



HELICON
GREEN
ENGINEERING

THEMA WINDENERGIE

Green Engineering, Helicon Opleidingen MBO Boxtel |

Auteur: Maarten Stassen

Eindredactie: Antoinette Brugman

Inhoud

Inleiding	3
Windenergie als duurzame energie oplossing	4
Soorten windturbines.....	4
Turbine met tandwielkast (horizontale as windturbine)	6
Direct drive turbine (horizontale as windturbine)	7
Urban Wind Turbine, UWT (horizontale as windturbine)	8
Darrius windturbine (verticale as windturbine).....	9
Turbinebladen.....	10
Snellopendheid	10
Vorm turbinebladen	11
Vast of variabel toerental	12
Winglet.....	12
Opbrengst windturbines	13
Beschikbaar vermogen wind	13
Benut vermogen windturbine	16
Vooronderzoek plaatsing windturbine	20
Locatie in kaart brengen.....	20
Windsnelheid bepalen	20
Windrichting bepalen	22
Verstoringsen	22
Je eigen windturbine plaatsen.....	23
Ondersteunende vakgebieden.....	24
Elektrotechniek.....	24
Sterkteleer.....	24
Bijlagen	25
Formuleblad.....	25
Schaal van Beaufort.....	26
Factsheet DonQi	27
Literatuurlijst.....	30

Inleiding

Windenergie is een van de oudste vormen van duurzame energie. Lang geleden werden al molens gebruikt om energie op te wekken. De energie die een molen opwekte, werd direct gebruikt om bijvoorbeeld graan te malen of water op te pompen. In Nederland zijn nog steeds een aantal windmolens die op deze manier werken.

Pas veel later zijn de elektrische windturbines ontwikkeld. De energie die hiermee werd opgewekt, kon als elektriciteit aan het net worden geleverd. De eerste werkzame windturbines werden begin negentiger jaren geplaatst in Nederland. Inmiddels staan er verspreid over Nederland zo'n 2000 windturbines op land en 96 windturbines in zee.

In dit thema kom je meer te weten over de werking van windturbines. Vragen die aan de orde komen zijn: Uit welke onderdelen bestaat een windturbine? Welke soorten windturbines zijn er? Hoe bereken je het vermogen van een windturbine? Ook leer je wat je moet onderzoeken om te bepalen waar je een windturbine kunt plaatsen.

Bij het doorlopen van de tekst van dit thema kom je allerlei opgaven en oefeningen tegen. Deze opgaven helpen je om de stof beter te begrijpen. Na afloop kun je hierdoor zelf rekenen aan windturbines. Let erop dat je bij alle opgaven en oefeningen alle stappen opschrijft die je doet om tot het antwoord te komen.

Windenergie als duurzame energie oplossing

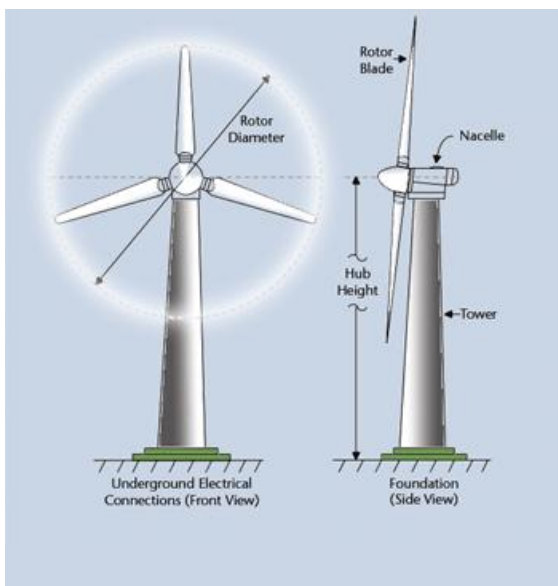
Het benutten van windenergie met een windturbine is een van de mogelijkheden om op een duurzame manier energie op te wekken. Iedere vorm van energieopwekking heeft zijn eigen kenmerken en zijn voor- en nadelen. Ook als je gebruikmaakt van windenergie zitten hieraan voor- en nadelen. Het is daarom erg belangrijk om altijd goed te kijken naar de specifieke omstandigheden op een locatie. Als je hier voldoende informatie over hebt verzameld, kun je beoordelen of de locatie geschikt is voor toepassing van windenergie. Is het niet geschikt, dan zul je moeten kijken welke andere vormen van duurzame energie hier wel toegepast kunnen worden. Andere duurzame energie toepassingen zullen in andere modules aan de orde komen.

Soorten windturbines

Een windturbine is ontworpen om de energie van de wind om te zetten in elektriciteit. Eigenlijk zet je met een windturbine kinetische energie uit de wind om in mechanische energie en vervolgens in elektrische energie. De opgewekte elektriciteit kan direct gekoppeld worden aan het elektriciteitsnet of kan direct gebruikt worden op de locatie. In Nederland zijn vrijwel alle windturbines direct aan het elektriciteitsnet gekoppeld. Dit heeft als voordeel dat de energie altijd wel ergens gebruikt kan worden. In ontwikkelingslanden wordt vaak nog wel gewerkt met losstaande systemen, omdat er vaak simpelweg geen elektriciteitsnet aanwezig is. Als hier de windturbine draait en er geen stroom nodig is, zul je de elektriciteit moeten opslaan in een accu om deze later alsnog te kunnen gebruiken.

Een windturbine bestaat uit verschillende onderdelen, waaronder:

- Rotor (turbinebladen en hub)
- Gondel (nacelle)
- Turbine mast



Figuur 1 Buitenaanzicht windturbine

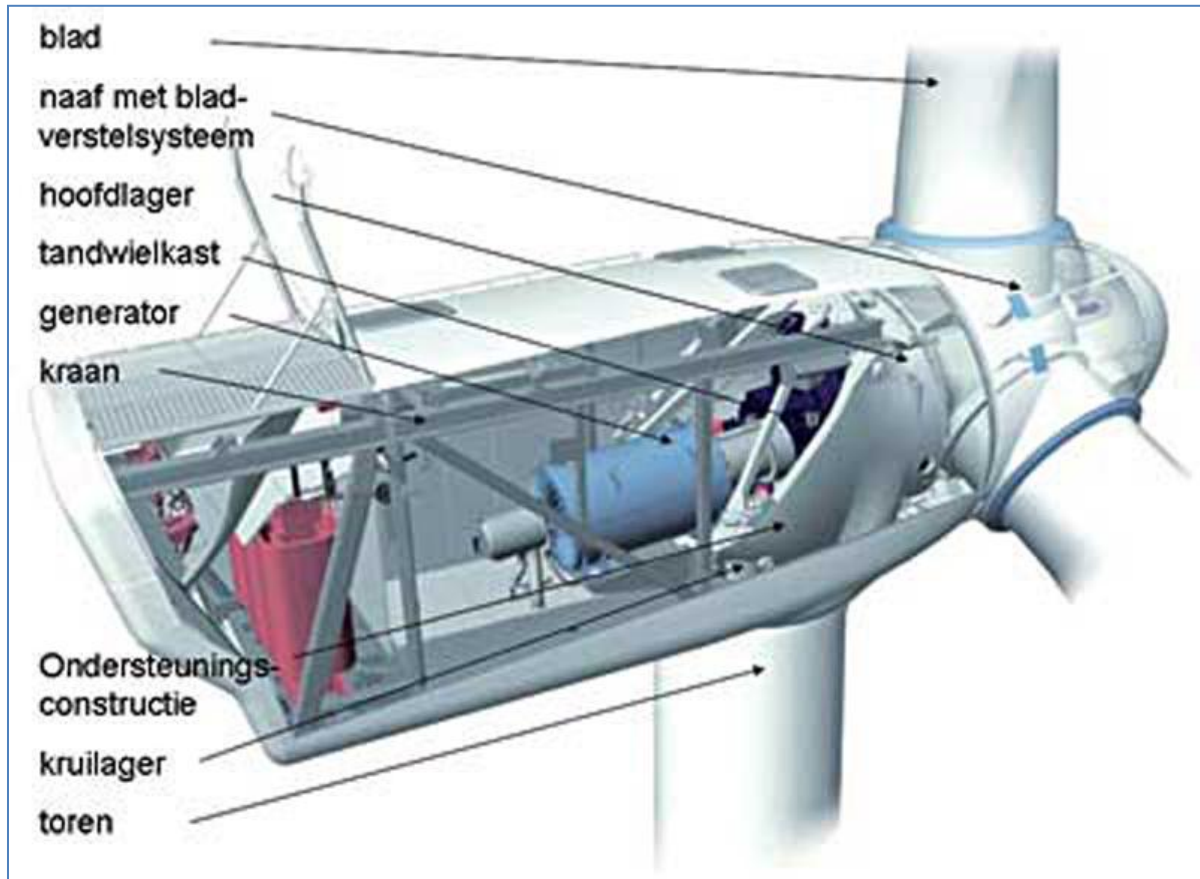
De wind zet de turbinebladen in beweging. De generator in de gondel zet deze draaiende beweging rechtstreeks of via een tandwielkast om in elektriciteit. Je kunt dit vergelijken met de dynamo op je

fiets. Hoe hard de turbinebladen gaan draaien, hangt af van de windkracht en van de stand waarin de turbinebladen staan ten opzichte van de wind.

In de afgelopen jaren zijn er verschillende soorten windturbines ontwikkeld. En windturbines die er al waren zijn verder verbeterd. Inmiddels zijn er veel soorten windturbines met verschillende vermogens. Naast een verschil in opgewekt vermogen, zijn er windturbines met verschillende soorten turbinebladen, met een verschil in draairichting (horizontale as en verticale as windturbine) en met een verschillend overbrengingssysteem. Je maakt nu kennis met een aantal van deze typen windturbines.

Turbine met tandwielkast (horizontale as windturbine)

Er zijn meerdere soorten horizontale as windturbines. Ze verschillen van elkaar, doordat ze een ander overbrengingssysteem hebben. Een daarvan is de windturbine met tandwielkast. Dit type noemt men vaak ook de klassieke windturbine. In Figuur 2 zijn de componenten van de windturbine te zien.



Figuur 2: Schematische weergave windturbine

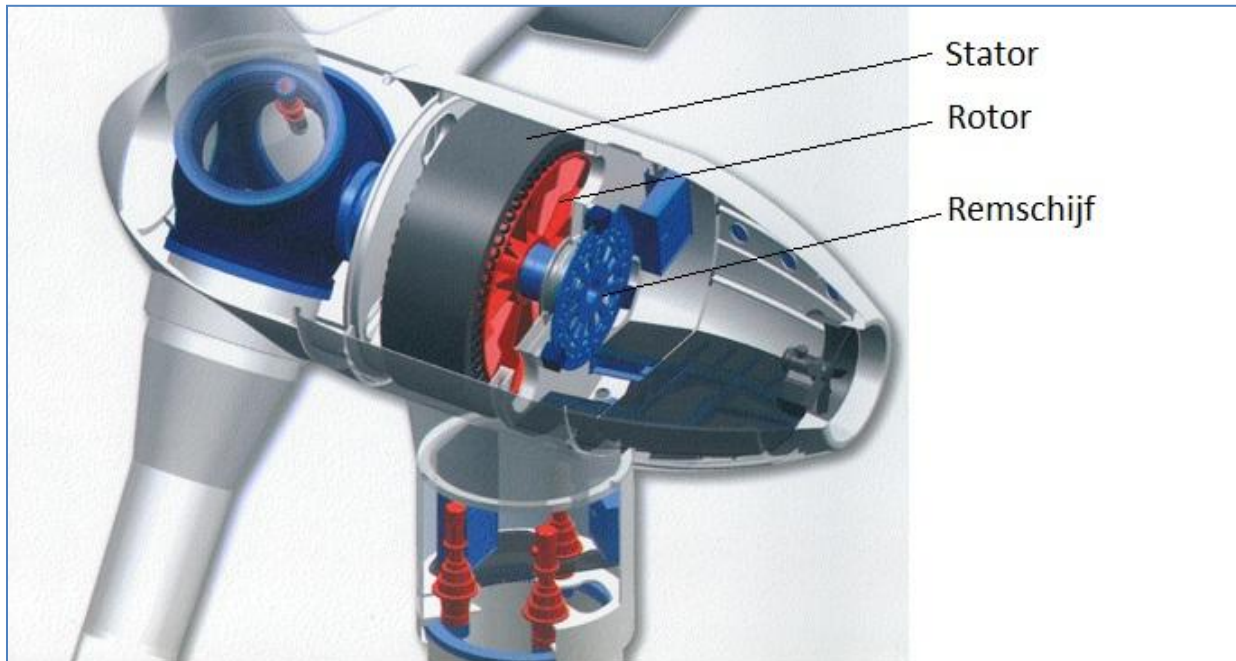
De werking van deze windturbine is als volgt. De wind stroomt langs de turbinebladen. Hierdoor komen de turbinebladen in beweging en gaat de rotor (het geheel van de turbinebladen bevestigd in de hub) draaien. De kinetische energie uit de wind wordt hierbij omgezet in mechanische energie. De draaiende rotor drijft een tandwielkast aan. Hierin zitten tandwielen die de draaiende beweging van de bladen versnellen. Aan de uitgaande zijde van de tandwielkast is een generator bevestigd. Deze generator zet de mechanische energie om in elektrische energie.

Dit type windturbine is in staat zichzelf in de wind te draaien. Het draaien van de turbine om de mast noemt je kruien. In figuur 2 zie je dat de windturbine een kruilager heeft. Ook zie je hier dat de turbinebladen versteld kunnen worden.

Bekijk deze link: <http://www.youtube.com/watch?v=TXHAK6I0rE&feature=related>

Direct drive turbine (horizontale as windturbine)

Een andere horizontale as windturbine is de direct drive turbine. Deze windturbine maakt geen gebruik van een tandwielkast, maar drijft direct de generator aan. In Figuur 3 is de schematische weergave van een direct drive turbine te zien.



Figuur 3: Schematische weergave Direct Drive Turbine

De werking van de direct drive turbine in figuur 3 is als volgt. Door de wind draaien de bladen van de turbine. De turbinebladen zitten vast in de naaf. Door het draaien van de naaf wordt de rotor aangedreven (hier is de rotor het ronddraaiende deel van de generator). Rondom de rotor bevindt zich de stator. In deze stator bevinden zich magneten, waarvan de polen aan de zijde van de rotor afwisselend noord en zuid zijn. Door het draaien van de rotor om de stator wordt er magnetisch vermogen opgewekt. Dit magnetisch vermogen wordt omgezet in elektrisch vermogen.

Bij de direct drive turbine in figuur 3 zijn de turbinebladen niet verstelbaar. Er zijn echter ook direct drive turbines waarbij de turbinebladen wel verstelbaar zijn.

Het voordeel van een direct drive turbine zonder tandwielkast is dat in dit type windturbine minder componenten zitten. Hierdoor is deze windturbine minder storingsgevoelig.

Via deze link is een filmpje te vinden over de bouw van een direct drive turbine:

http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20110707_bouwwindturbine01

Opdracht 1

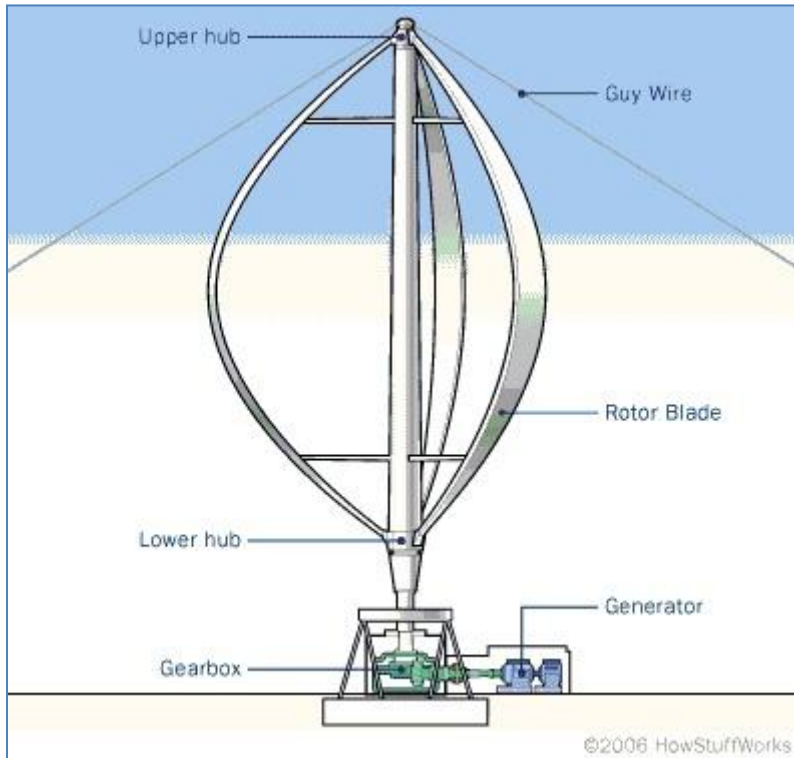
Wat is het grootste verschil tussen de klassieke windturbine en de direct drive windturbine?

Urban Wind Turbine, UWT (horizontale as windturbine)

Een steeds meer voorkomende vorm van windenergie is de Urban Wind Turbine. Dit zijn kleine windturbines die in een stedelijke omgeving geplaatst kunnen worden. Op het terrein van De Kleine Aarde in Boxtel zijn een aantal UWT's geplaatst waarvan de gegevens beschikbaar zijn.

Darrieus windturbine (verticale as windturbine)

Een andere variant voor het opwekken van energie uit wind is de Darrieus turbine. Deze windturbines draaien niet om de horizontale as, zoals de klassieke windturbine en de direct drive turbine, maar om een verticale as. Net als bij de klassieke windturbine wordt de generator via een tandwielkast aangedreven. In Figuur 4 is de schematische weergave van een direct drive turbine te zien.

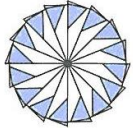
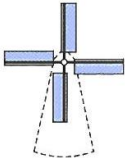
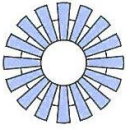
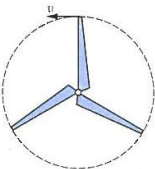
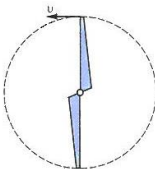
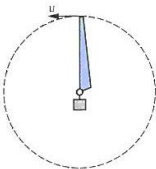
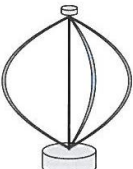

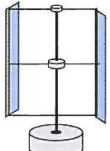
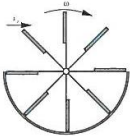
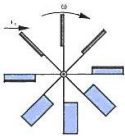
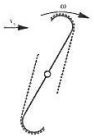


Figuur 4: Verticale Darrieus Turbine

De Darrieus turbine wordt niet veel toegepast, omdat deze windturbine een slecht rendement heeft.

Turbinebladen

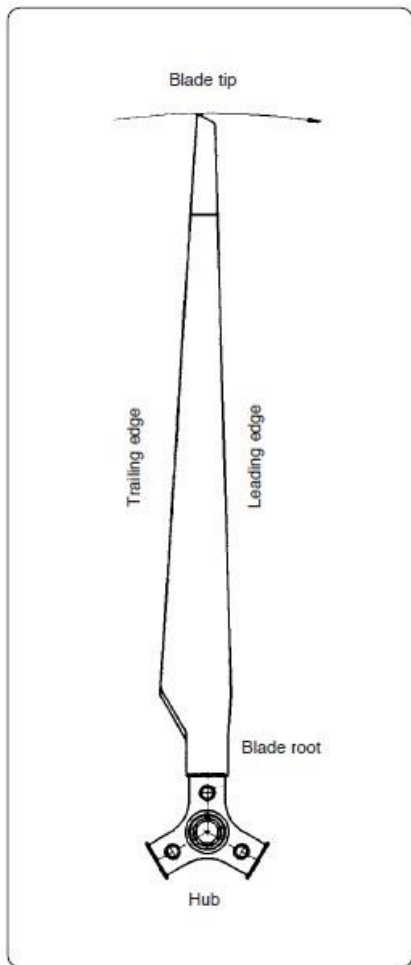
Als het waait en de turbinebladen van een windturbine in de juiste stand staan, gaan de turbinebladen draaien. De windturbine komt in beweging en wekt stroom op. De vorm en het aantal bladen hebben invloed op de draaisnelheid van een windturbine. In Figuur 5 zijn de verschillende uitvoeringen van turbinebladen te zien [1].

	 Griekse molen	 Hollandse molen	 Amerikaanse windmolen
Liftprincipe horizontale as	 Drie bladen	 Twee bladen	 Eén blad
Liftprincipe verticale as	 Darrieus	 Δ-Darrieus	 H-Darrieus
Weerstandsprincipe	 Half afgeschermd	 Vlakken klappen om	 Savonius-rotor

Figuur 5: Verschillende uitvoeringen van turbinebladen

Snellopendheid

De meeste windturbines hebben drie bladen, omdat de snellopendheid dan lager is dan bij één blad. De snellopendheid is de verhouding tussen de maximale wiksnelheid en de windsnelheid. De maximale wiksnelheid is de snelheid ter hoogte van het uiteinde van de wijk, de tip. De snellopendheid noem je daarom ook wel de tipsnelheid.



Figuur 6: Turbineblad met tip

Doordat de snellopendheid van een turbine met drie bladen lager is dan bijvoorbeeld een turbine met twee bladen, is het toerental van deze windturbine lager. Een lager toerental betekent dat de tipsnelheid (de snelheid van de punt van het blad) lager is. Hierdoor is de hoeveelheid geluid die de windturbine produceert minder.

De snellopendheid bereken je met de volgende formule:

$$\lambda = \frac{v_{tip}}{v_{wind}}$$

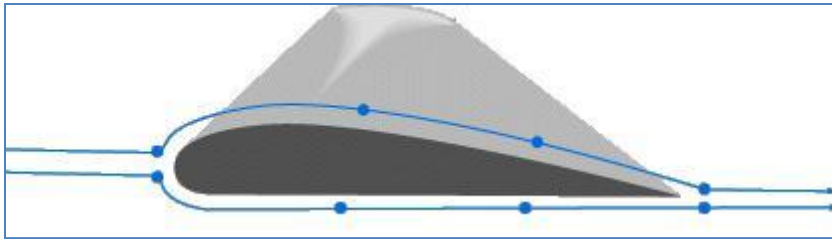
= snellopendheid

v_{tip} = snelheid van de tip van het blad

v_{wind} = snelheid van de wind

Vorm turbinebladen

Een turbineblad maakt gebruik van het lift principe, dit is gebaseerd op de wet van Bernoulli. Volgens de wet van Bernoulli ontstaat er, wanneer de lucht over het blad een langere weg moet afleggen dan de lucht onder het blad, een lagere druk boven het blad.



Figuur 7: Lucht stroming langs een turbine blad

Moderne windturbines zijn in staat om de hoek van het blad te verstellen. Dit noem je de bladshoekverstelling, ook wel de “pitch” verstelling. Door de hoek van het blad te verstellen, wordt de wind zo optimaal mogelijk langs het blad geleid.

Opdracht 2

Om de werking van de aërodynamische vorm van de vleugel en de werking van lift aan te tonen, krijgen je een blok piepschuim. Dit gaan je verwerken tot een vleugelprofiel. In de les zullen de verschillende vleugels met elkaar worden vergeleken.

Vast of variabel toerental

Een turbine met een vast toerental is simpeler en dus goedkoper. Maar een variabel toerental biedt veel voordelen. Bij een variabel toerental wordt het toerental afgestemd op de windsnelheid. Als het minder hard waait, gaat de turbine langzamer draaien. Hierdoor is de lucht aanstroming op het blad gunstiger, waardoor het blad minder luchtweerstand ondervindt Dit levert een hogere totale opbrengst. Verder is bij een variabel toerental het geluidsniveau lager bij lagere windsnelheden.

Winglet

Een vernieuwing in de afgelopen jaren is dat de tip (punt) van het turbineblad is omgebogen. Dit noem je een winglet. Het toepassen van een winglet zorgt ervoor dat de werveling van de wind die ontstaat achter het turbineblad verminderd wordt [2].



Figuur 8: Winglet

Opbrengst windturbines

Als je een windturbine plaatst, wil je weten hoeveel energie de windturbine zou kunnen opwekken. Hiervoor moet je meer weten over de energie die aanwezig is door de wind die waait. En je moet weten hoeveel van deze energie de windturbine kan benutten. Om hier achter te komen, ga je in dit hoofdstuk een aantal berekeningen uitvoeren. De theorie is afkomstig uit het boek Toegepaste energietechniek deel 2 [1].

Beschikbaar vermogen wind

Een voorwerp of lichaam dat beweegt, heeft bewegingsenergie. Dit noem je ook wel kinetische energie. De hoeveelheid kinetische energie hangt af van de massa en van de snelheid van het voorwerp. De formule om de kinetische energie te berekenen is:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad [\text{J}]$$

E_k = energie [J]

m = massa [kg]

v = snelheid [m/s]

Opdracht 3

Bekijk het filmpje: http://www.youtube.com/watch?v=5C5_dOEyAfk

Leg uit waarom de veer en de hamer tegelijk landen.

Opdracht 4

Een astronaut met een massa van 75 kilogram [kg] zweeft in de ruimte.

- A. Wat is de massa van de astronaut?
- B. Als de astronaut op aarde is, wat is dan zijn gewicht?

Opdracht 5

Een Ferrari met een massa van 1200 kg rijdt met een snelheid van 170 km/h over de snelweg.

- A. Reken de snelheid om van kilometer per uur naar meter per seconde.
- B. Bereken de energie van de Ferrari in joule [J].
- C. Bereken de energie van de Ferrari in megajoule [MJ].

Opdracht 6

De trein van 's-Hertogenbosch naar Boxtel rijdt met een snelheid van 25 meter per seconde. De massa van de trein is 44,8 ton.

- A. Bereken hoe snel de trein rijdt in kilometer per uur [km/h].
- B. Reken de massa van de trein om in kilogram [kg].
- C. Bereken de energie van de trein in joule [J].
- D. Bereken de energie van de trein in megajoule [MJ].

LET OP: Er is een verschil tussen de energie en het vermogen. Het vermogen is de hoeveelheid energie (joule) per tijdseenheid (seconde). De eenheid van vermogen is watt (W).

$$1 \text{ Watt} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{seconde}}$$

Breng het aantal seconden naar de andere kant

$$1 \text{ Watt} * \text{seconden} = 1 \text{ Joule}$$

Reken het aantal seconden om naar uur

$$1 \text{ Watt} * \text{uur} = 3600 \text{ Joule}$$

Opdracht 7

Hoeveel joule is een kWh?

Opdracht 8

Ik heb een lampje van 20 W die ik 25 uur laat branden.

- Hoeveel wattuur heb ik dan?
- Hoeveel kWh is dat?
- Hoeveel joule is dat?

Je kunt de massa (m) van een voorwerp uitrekenen als je de dichtheid ρ in kg/m^3 en het volume V in m^3 weet.

$$m = \rho * V$$

Opdracht 9

In de achtertuin staat een zwembad met 1000 liter water.

- Bereken de hoeveelheid water in het zwembad in kubieke meter [m^3]
- Wat is de dichtheid van water bij een temperatuur van 20°C ? Geef je antwoord in kg/m^3 .
- Wat is de massa van het water in het zwembad? Geef je antwoord in kg.

Opdracht 10

Een doos die in de kamer staat is gevuld met lucht. De temperatuur in de kamer is 20°C . De lengte van de doos is 1 meter, de breedte van de doos is 1 meter en de hoogte van de doos is 1 meter.

- Bereken het volume van de lucht in de doos in kubieke meter [m^3].
- Wat is de dichtheid van de lucht bij een temperatuur van 20°C ? Geef je antwoord in kg/m^3 .
- Wat is de massa van de lucht in de doos? Geef je antwoord in kg.

Eerder in dit hoofdstuk is aangegeven dat de kinetische energie gelijk is aan:

$$E_k = \frac{1}{2} m * v^2 \quad [\text{J}]$$

De massa kun je ook uitrekenen door de dichtheid te vermenigvuldigen met het volume. De formule voor kinetische energie wordt dan:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot v^2 \text{ [J]}$$

E_k = kinetische energie [J]

$$E = \frac{1}{2} \rho * v^2$$

ρ = dichtheid [kg/m³]

V = volume [m³]

v = snelheid [m/s]

Nu je de kinetische energie van de lucht kunt berekenen, ga je kijken naar het vermogen, de hoeveelheid energie per seconde. Het vermogen P is de energie die per seconde door een oppervlak A stroomt. Het volume dat per seconde door oppervlak A stroomt, is gelijk aan de oppervlakte A [m²] vermenigvuldigd met de snelheid v [m/s] waarmee de lucht door oppervlakte A stroomt, ofwel het product: $A * v$.

Het vermogen van de wind, (P_{wind}) bereken je als volgt:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho * v^2 * A * v \quad \text{[W]}$$

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho * v^3 * A \quad \text{[W]}$$

Oefening 1

Door een open raam met de afmetingen 3 meter bij 4 meter, waait de wind met een snelheid van 15 km/uur. Bereken de windenergie die door dit vlak stroomt.

Oefening 2

Door een turbine met een diameter van 30 meter stroomt de wind met een snelheid van 27 km/uur. Bereken de windenergie die door de turbine stroomt.

Benut vermogen windturbine

Het vermogen dat een windturbine onttrekt uit de wind is te berekenen met de volgende formule:

$$P_{\text{turbine}} = C_p * \frac{1}{2} \rho * v^3 * A$$

P_{turbine} = vermogen dat door de turbine onttrokken wordt uit de wind [W]

C_p = vermogenscoëfficiënt

ρ = dichtheid van lucht [kg/m^3]

v = windsnelheid [m/s]

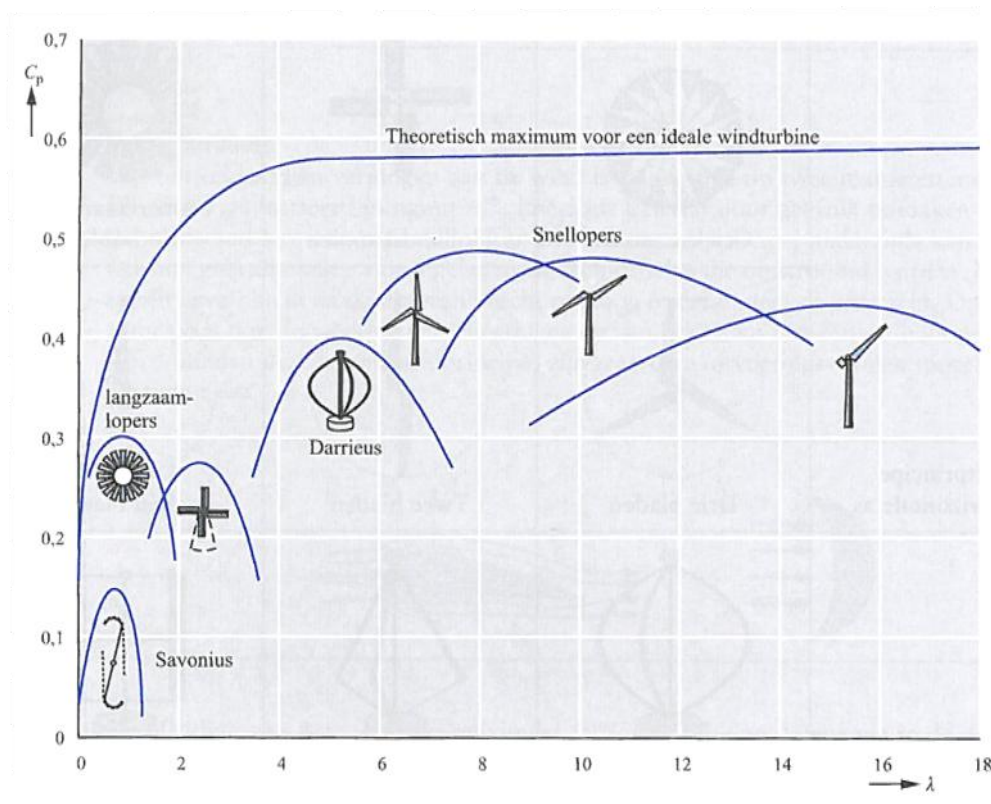
A = oppervlak [m^2]

Betz-optimum

Het Betz-optimum is een theoretische benadering voor de maximale vermogensoverdracht van wind [1]. Volgens deze benadering is het niet mogelijk een hoger aëro dynamisch rendement te halen dan ongeveer 60%. Met andere woorden: de vermogenscoëfficiënt (C_p) kan volgens Betz niet hoger zijn dan 0,6.

$$\text{Betz optimum } C_p = \frac{16}{27} = 0,5926 \approx 60\%$$

In de praktijk ligt het rendement van een goede windturbine tussen de 35% en de 45%.



Figuur 9: Het Betz-optimum in de praktijk

In de praktijk blijkt echter dat het Betz-optimum niet wordt gehaald, om de volgende redenen:

1. Er is energieverlies doordat de uittredende lucht achter de turbine draait. Dit is het sterkst bij langzaam draaiende turbines.
2. Het blad heeft wrijvingsverliezen (drag).
3. Het blad heeft tipverliezen.
4. Het centrum van de rotor veroorzaakt verliezen.
5. Betz ging uit van een oneindig aantal wieken.

Het vermogen van een windturbine is niet het gemiddelde vermogen, dat is namelijk afhankelijk van de windsnelheid. Het vermogen dat vermeld staat bij windturbines is het geïnstalleerd vermogen, dit wordt ook wel het nominaal vermogen genoemd. Het nominaal vermogen is het maximale vermogen van de windturbine.

Opdracht 11

Een veehouder uit Esch (Noord-Brabant) wil graag een windturbine op zijn land zetten. Hij heeft gekozen voor een turbine met drie wieken met een diameter van 100 meter. Ook heeft hij metingen gedaan op zijn land. Zijn conclusie uit de metingen is dat op zijn land de gemiddelde windsnelheid 5 m/s is.

- A. Bereken de oppervlakte (A) van deze turbine.
- B. Leg uit welke C_p je hebt gekozen.
- C. Bereken het nominaal vermogen ($P_{turbine}$).

Opdracht 12

Een bedrijf op het industrieterrein Ladonk, Boxtel wil graag een UWT op hun dak plaatsen. Het bedrijf heeft gekozen voor de Donqi windturbine. In Bijlage I zijn de specificaties te vinden van de Donqi windturbine.

- A. Welk vermogen levert de Donqi UWT bij een windsnelheid van 5 m/s? Geef je antwoord in [W].
- B. Wat is de oppervlakte van de Donqi?
- C. Schrijf de formule voor het vermogen om, zodat je de formule voor het berekenen van C_p krijgt.
- D. Bereken de C_p van de Donqi bij een windsnelheid van 5 m/s.

Opdracht 13

Elsje fietst elke dag naar Helicon. Hiervoor heeft ze van haar ouders een fiets gekregen met een windturbine!



- Elsje heeft een massa van 50 kilogram en haar fiets weegt 6 kilogram. Bereken de totale massa [kg].
- Stel dat Elsje met een snelheid van 16,2 kilometer per uur naar school fietst. Elsje woont precies 12,15 kilometer van school af. Hoe lang doet Elsje er dan over om op school te komen? Geef je antwoord in minuten.
- Reken de snelheid uit vraag B om in meter per seconde [m/s].
- Bereken de energie die Elsje heeft tijdens het naar school fietsen. Laat hierbij de windturbine buiten beschouwing. Let op dat je de juiste eenheid erbij zet.

Elsje heeft een fiets met daarop een windturbine met een diameter van 1 meter. In Tabel 1 is een windverdeling te vinden van de route die Elsje elke dag fietst als zij naar school rijdt. Helaas heeft Elsje altijd pech en heeft ze altijd wind tegen!

- Elsje wil op woensdagmiddag om 15:00 uur op school zijn. Zoek op in Tabel 1: Welke windkracht is er op dat moment?
- Zoek op in Tabel 2: De schaal van Beaufort welke benaming deze windkracht heeft.
- Zoek op in Tabel 2 wat de windsnelheid is in meter per seconde [m/s].
- Als Elsje op dinsdagochtend om 10:00 van huis weggaat, welke windsnelheid is er dan? Geef je antwoord in meter per seconde [m/s].
- Bereken de oppervlakte van de windturbine op de fiets van Elsje. Geef je antwoord in vierkante meters [m²].
- Bereken het vermogen van de wind voor het moment waarop Elsje op woensdagmiddag weggaat (zie vraag E). Ga er hierbij vanuit dat de dichtheid [ρ] van de lucht 1,2 is. Geef je antwoord in Watt [W].
- Bereken het vermogen die de windturbine van Elsje uit de windsnelheid kan halen. Ga er hierbij vanuit dat de turbine van Elsje een C_p waarde heeft van 0,35 (of 35%). Geef je antwoord in Watt [W].

In de voorgaande berekeningen heb je de energie die Elsje heeft berekend en het vermogen die de windturbine op de fiets van Elsje levert.

Tabel 1: Windverdeling

Dag van de week	Dagdeel	Windkracht op de schaal van Beaufort
Maandag	9:00-12:00	3
	12:00-18:00	4
	18:00-21:00	4
Dinsdag	9:00-12:00	2
	12:00-18:00	3
	18:00-21:00	2
Woensdag	9:00-12:00	5
	12:00-18:00	5
	18:00-21:00	6
Donderdag	9:00-12:00	5
	12:00-18:00	3
	18:00-21:00	4
Vrijdag	9:00-12:00	4
	12:00-18:00	4
	18:00-21:00	3

Vooronderzoek plaatsing windturbine

Als je op een bepaalde locatie (bijvoorbeeld op het terrein van een school) een windturbine wil plaatsen, bijvoorbeeld een UWT, is het belangrijk om te weten hoeveel energie de windturbine zou kunnen leveren. Hiervoor moet je eerst weten hoe de omstandigheden zijn op het terrein waar je de windturbine gaat plaatsen en op de specifieke plaats waar de windturbine komt te staan.

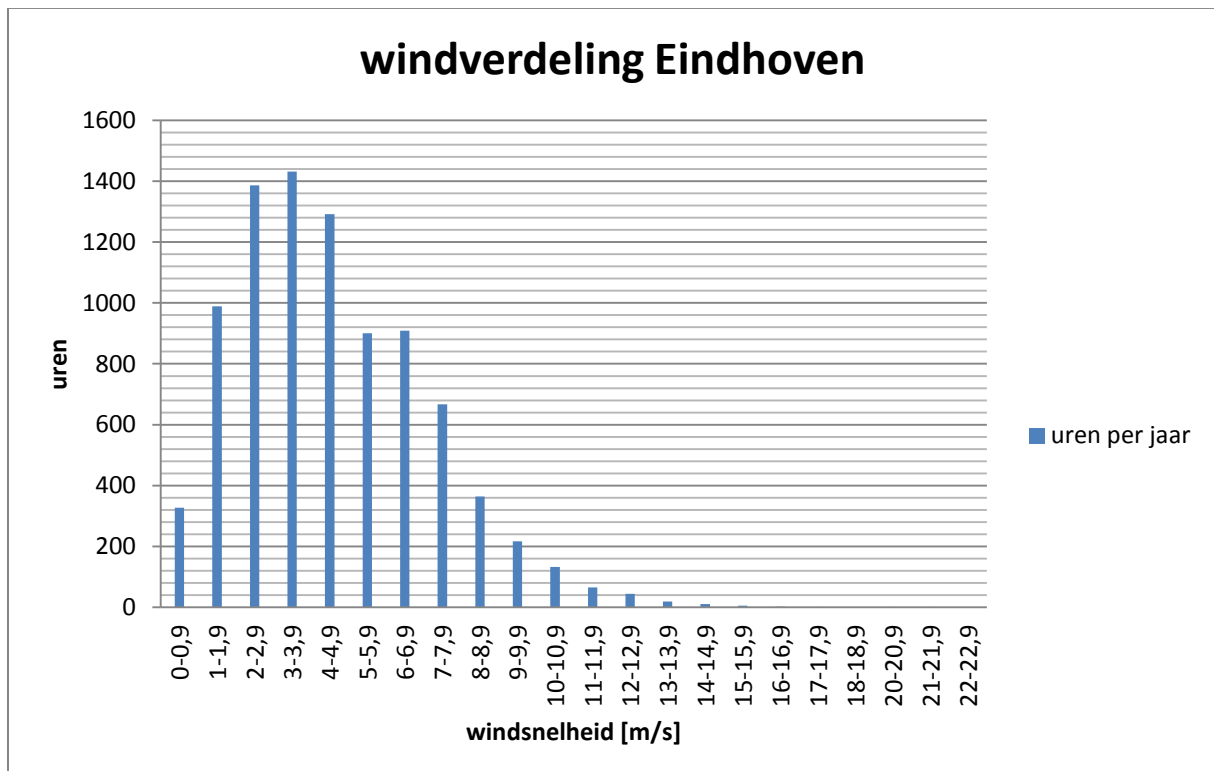
Locatie in kaart brengen

In het vooronderzoek ga je daarom eerst de locatie in kaart brengen. Je let hierbij op de volgende punten:

1. Hoe vaak en hoe hard waait het op de locatie?
2. Uit welke richting komt de wind?
3. Is er verstoring uit die windrichting?

Windsnelheid bepalen

Om de verwachte jaaropbrengst van een windturbine te kunnen bepalen, is de windsnelheid op de locatie erg belangrijk. Om deze windsnelheden overzichtelijk in beeld te brengen, gebruik je een windsnelheidsverdeling. Hierin staat de windsnelheid in m/s uitgezet tegen het aantal uren per jaar dat deze windsnelheid voorkomt. Op de website van het KNMI zijn de meetgegevens te vinden van verschillende meetstations in Nederland. Uit deze gegevens kun je een windsnelheidsverdeling maken, zoals bijvoorbeeld die van Eindhoven in figuur 10.

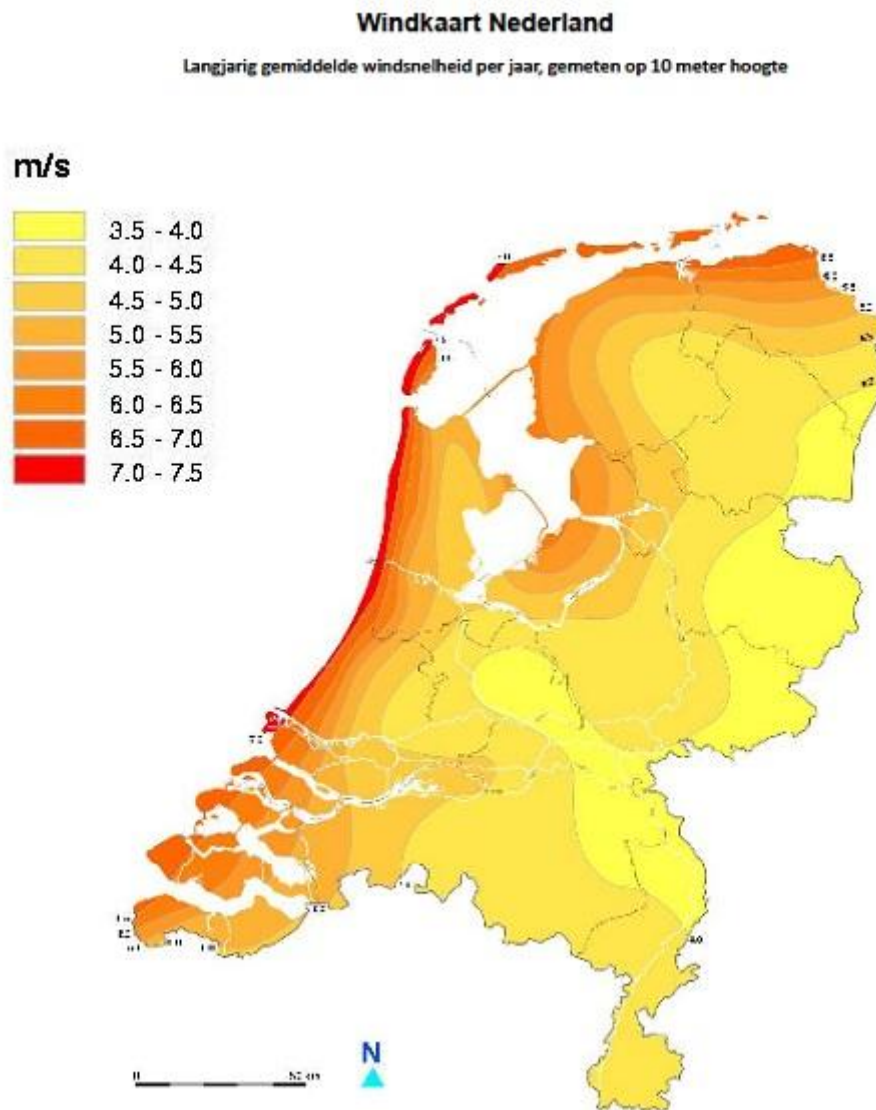


Figuur 10: windsnelheidsverdeling Eindhoven op basis van gegevens van het KNMI

Op de volgende website staan de meetgegevens van het KNMI:

<http://www.knmi.nl/samenw/hydra/cgi-bin/freqtab.cgi?language=nl>

Uit de gegevens in Figuur 10 kun je opmaken dat een windsnelheid tussen de 3-3,9 m/s het meeste voorkomt in de omgeving van Eindhoven en dat een windsnelheid boven de 11 m/s zelden voorkomt.



Figuur 11: windkracht in Nederland

Als je naar de gemiddelde windsnelheden in heel Nederland kijkt, valt op dat de gemiddelde windsnelheid aan de kust hoger is dan meer landinwaarts.

Opdracht 14

Zoek voor je eigen woonplaats uit wat de gemiddelde windsnelheid is. Gebruik hiervoor de website van de NASA: <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets@nrcan.gc.ca>
Gebruik voor het bepalen van de coördinaten Google maps.

Opdracht 15

Je gaat nu de windverdeling maken voor Boxtel. Omdat Boxtel niet voorkomt als meetstation, kijk je naar de windverdeling van omliggende meetstations. Gebruik hiervoor Eindhoven, Gilze-Rijen en Volkel.

- A. Ga naar de website met de meetgegevens van het KNMI (zie hiervoor de link vermeld bij figuur 10). Kies als station: Gilze-Rijen. Kies als verdeling 'cumulatief absoluut'.
- B. Doe hetzelfde voor Eindhoven en Volkel.

Opdracht 16

- A. Zoek op de website van het CBS hoeveel procent van de Nederlandse energie in 2010 werd opgewekt uit hernieuwbare energiebronnen.
- B. Geef de hernieuwbare energiemix van Nederland weer in een taartdiagram.

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=70789NED&D1=1&D2=0-5,9-13,16&D3=46,51-59&HDR=G2&STB=T,G1&VW=T>

Windrichting bepalen

De wind waait niet altijd uit dezelfde richting, maar de windrichting varieert. Kijk maar eens naar de meetgegevens van het KNMI die je bij opdracht 16 gebruikt hebt (zie de link vermeld bij figuur 10). In de tabel kun je zien hoeveel uur een bepaalde windsnelheid per jaar voorkomt in een specifieke windrichting.

Opdracht 17

- A. Maak in Excel een frequentieverdeling van de meetgegevens van Eindhoven voor de richting zuid west (230-250 graden).
- B. Doe dit ook met de meetgegevens van Den Helder.
- C. Verklaar het verschil tussen beide frequentieverdelingen.

Verstoringen

Als je goed in beeld hebt wat gedurende het jaar de windsnelheden en windrichtingen zijn op een locatie, kun je op zoek gaan naar een plaats voor de windturbine op het terrein. Belangrijk is hierbij dat de windturbine als het waait zoveel mogelijk wind vangt. Er moeten daarom geen obstakels in de directe omgeving van de windturbine staan, die de wind ter plaatste van de windturbine kunnen afzwakken. Dit soort obstakels noem je ook wel verstoringen, omdat ze de stroming van de wind verstoren. Dit kunnen bijvoorbeeld hoge bomen zijn, of gebouwen.

Vaak is het handig om voordat je definitief besluit waar de windturbine komt te staan, een schets maakt van de situatie op het terrein. Hierin geef je de mogelijke plaats(en) aan voor de windturbine en de eventuele verstoringen. Let erop dat de verstoringen ook net buiten het terrein van de opdrachtgever kunnen vallen. Samen met de informatie over de windsnelheden en de windrichtingen, kun je dan beoordelen welke plaats voor de windturbine het meest geschikt is.

Je eigen windturbine plaatsen

Voordat je jouw windturbine kunt plaatsen, moet je eerst de plaats bepalen waar de windturbine moet komen. Je gaat nu stapsgewijs de situatie bekijken voor je eigen locatie.

1. De eerste stap is het bepalen van de windsnelheden op jouw locatie. Dit doe je met de meetgegevens van het KNMI. Er zijn maar een beperkt aantal meetstations in Nederland, waardoor het mogelijk is dat jouw locatie hier niet bijzit. Als dat zo is, kijk je naar een paar meetstations die het dichtst bij jouw locatie liggen. Open de volgende link van het KNMI.
<http://www.knmi.nl/samenw/hydra/cgi-bin/freqtab.cgi?language=nl>
 - Onderzoek welke meetstations er in de omgeving van jouw locatie liggen.
 - Bekijk met behulp van de windroos uit welke richting de wind komt bij deze meetstations.
 - Wijzig rechtsboven het verdelingstype in 'Distributief Absoluut' en bekijk deze gegevens voor de meetstations in de buurt van jouw locatie. Deze data geven aan hoeveel uren per jaar er welke windsnelheid uit welke windrichting is.
 - Verwerk de informatie over de meetstations in Excel en maak hiermee een verwachting van de windsnelheden over het hele jaar voor je eigen locatie.
2. De tweede stap is het beschrijven van de locatie. Geef hierbij antwoord op de volgende vragen:
 - Kijk goed naar het terrein waar je de windturbine gaat plaatsen. In de eerste stap heb je gezien uit welke windrichting de wind voornamelijk komt. Zijn er in de omgeving van het terrein obstakels die de windsnelheid en de windrichting op het terrein kunnen verstoren? Gebruik om dit uit te zoeken Google maps.
 - Kies één (of twee) mogelijke positie(s) op het terrein waar je jouw windturbine kunt plaatsen. Zijn er verstoringen op de locatie (het terrein), zoals hoge bomen of gebouwen, die van invloed kunnen zijn op de windkracht op deze positie(s)?
 - Waarom denk je dat deze obstakels of verstoringen wel of geen invloed hebben op de prestaties van jouw windturbine?
3. De derde en laatste stap is het verwerken van de informatie die je gevonden hebt bij de eerste en tweede stap tot een rapport over je eigen locatie. In dit rapport geef je voor je eigen locatie aan welke windsnelheden je over het hele jaar verwacht. In het rapport zet je ook een schets van het terrein met de plaats van de windturbine en de mogelijke verstoringen.

Ondersteunende vakgebieden

Elektrotechniek

Een windturbine wekt stroom op. Er is kennis nodig over elektrotechniek, om te kunnen rekenen aan de opgewekte energie en het vermogen van een windturbine. Er zijn aparte lessen waarin je meer leert over elektrotechniek.

Sterkteleer

Bij een windturbine is het belangrijk om een berekening te kunnen maken van de stabiliteit van de mast. Hiervoor moet je wat basiskennis hebben over sterkteleer. Dit komt aan de orde in aanvullende lessen.

Bijlagen

Formuleblad

$$\frac{km/h}{3,6} = m/s \rightarrow m/s * 3,6 = km/h$$

$$F = m \cdot a$$

F = Kracht (of gewicht) [N]

m = massa [kg]

a = versnelling [m/s²]

(valversnelling op aarde is afgerond 10 m/s²)

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

E = energie in Joule [J]

m = massa in kilogram [kg]

v = snelheid in meter per seconde [m/s]

$$\text{Oppervlak van een cirkel} = \pi r^2 \text{ of } \frac{1}{4} \pi D^2$$

A = oppervlak in vierkante meters [m²]

r = straal van een cirkel in meters [m] of

D = diameter van een cirkel in meters [m]

$$\text{Vermogen uit wind} : P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A$$

P = vermogen [W]

ρ = dichtheid van lucht = 1,2 [kg/m³]

v = windsnelheid in meter per seconde [m/s]

A = oppervlak van de windturbine in vierkante meters [m²]

$$\text{Vermogen die een windturbine uit wind kan halen: } P = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A$$

P = vermogen [W]

C_p = maximale vermogensoverdracht (gegeven in de opgave)

ρ = dichtheid van lucht = 1,2 [kg/m³]

v = snelheid in meter per seconde [m/s]

A = oppervlak in vierkante meters [m²]

Schaal van Beaufort

Tabel 2: De schaal van Beaufort

kracht	benaming	wind gemiddelde snelheid over 10 minuten	wind gemiddelde snelheid over 10 minuten	uitwerking boven land en bij mens
		km/h	m/sec	
0	stil	0-1	0-0,2	rook stijgt recht of bijna recht omhoog
1	zwak	1-5	0,3-1,5	windrichting goed af te leiden uit rookpluimen
2	zwak	6-11	1,6-3,3	wind merkbaar in gezicht
3	matig	12-19	3,4-5,4	stof waait op
4	matig	20-28	5,5-7,9	haar in de war; kleding flappert
5	vrij krachtig	29-38	8,0-10,7	opwaaiend stof hinderlijk voor de ogen; gekuifde golven op meren en kanalen; vuilcontainers waaien om
6	krachtig	39-49	10,8-13,8	paraplu's met moeite vast te houden
7	hard	50-61	13,9-17,1	het is lastig tegen de wind in te lopen of te fietsen
8	stormachtig	62-74	17,2-20,7	voortbewegen zeer moeilijk
9	storm	75-88	20,8-24,4	schoorsteenkappen en dakpannen waaien weg; kinderen waaien om
10	zware storm	89-102	24,5-28,4	grote schade aan gebouwen; volwassenen waaien om
11	zeer zware storm	103-117	28,5-32,6	enorme schade aan bossen
12	orkaan	>117	>32,6	verwoestingen

Factsheet DonQi



Independent energy

Technical specifications donQi Urban Windmill 1.5

General	Durability	> 15 years
	Operating temperature	-20 ^o C/75 ^o C
	Weight	110 kg
	Protection degree	IP 65 outside
	Software version	3.05
Output	Nominal Power (W)	1750
	Maximum Power (W)	2250
	Maximum Output (rpm)	1800
	Output wind speed (m/s)	14
	Output (rpm)	1150
	Starting speed (m/s)	2,9
	"Cut-out" speed (m/s)	20
Turbine MK3	Material	ABS with stainless Construction
	Turbine type	Diffuser augmented wind turbine
	Diameter turbine max.(mm)	2000
	Length turbine (mm)	1000
	Color	Standard RAL 9010, other colors possible
	Number of blades	3
	Blade type	3D CFD Optimized
	Rotor diameter (mm)	1500
	Rotor surface (m2)	1,77
	Tip speed ratio	4,2
	Noise level (db)	4,5 m/s: 40 – 9 m/s: 50
	Blade material	Nylon, glass fiber reinforced
Construction	Mast	Galvanized St-235
	Length (min/max)	3,5 /11,5
	Electrical contact	Anti-twist by trapezoidal screw mechanism
	Damping mastfoot	Rubber dampening
	Earthing	Via hoisting eye
	Guarantee (min-max)	2 years standard, can be extended up to 5 years.

Version 111130 MH

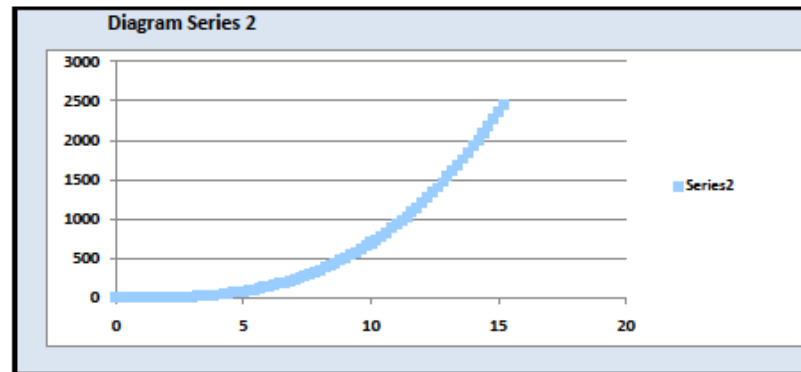
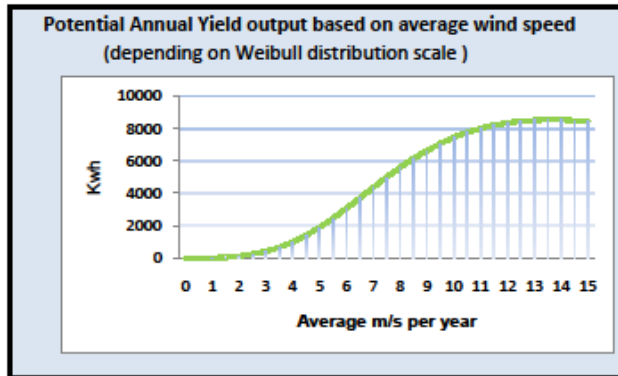
T +31 (0)10 213 03 88
F +31 (0)10 267 92 57

W www.donqi.eu
E info@donqi.eu

KvK 343.020.30
BTW NL 8198.04.7701.001

donQi 1.5 Venturi Windmill - PV Curve

Performance	
(break at 20m/s)	
Windspeed	Power
meter/second	kW
1	0.000
2	0.000
3	0.019
4	0.044
5	0.087
6	0.150
7	0.238
8	0.355
9	0.505
10	0.693
11	0.922
12	1.197
13	1.522
14	1.901
15	2.300
16	2.300
17	2.300
18	2.300
19	2.000
20	2.000
21	0.800
22	0.800



Literatuurlijst

- [1] Toegepaste energietechniek deel 2, ir. J. Ouwehand, mei 2009
- [2] Sorensen, February 2006