is vaak wel 30 meter breed en 20 meter hoog. Op de voet staat een paal van nog eens 30 meter waarop de mast van de windturbine wordt bevestigd. De voet en de paal zijn hol, zodat de hele constructie drijvend naar de juiste plaats kan worden gesleept.

De betonvoet wordt in de zee afgezonken en rust op de met stenen verstevigde zeebodem. De voet en de paal worden gevuld met zand, waardoor het totale gewicht van de fundering oploopt tot wel 15.000 ton. Dat is zwaar genoeg om de windturbine zelfs bij de allerzwaarste stormen op zijn plaats te houden.



Betonvoeten voor offshore fundering

?

6. Waarom worden er wereldwijd veel minder VAWT's gebruikt dan HAWT's?

Mast

De windbelasting op de mast (of 'toren') is over het algemeen zeer groot. En hoe hoger de windturbine, hoe groter de windbelasting wordt. Om de windbelasting te kunnen opvangen bestaat de mast uit dikwandig gewapend beton of staal.

De mast is opgedeeld in secties die naar de locatie worden getransporteerd en daar op elkaar worden bevestigd met een kraan. Onder in de mast bevindt zich een besturingskast waarmee je de turbine in of buiten bedrijf kunt nemen voor onderhoud. Moderne windturbines hebben een servicelift in de mast. Bij noodsituaties kun je ook een ladder gebruiken, of abseilen aan een staalkabel vanuit de gondel. De ladder heeft een valbeveiligingsrail waaraan je (verplicht) je valharnas moet bevestigen.



Lift en ladder in de mast

Rotor en rotorbladen

De rotor met de rotorbladen is bevestigd op de hoofdas van de gondel. De rotor heeft meestal drie rotorbladen. De bladen zijn gemaakt van composietmateriaal, bijvoorbeeld glasvezel of carbonvezel, opgevuld met epoxyhars.

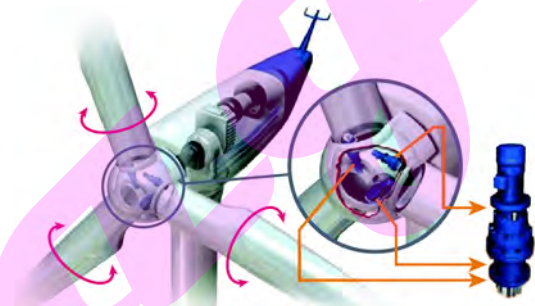


Rotor met rotorbladen, neuskegel en gondel

Bladhoekverstelling

Bij een grote HAWT kan de bladhoek van elk rotorblad afzonderlijk worden versteld. Hierdoor kan de windturbine de beschikbare windenergie optimaal benutten en een zo groot mogelijk vermogen leveren.

De tandkrans van de bladhoekverstelling wordt aangedreven door elektrische of hydraulische motoren. Elektrische motoren zijn het meest gebruikelijk, omdat deze nauwkeuriger zijn aan te sturen. De Engelse term voor bladhoek is *pitch*, de term voor bladhoekverstelling is *pitch control*.



Bladhoekverstelling (Pitch control)

De besturing lost de bladhoekremmen, stuurt de bladhoekmotoren aan, stopt de motoren en laat de bladhoekremmen aangrijpen om de rotorbladen in een bepaalde stand te houden. Als de windsnelheid te hoog is of als er onderhoud moet worden uitgevoerd, wordt de windturbine uit bedrijf genomen. De rotorbladen worden dan parallel aan de windrichting gezet en afgeremd.

De rotor kan ook volledig geblokkeerd worden. Bijvoorbeeld voor onderhoudswerkzaamheden in de rotornaaf of als de windsnelheid te hoog wordt. Een hydraulische cilinder schuift een zware, massief stalen pen in de rotornaaf, zodat de rotor niet kan gaan draaien.



Rotorblokkering

Neuskegel

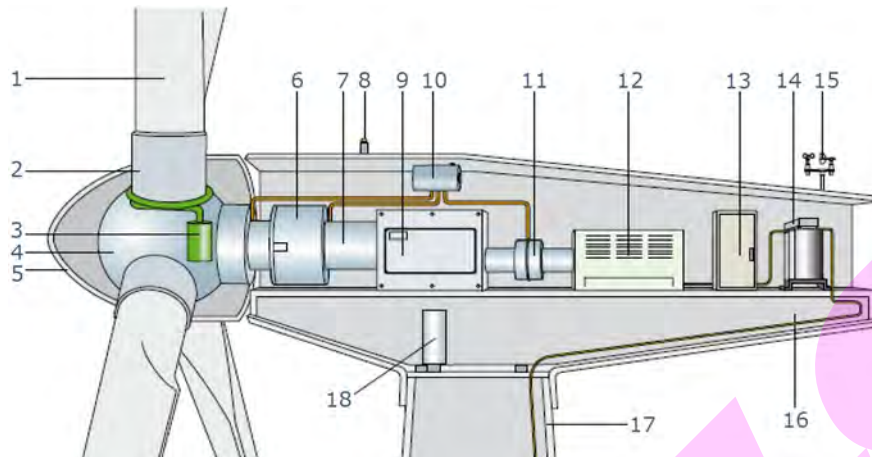
De neuskegel dicht de rotornaaf af, zodat de bladhoekverstelling en de besturing niet zijn blootgesteld aan de weersomstandigheden. De neuskegel heeft een aerodynamische vorm, zodat de wind zo gunstig mogelijk langs de naaf kan stromen.

Gondel

In de gondel (of 'nacelle') wordt de windenergie van de rotorbladen omgezet in elektrische energie. De gondel is de machinekamer van de windturbine, deze bevat allerlei belangrijke apparatuur. Bij een grote windturbine heeft de gondel soms zelfs meerdere verdiepingen.

Opbouw

De gondel is haaks op de mast bevestigd. In deze doorsnede zie je de onderdelen van de gondel.

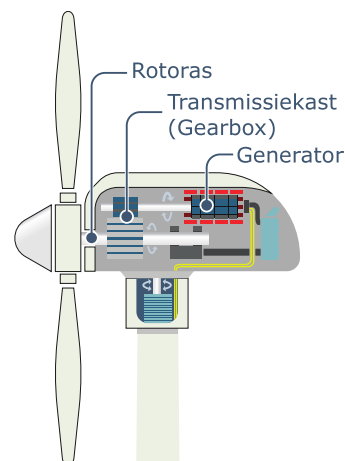


Doorsnede van de gondel

1	rotorbladen	10	remsysteem
2	bladhoekverstelling	11	rotorrem
3	bladhoekmotor	12	generator
4	rotornaaf	13	besturingskast
5	neuskegel	14	vermogenselektronica
6	rotorblokkering	15	meetinstrumenten
7	rotoras	16	machinefundatie
8	signaallamp	17	mast
9	transmissiekast	18	kruimotor

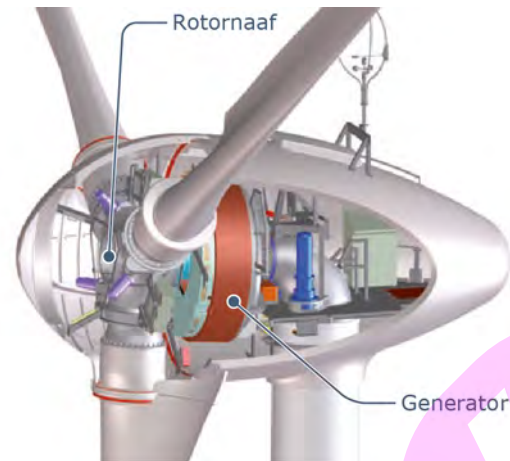
As en transmissie

De rotornaaf is verbonden met een zware, gelagerde rotoras. Oudere windturbines hebben vaak een transmissie. De transmissie verhoogt het toerental van de rotoras tot 1500 omwentelingen per minuut, voor het aandrijven van de generator. Dit noem je een *transmission drive*. Windturbines van dit type worden dan ook vaak aangeduid als transmission drive-windturbines.



Transmission drive

Een transmissiekast kan kapotgaan en heeft regelmatig onderhoud nodig. Daarom hebben veel moderne windturbines een aandrijflijn waarbij de generator direct is gekoppeld aan de rotoras. Dit noem je *direct drive*. Hierbij wordt een generator met een laag toerental gebruikt. Windturbines van dit type noem je ook wel direct drive-windturbines.



Direct drive

Voorbeeld

Gegeven

Een windturbine heeft een transmission drive en een rotortoerental van 20 omw/min. Het vermogen van de turbine is 1 MW en de rotordiameter is 52 meter. De generator vraagt 1500 omw/min.

Gevraagd

Wat is de overbrengingsverhouding van de transmissiekast?

Oplossing

Het toerental van de generator moet $1500 / 20 = 75 \times$ hoger worden dan het rotortoerental. De overbrengingsverhouding van de transmissiekast is dus 1 : 75.

Kruisysteem

Als de windrichting verandert zorgen de kruimotoren ervoor dat de neuskegel van de gondel weer op de windrichting wordt gericht. Een windturbine heeft meestal vier tot acht elektrische kruimotoren. Deze drijven de tandkrans van het kruiselement aan en stoppen als de gondel de optimale stand op de wind heeft bereikt. De Engelse term voor deze kruibeweging is *yaw*.

Doordat de windkracht continu verandert worden de kruimotoren wisselend belast. De besturing reageert op de toe- of afname van de motorstroom en stuurt de kruimotoren en de kruiselementen aan op basis van de motorbelasting. Op die manier kan de gondel zeer nauwkeurig worden gepositioneerd op de windrichting.



Kruisysteem met elektrische kruimotoren en hydraulische kruiselementen