

42 In de Noordzee is een windmolenpark gebouwd. Bekijk figuur 6.93.

- a Leg met behulp van figuur 6.93 uit waarom een windmolenpark in zee wordt gebouwd.

In een windmolen zit een generator die bewegingsenergie van de wind omzet in elektrische energie. De energie van de lucht die per seconde op een windmolen afkomt, heet het vermogen van de lucht.

Voor dit vermogen geldt de formule:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

- $\rho$  is de dichtheid van de lucht in  $\text{kg m}^{-3}$ .
- $A$  is de oppervlakte van de cirkel die de ronddraaiende wieken innemen in  $\text{m}^2$ .
- $v$  is de windsnelheid in  $\text{m s}^{-1}$ .

De wieken van de windmolen maken een cirkel met een diameter van 60 m. Bij windkracht 6 is de windsnelheid bij de molen gelijk aan  $43 \text{ km h}^{-1}$ .

- b Bereken het vermogen van de lucht in deze situatie.

Bij het passeren van de windmolen neemt de snelheid van de wind af. Het vermogen dat de wind daarbij afgeeft aan de windmolen hangt af van de windsnelheid voor en achter de molen. Het verschil hiertussen moet niet te klein, maar ook niet te groot zijn. Het vermogen is optimaal als de windsnelheid afneemt tot een derde deel.

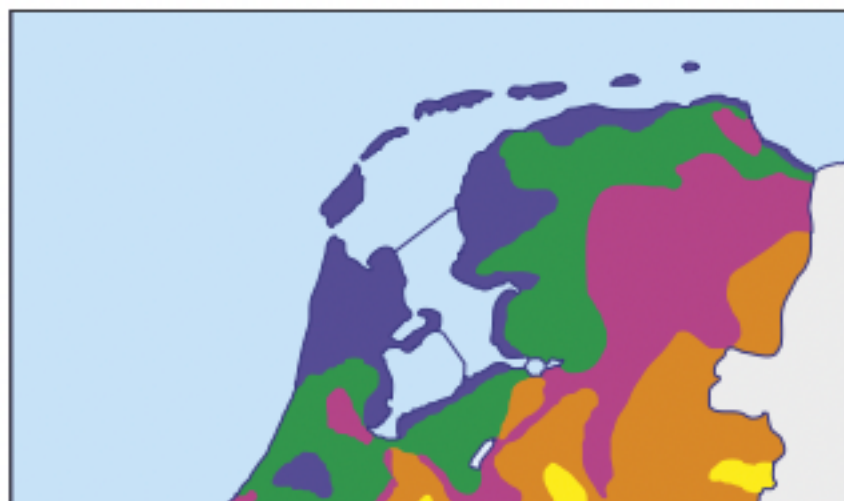
- c Bereken hoeveel procent van het vermogen van de lucht dan wordt afgegeven aan de windmolen.

De geschatte energieopbrengst per jaar van het windmolenpark is  $1,1 \cdot 10^9 \text{ MJ}$ . Een gemiddeld huishouden in Nederland gebruikt jaarlijks  $4,0 \cdot 10^3 \text{ kWh}$  aan elektrische energie.

- d Bereken hoeveel huishoudens volgens deze schatting op dit windmolenpark zouden kunnen worden aangesloten.

De elektrische energie die het park produceert wordt echter toegevoerd aan het elektriciteitsnet waarop de huizen zijn aangesloten.

- e Noem twee argumenten waarom de huizen op het elektriciteitsnet zijn aangesloten en niet rechtstreeks op het windmolenpark.



Gemiddelde  
windsnelheid

#### Opgave 42

- a Dat een windmolenpark in zee wordt gebouwd leg je uit door de gemiddelde windsnelheid op zee te vergelijken met die op land.

Boven zeewater is de gemiddelde windsnelheid hoger dan boven het land.

Een grotere windsnelheid betekent een grotere energieopbrengst.

- b Het vermogen van de lucht bereken je met de gegeven formule.

De oppervlakte bereken je met de formule voor de oppervlakte van een cirkel.

De oppervlakte van de cirkel bereken je met de diameter.

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$d = 60 \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 60^2 = 2827 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{lucht}} \cdot A \cdot v^3$$

$$\rho_{\text{lucht}} = 1,293 \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{zie BINAS tabel 12})$$

$$v = 43 \text{ km h}^{-1} = \frac{43}{3,6} = 11,94 \text{ m s}^{-1}$$

$$P = 0,5 \times 1,293 \times 2827 \times 11,94^3 = 3,111 \cdot 10^6 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P = 3,1 \cdot 10^6 \text{ W (= 3,1 MW)}.$$

- c Het percentage vermogen dat door de lucht wordt afgegeven, bereken je met de verhouding tussen het vermogen voor en het vermogen na de windmolen. Beredeneer dat het vermogen van de wind na de molen 27 keer zo klein is als voor de molen.

$$P_{\text{na}} = \frac{1}{27} \cdot \rho_{\text{lucht}} \cdot A \cdot v_{\text{na}}^3$$

De snelheid is na de windmolen drie keer zo klein.

Alle andere grootheden hebben dezelfde waarde.

Dus het vermogen na de windmolen is dan  $3^3 = 27$  keer zo klein.

$$\frac{1}{27} \text{ deel komt overeen met } 3,7\%.$$

Er wordt dus afgerond 96% van het vermogen van de lucht afgegeven aan de windmolen.

- d Het aantal huishoudens bereken je met de verhouding tussen de geschatte energieopbrengst en de energie per huishouden.

$$N = \frac{E_{\text{totaal}}}{E_{\text{huishouden}}}$$

$$E_{\text{totaal}} = 1,1 \cdot 10^9 \text{ MJ} = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

$$E_{\text{huishouden}} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ kWh} = 4,0 \cdot 10^3 \times 10^3 \times 3600 = 1,44 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$N = \frac{1,1 \cdot 10^{15}}{1,44 \cdot 10^{10}} = 76389$$

$$\text{Afgerond: } 7,6 \cdot 10^4 \text{ huishoudens.}$$

- e Als er weinig wind is, wordt er onvoldoende energie (vermogen) geproduceerd. Op piekuren van energieafname ('s avonds of in de winter) is er te weinig energie (vermogen) beschikbaar.