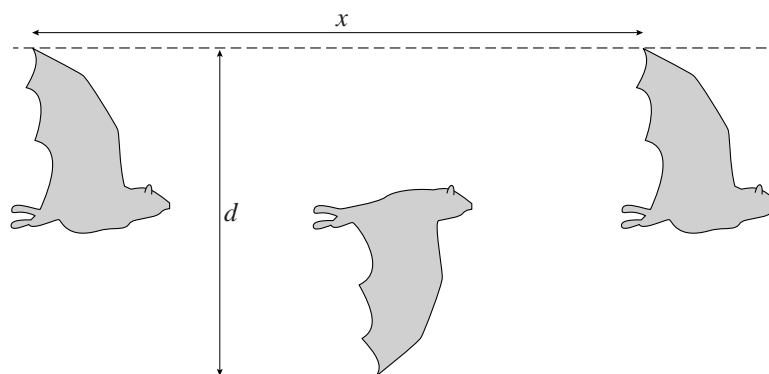


Vliegen

Vogels en vleermuizen, **figuur 1**

maar ook insecten, bewegen zich voort door hun vleugels op en neer te bewegen. De **verticale** afstand tussen de uiterste standen van de vleugeltippen noemen we de slag grootte d . De afstand die



horizontaal bij een volledige op- en neergaande beweging wordt afgelegd, noemen we x . In figuur 1 zijn deze grootheden aangegeven.

De verhouding $\frac{d}{x}$ wordt het getal van Strouhal (St) genoemd.

Uit biomechanisch onderzoek blijkt dat voor zeer uiteenlopende vliegende dieren geldt: $St = 0,30$. Het getal van Strouhal is een voorbeeld van een dimensieloze grootheid. Een dimensieloze grootheid heeft geen eenheid.

1p 11 Laat zien dat St een dimensieloze grootheid is.

Het getal van Strouhal kan in de praktijk berekend worden met:

$$St = \frac{f \cdot d}{v} \tag{1}$$

Hierin is:

- St het getal van Strouhal;
- f de slagfrequentie in Hz;
- d de slag grootte in m;
- v de vliedsnelheid in m s^{-1} .

2p 12 Laat zien dat uit formule (1) volgt: $St = \frac{d}{x}$.

Het is mogelijk om uit enkele foto's van een vogel in de lucht zijn snelheid te bepalen.

Figuren 2a, b en c zijn opnames van een zilvermeeuw met de vleugels in de hoogste stand, de evenwichtsstand en de laagste stand van één slagbeweging. De opnames hebben dezelfde schaal en zijn met een tussentijd van 40 ms gemaakt. De spanwijdte is 1,4 m.

figuur 2a



figuur 2b



figuur 2c



- 4p 13 Bepaal uit figuur 2 de vliegsnelheid van deze zilvermeeuw. Je mag aannemen dat de vogel recht van achteren gefotografeerd is.

De vliegbeweging van twee verschillende vogels wordt vergeleken. Beide vogels hebben bij $x = 0$ m de vleugeltip in de laagste stand.

In figuur 3 is de verticale uitwijking van de vleugeltip van vogel 1 als functie van de horizontale afstand x weergegeven. In de figuur is

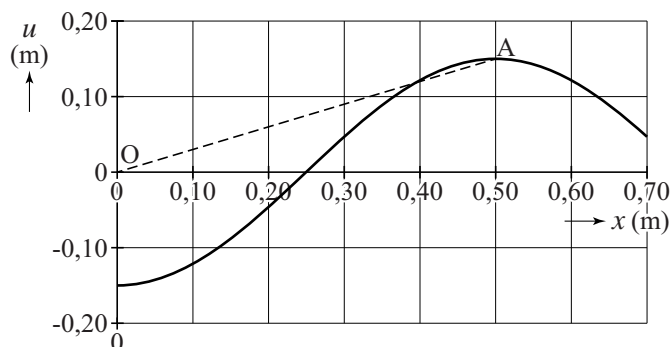
tussen de oorsprong (O) en de hoogste vleugelstand (A) een rechte stippellijn getrokken.

Vogel 1 bereikt zijn uiterste vleugelstand (A) bij $x = 0,50$ m.

Vogel 2 is groter en bereikt zijn uiterste stand (B) bij $x = 0,60$ m.

Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 3



- 3p 14 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit dat de steilheid van OA gelijk is aan het getal van Strouhal St .
 - Teken in de figuur op de uitwerkbijlage punt B.
 - Bepaal de slag grootte van vogel 2.

Als je een grote en een kleine vogel vergelijkt, nemen we aan dat van de grote vogel alle afstanden (lengte, breedte, hoogte en dus ook slag grootte) k keer zo groot zijn als die van de kleine vogel.

We spreken dan van schaalfactor k .

De drie grootheden f , d en v in formule (1) hangen van k af.

Deze afhankelijkheid (schaalwet) geven we aan met:

$$\dots \propto k^p.$$

Hierin is:

- \propto evenredig met;
- k schaalfactor;
- p een getal, afhankelijk van de betreffende grootheid.

De vliegsnelheid hangt alleen af van de massa m en de

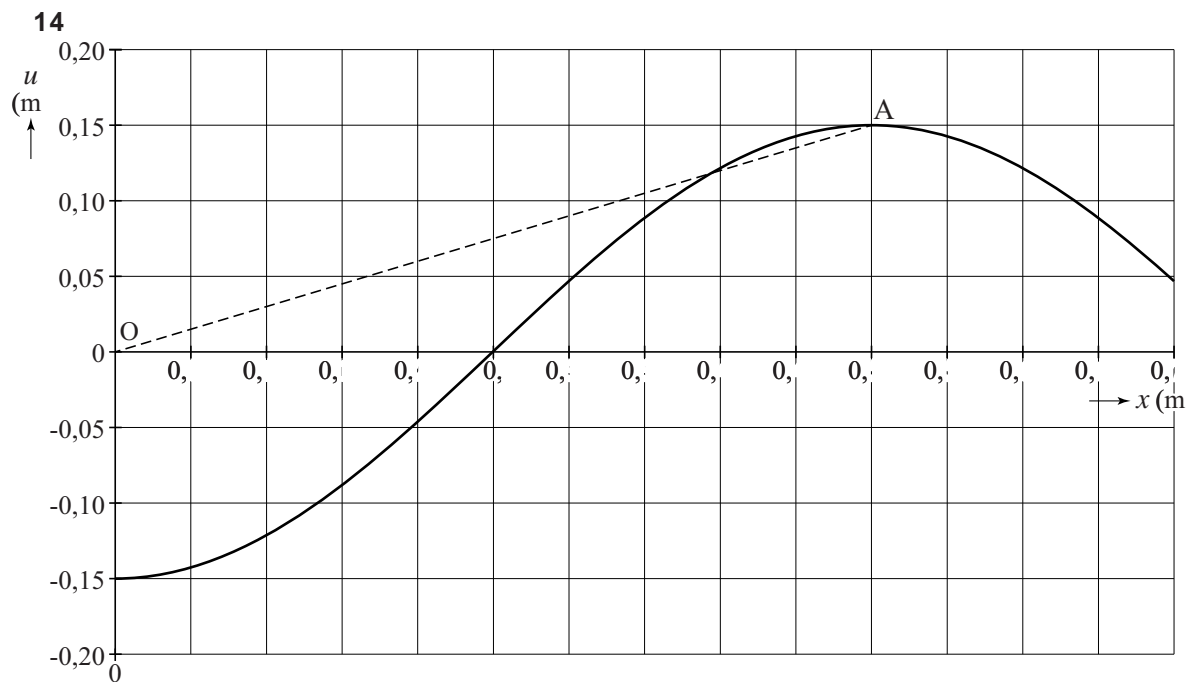
vleugeloppervlakte A van de vogel: $v \propto \sqrt{\frac{m}{A}}$.

De schaalwet voor de slagfrequentie luidt: $f \propto k^p$.

5p 15 Voer de volgende opdrachten uit:

- Laat zien dat $v \propto k^{\frac{1}{2}}$.
- Beredeneer hiermee hoe groot getal p is in $f \propto k^p$.
- Vul de zin op de uitwerkbijlage aan.

uitwerkbijlage



15 Vul onderstaande zin aan.

Als de lengte van de vogel 4 maal zo groot wordt, wordt de slagfrequentie f maal zo