

## Opgave 4 Kruissnelheid

Lees onderstaande tekst.

In zijn boekje **De Wetten van de Vliegkunst** berekent meteoroloog Henk Tennekes het energieverbruik van vogels en vliegtuigen. Vogels en vliegtuigen leggen een grote afstand van A naar B af met een zodanige snelheid, dat hun energieverbruik minimaal is: deze snelheid noemt men de **kruissnelheid**. Een te lage snelheid levert te weinig liftkracht op, een te hoge snelheid te veel wrijvingskracht. Naast het gewicht en het vleugeloppervlak blijkt ook de luchtdichtheid een factor die het energieverbruik en dus de kruissnelheid bepaalt.



In deze opgave over kruissnelheid wordt uitsluitend gekeken naar **horizontaal vliegen met constante snelheid**.

Tijdens het vliegen van zowel vogels als vliegtuigen werken er twee verticale krachten: de liftkracht  $F_L$  en de zwaartekracht  $F_z$ , **en** twee horizontale krachten: de motor- of spierkracht  $F_m$  en de wrijvingskracht  $F_w = kv^2$ .

De verhouding  $f = \frac{F_L}{F_w}$ , is karakteristiek voor de manier van vliegen en bepaalt mede het energieverbruik.

Voor een klein vliegtuig als de Cessna geldt:

$$m = 620 \text{ kg}$$

$$k = 0,44 \text{ kg m}^{-1}$$

Bij de kruissnelheid van de Cessna geldt tevens:

$$f = 7,0$$

- 3p **17** Bereken de kruissnelheid van de Cessna.

Op kruissnelheid levert de Cessna een mechanisch vermogen van  $3,8 \cdot 10^4 \text{ W}$ . De benzinemotor heeft een rendement van 24%. Op een bepaald moment heeft de Cessna 75 L benzine in de tank.

- 3p **18** Bereken hoe lang de Cessna hiermee kan vliegen op kruissnelheid.

Vogels en vliegtuigen zijn in staat de waarde van  $f$  iets aan te passen.

- 2p **19** Beredeneer aan de hand van de definitie of de waarde van  $f$  bij kruissnelheid minimaal of maximaal is.

Bij het wetenschappelijk onderzoek naar het energieverbruik bij vliegen, zowel bij vogels als bij vliegtuigen, wordt onderzocht in hoeverre alle vogels schaalmodellen van elkaar zijn. In dat geval zijn bij een twee keer zo grote vogel alle maten (lengte, breedte en hoogte) twee keer zo groot.

Bij dit onderzoek is gebleken dat de grootheid vleugelbelasting belangrijk is. De vleugelbelasting  $L$  is gedefinieerd als het gewicht per vleugeloppervlak  $A$ :

$$L = \frac{mg}{A}.$$

- 2p **20** Beredeneer hoeveel keer de vleugelbelasting groter of kleiner is bij een twee keer zo grote vogel.

Uit het onderzoek verkrijgt men de volgende tabel van de vleugelbelasting en de kruissnelheid van verschillende vogels:

**tabel 1**

type/soort	$L$ (N m <sup>-2</sup> )	$v$ (m s <sup>-1</sup> )
kerkuil	9,0	4,9
boomvalk	28	8,5
buizerd	44	10
spreeuw	68	13
havik	85	16

Het verband tussen  $L$  en  $v^2$  blijkt recht evenredig te zijn, zodat het gebruikelijk is deze twee grootheden tegen elkaar uit te zetten.

- 4p **21** Bepaal voor de vogels het verband tussen  $L$  en  $v$ . Vul daartoe op de uitwerkbijlage de tabel in, teken de grafiek en vul de formule aan.

Voor de kruissnelheid volgt uiteindelijk de formule:  $v = \sqrt{\frac{33m}{\rho A}}$ .

Hierin is:

- $v$  de kruissnelheid in m s<sup>-1</sup>;
- $m$  de massa in kg;
- $\rho$  de dichtheid van lucht op vlieghoogte in kg m<sup>-3</sup>;
- $A$  het vleugeloppervlak in m<sup>2</sup>.

- 2p **22** Leg uit wat er met de kruissnelheid gebeurt als:
- een vogel op grote hoogte vliegt,
  - een vogel tijdens de trek flink wat van zijn gewicht verliest.

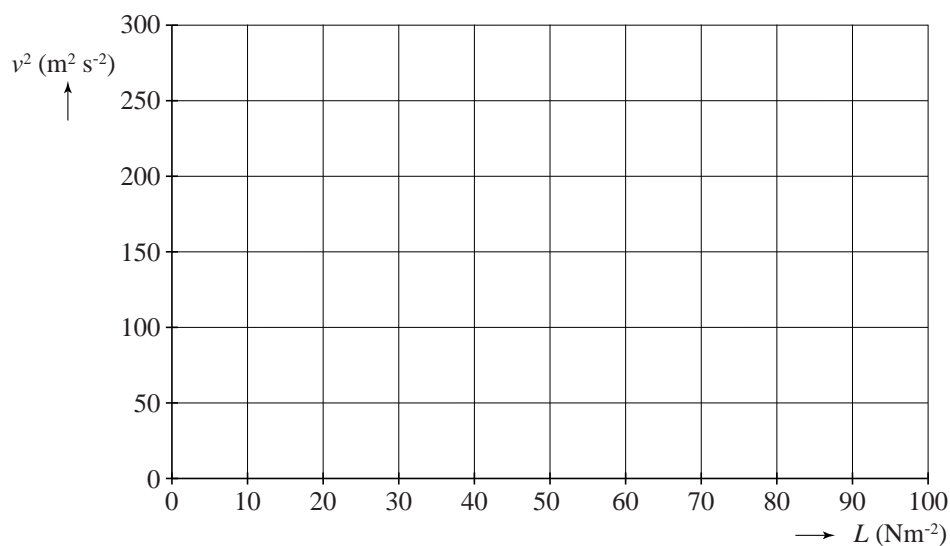
Vliegende reptielen van 130 miljoen jaar geleden waren veel groter dan de grootste vogels van nu. Uit het skelet van de Ornithocheirus leidt men af dat hij de massa had van een volwassen man en een vleugeloppervlak van een klein vliegtuig (20 m<sup>2</sup>).



- 3p **23** Bereken de kruissnelheid in km h<sup>-1</sup> van de Ornithocheirus. Geef aan welke schatting je daarbij gemaakt hebt.

**uitwerkbijlage**

21



type/soort	$L \text{ (Nm}^{-2}\text{)}$	$v \text{ (ms}^{-1}\text{)}$	$v^2 \text{ (m}^2 \text{s}^{-2}\text{)}$
kerkuil	9,0	4,9	
boomvalk	28	8,5	
buizerd	44	10	
spreeuw	68	13	
havik	85	16	

Vul in:

$v =$