

Basisvaardigheden  
**Toegepaste**  
**Natuurkunde**  
voor het HO



Noordhoff

**B. Besseling, J. Timmers, T. van den Broeck**

3<sup>e</sup> druk



**Basisvaardigheden**  
**Toegepaste Natuurkunde** voor het HO



**Basisvaardigheden**  
**Toegepaste**  
**Natuurkunde**  
**voor het HO**

Ton van den Broeck

Jacques Timmers

Björn Besseling

Ontwerp omslag: Shootmedia  
Omslagillustratie: Shootmedia

Eventuele op- en aanmerkingen over deze of andere uitgaven kunt u richten aan:  
Noordhoff Uitgevers bv, Afdeling Hoger onderwijs, Antwoordnummer 13, 9700  
VB Groningen of via het contactformulier op [www.mijnnoordhoff.nl](http://www.mijnnoordhoff.nl).

*De informatie in deze uitgave is uitsluitend bedoeld als algemene informatie. Aan deze informatie kunt u geen rechten of aansprakelijkheid van de auteur(s), redactie of uitgever ontlenen.*



0 / 21

© 2021 Noordhoff Uitgevers bv, Groningen/Utrecht, The Netherlands

Deze uitgave is beschermd op grond van het auteursrecht. Wanneer u (her)gebruik wilt maken van de informatie in deze uitgave, dient u vooraf schriftelijke toestemming te verkrijgen van Noordhoff Uitgevers bv. Meer informatie over collectieve regelingen voor het onderwijs is te vinden op [www.onderwijsauteursrecht.nl](http://www.onderwijsauteursrecht.nl).

This publication is protected by copyright. Prior written permission of Noordhoff Uitgevers bv is required to (re)use the information in this publication.

ISBN (ebook) 978-90-01-74890-6

ISBN 978-90-01-74889-0

NUR 924

# Inhoud

- Voorwoord** 7
- 1 Meten en verwerken** 9
  - 1.1 Meten 9
  - 1.2 Verwerken van meetresultaten 11
  - 1.3 Schatten en berekenen 13
  - 1.4 Trendlijn 15  
Toepassing 19
- 2 Automatisering** 21
  - 2.1 Meten, sturen en regelen 21
  - 2.2 Signalen 25
  - 2.3 Sensoren 27
  - 2.4 Verwerkers 29
  - 2.5 Actuatoren 34
  - 2.6 Binair tellen 36  
Toepassing 41
- 3 Krachten** 43
  - 3.1 Krachteigenschappen 43
  - 3.2 Zwaartekracht, normaalkracht en wrijvingskracht 45
  - 3.3 Resulterende kracht en ontbinden van een kracht 49
  - 3.4 Veerkracht en spankracht 54
  - 3.5 Momenten 58
  - 3.6 Momentenevenwicht en hefboom 61
  - 3.7 Druk 65  
Toepassing 67
- 4 Energie** 69
  - 4.1 Zwaarte-energie 69
  - 4.2 Kinetische energie 71
  - 4.3 De wet van behoud van energie 72
  - 4.4 Arbeid en energie 75
  - 4.5 Vermogen 77
  - 4.6 Rendement 79  
Toepassing 81
- 5 Snelheid en beweging** 83
  - 5.1 Snelheid en verplaatsing 83
  - 5.2 Eenparige versnelling 87
  - 5.3 Versnelling en kracht 91
  - 5.4 Gemiddelde snelheid en verplaatsing 93
  - 5.5 Cirkelbeweging 97  
Toepassing 101
- 6 Materie en stofeigenschappen** 103
  - 6.1 Stofeigenschappen 103
  - 6.2 Dichtheid 105
  - 6.3 Warmte en energie 107
  - 6.4 Warmtetransport en inwendige energie 110
  - 6.5 Trekspanning, rek en elasticiteitsmodulus 114  
Toepassing 117
- 7 Elektriciteit** 119
  - 7.1 Spanning, stroom en weerstand 119
  - 7.2 Onderdelen en meters 121
  - 7.3 De serieschakeling 125
  - 7.4 De parallelschakeling 127
  - 7.5 Weerstand van een draad 130
  - 7.6 Elektriciteit: verbruik en vermogen 132
  - 7.7 Veiligheid en elektriciteit 134  
Toepassing 136

- 8 Trillingen en golven** 138
- 8.1 Trillingen en geluid 138
  - 8.2 Trillende veer, eigenfrequentie en resonantie 140
  - 8.3 Lopende golven 142
  - 8.4 Interferentie en staande golven 144
  - 8.5 Staande golven in muziekinstrumenten 148  
Toepassing 150
- 9 Optica** 152
- 9.1 Licht en schaduw 152
  - 9.2 Lichtstralen en reflectie 154
  - 9.3 Breking 159
  - 9.4 Grenshoek 161
  - 9.5 Lenzen 163
  - 9.6 Vergroting 167  
Toepassing 169
- 10 Straling en atomen** 171
- 10.1 Atoombouw 171
  - 10.2 Isotopen, radioactief verval en kernsplijting 173
  - 10.3 Ioniserende straling en halveringstijd 177
  - 10.4 Stralingsdosis en stralingsbescherming 181
  - 10.5 Elektromagnetische straling 185  
Toepassing 139
- 11 Energietransitie** 191
- 11.1 Energiebalans van de aarde 191
  - 11.2 Energiemix 195
  - 11.3 Hernieuwbare energie opwekken 197
  - 11.4 Opslaan van energie en warmte 201
  - 11.5 Warmte in huis 205
  - 11.6 Kernenergie 209  
Toepassing 213
- Antwoorden** 215
- Leerdoelen** 257
- Register** 260



# Voorwoord

Met *Basisvaardigheden Toegepaste Natuurkunde* breng je zelfstandig je natuurkunde op een peil dat nodig is om een hbo-opleiding te kunnen volgen. Veel opleidingen bieden cursussen aan om toelating te verkrijgen tot een bepaalde opleiding. Voor studenten met een mbo-vooropleiding of havisten zonder een exact profiel biedt dit boek een effectieve manier om de benodigde natuurkundekennis te verwerven. Ook kan het boek binnen opleidingen worden gebruikt om de benodigde natuurkundekennis op te halen.

De leerstof van deze uitgave dekt de toelatingseisen van de opleidingen. Het nieuwe hoofdstuk Energietransitie speelt in op de discussie over energievoorziening die in veel vakgebieden een rol speelt. Het onderwerp medische beeldvorming is uitgebreid. Aan het eind van elk hoofdstuk is een paragraaf toegevoegd met opgaven waarin de onderwerpen uit het hele hoofdstuk gecombineerd worden.

Op de website [www.basisvaardighedentoegepastenatuurkunde.noordhoff.nl](http://www.basisvaardighedentoegepastenatuurkunde.noordhoff.nl) kun je je kennis interactief toetsen. Je ziet dan snel welke stof je nog niet voldoende beheerst.



In het boek staat de theorie beknopt uitgelegd. Na de theorie volgen direct opgaven, zodat je snel kunt testen of je de stof goed hebt begrepen. De antwoorden van de opgaven staan achter in het boek; de uitwerkingen staan op de website.



## 1.1 Meten

Meten is weten. Dat geldt ook voor het vakgebied natuurkunde. Om te meten gebruik je hulpmiddelen, zoals een stopwatch, liniaal, thermometer, voltmeter of een ampèremeter.

### Grootheden/eenheden

Een grootheid is 'iets' dat je kunt meten. Voorbeelden van grootheden zijn: tijd, temperatuur, snelheid, lengte en massa.

Elke **grootheid** heeft zijn eigen **eenheid**. Voor elke grootheid en voor elke eenheid is een symbool. Deze symbolen kun je vinden in het **SI-stelsel**. Als we iets meten of berekenen, noteren we altijd grootheid en eenheid.

Samengestelde eenheden zoals bijvoorbeeld de eenheid van versnelling  $\text{m/s}^2$  worden in dit boek genoteerd als  $\text{m s}^{-2}$ .

### Significantie

Binnen de natuurkunde zijn afspraken gemaakt over welke rol nauwkeurigheid in berekeningen speelt. Een vuistregel hierbij is dat het antwoord van de berekening net zo nauwkeurig is als het minst nauwkeurige getal dat gebruikt wordt voor de berekening.

Hoe nauwkeurig een getal is, zie je aan het aantal significante cijfers. Dit is het totale aantal cijfers van een getal, waarbij nullen aan het begin niet meetellen, en machten van 10 ook niet. Heeft je minst nauwkeurige getal bijvoorbeeld twee significante cijfers, dan mag het antwoord ook niet meer dan twee significante cijfers bevatten.

Opmerking: bij optellen en aftrekken van getallen moet je naar het kleinste aantal cijfers achter de komma kijken in plaats van naar de significante cijfers.

1,01 s	bevat drie significante cijfers
2,0 s	bevat twee significante cijfers
0,0345 s	bevat drie significante cijfers
$3,45 \cdot 10^{-3}$ s	bevat drie significante cijfers

### Meetfouten

Een meetfout is het verschil tussen een gemeten waarde en de werkelijke waarde. Meetfouten zijn niet te voorkomen. Ze ontstaan door het gebruik van apparatuur of door het maken van een schatting bij het aflezen. Ook reactietijd kan van invloed zijn omdat je sneller of langzamer reageert dan een ander. Zodoende beïnvloedt een meetfout de uitkomst en de conclusie.

Je meet met een maatcilinder een volume van 40,13 mL. Dit zou ook 40,12 of 40,14 mL kunnen zijn. Het laatste cijfer is dus geschat.

## Opgaven

- 1 Bepaal het aantal significante cijfers in de volgende gevallen:
  - a 0,022
  - b 0,87
  - c 6398
  - d 76
  
- 2 Geef de volgende meetwaarden weer in twee significante cijfers:
  - a 120 km h<sup>-1</sup>
  - b 62,5 kg
  - c 340 m s<sup>-1</sup>
  - d 1240 km h<sup>-1</sup>
  - e 3500 kg
  - f 12000 cm<sup>3</sup>

Tip: Gebruik hier de wetenschappelijke notatie. De komma komt dan na het eerste cijfer dat niet nul is:  $1200 = 1,200 \cdot 10^3$
  
- 3 Een cirkel heeft een diameter van 6,0 cm. Bereken de oppervlakte van de cirkel in m<sup>2</sup>. Noteer het antwoord met het juiste aantal significante cijfers.
  
- 4 De volgende getallen zijn meetwaarden. Bereken:
  - a  $13,5 + 4,25$
  - b  $1,15 + 2,75$
  - c  $120,0 - 45,65$
  - d  $0,00015 + 0,00005 + 0,0045$
  
- 5 Welke eenheden horen bij de volgende grootheden? Gebruik Binas of internet.
  - a brandpuntsafstand
  - b gewicht
  - c lenssterkte
  - d stroomsterkte

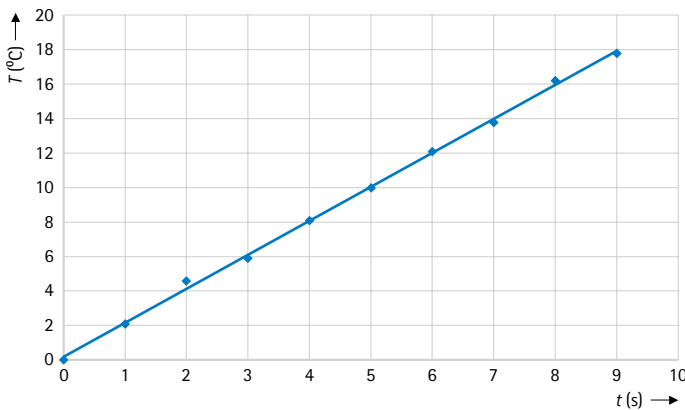
## 1.2 Verwerken van meetresultaten

Meetresultaten zijn kwantitatieve waarnemingen van een natuurkundige grootte die tijdens een experiment is gemeten. Meestal meet je een grootte als functie van de tijd.

Voor het weergeven van meetresultaten gebruik je een tabel. Boven in de kolommen noteer je het symbool van de natuurkundige grootte, met het symbool van de eenheid tussen haakjes erachter. De rijen bevatten de gegevens - je meetresultaten.

$t$ (s)	$T$ (°C)	$t$ (s)	$T$ (°C)
0,0	0,0	5,0	10,0
1,0	2,1	6,0	12,1
2,0	4,6	7,0	13,8
3,0	5,9	8,0	16,2
4,0	8,1	9	17,8

Om een duidelijk beeld van de meetresultaten te krijgen, maak je een grafiek. Op de x-as noteer je de ene grootte (hier de tijd  $t$  (s)). Op de y-as noteer je de andere grootte (hier de temperatuur  $T$  (°C)). In dit geval heet de grafiek een  $T,t$ -grafiek. De afspraak is dat je de grootte op de y-as als eerste noemt. Het voordeel van een grafiek is dat een verband tussen de grootheden sneller te zien is.



## Opgaven

- 1 Tijdens een experiment is de temperatuur van een stof bij een faseovergang gemeten. Op het kladblok lees je de resultaten.

Tijd	Temp.
0 s	20 °C
30 s	28 °C
60 s	41 °C
90 s	50 °C
120 s	59 °C
150 s	70 °C
180 s	71 °C
210 s	72 °C
240 s	81 °C

- a Verwerk deze gegevens in een goede tabel.  
 b Zet deze gegevens in een grafiek.  
 c Bekijk de grafiek van **b** Wanneer zou de faseovergang zijn begonnen?
- 2 Marieke doet metingen aan drie wegrijdende auto's. Haar metingen staan in de volgende tabel.

	$t = 0,0 \text{ s}$	$t = 2,0 \text{ s}$	$t = 4,0 \text{ s}$	$t = 6,0 \text{ s}$	$t = 8,0 \text{ s}$
$v \text{ (km h}^{-1}\text{) auto 1}$	0	21	42	62	80
$v \text{ (km h}^{-1}\text{) auto 2}$	0	25	48	50	86
$v \text{ (km h}^{-1}\text{) auto 3}$	0	28	55	78	90

- a Zet deze gegevens in een grafiek.  
 b Marieke heeft waarschijnlijk een meetfout gemaakt. Hoe kun je dit zien in de grafiek?
- 3 Een digitale snelheidsmeter van een fiets geeft een snelheid aan van  $18 \text{ km h}^{-1}$ .
- a Is er bij deze meting sprake van een meetfout?  
 b Tussen welke waarden ligt de werkelijke snelheid  $v$  van de fiets:
- A  $17,9 < v < 18,1$   
 B  $17,5 < v < 18,5$   
 C  $17 < v < 19$

## 1.3 Schatten en berekenen

In sommige gevallen ben je niet in staat om een meting te verrichten. Om dan toch gegevens te kunnen verzamelen, maak je een schatting. Een schatting is gebaseerd op een gemiddelde of op een verwachting. Je hebt bijvoorbeeld een verwachting hoe groot, zwaar of lang een voorwerp zal zijn.

Bij het schatten van afstand en snelheid kun je bijvoorbeeld de volgende gegevens gebruiken.

- een fietser fietst ongeveer  $20 \text{ km h}^{-1}$
- wandeltempo is ongeveer  $4 \text{ km h}^{-1}$
- snelwandelen gaat met ongeveer  $6 \text{ km h}^{-1}$
- een deur is ongeveer 2 m hoog
- de lengte van een man is ongeveer 1,8 m.

Wil je dus een afstand van 15 km wandelend afleggen, dan zul je daar ongeveer vier uur over doen!

### Voorbeeld

Bekijk de afbeelding en maak een schatting over de hoogte van het voertuig (top laadbak).



Een persoon past ongeveer twee keer in de hoogte van de banden.

Als de lengte van een persoon ongeveer 1,8 m is, is de hoogte van een band  $2 \times 1,8 = 3,6 \text{ m}$ . Het voertuig is ongeveer twee banden hoog:  $2 \times 3,6 = 7,2 \text{ m}$ . De hoogte is dus ruim 7 m.

## Opgaven

- 1 Tijdens een flinke wandeling klaagt een van de wandelaars na anderhalf uur dat hij moe is. Hij zegt dat hij inmiddels toch wel 10 km moet hebben gelopen. Laat met een berekening zien of dit juist is.
- 2 Een legereenheid moet 24 km afleggen in marstempo (dit is net zo snel als snelwandelen). Schat hoelang deze eenheid hierover doet.
- 3 Tijdens een survival moeten de deelnemers diverse onderdelen doorlopen: een rit van 2,0 uur op de fiets, vervolgens een wandeling van 3,0 uur op ruig terrein en dan een stuk snelwandelen van 12 km.
  - a Hoelang doen ze waarschijnlijk over het laatste stuk?
  - b Maak een schatting van de afstand die de groep die dag zal afleggen.
- 4 Bekijk de volgende afbeelding.



Een container is in het echt 2,6 m hoog. Schat de hoogte van de waterspiegel tot het dek van dit containerschip.



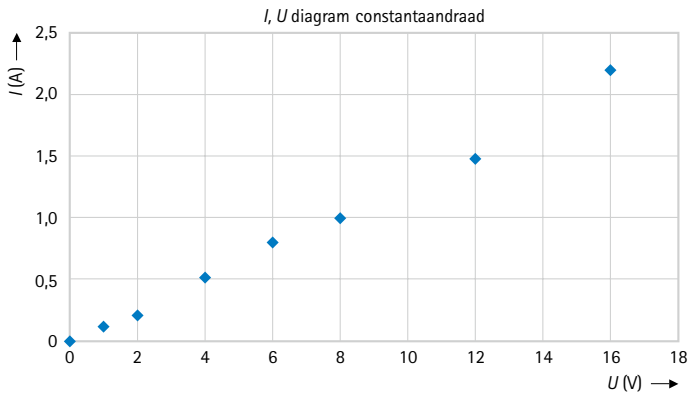
## 1.4 Trendlijn

Een trendlijn is een lijn die zo goed mogelijk bij de meetpunten past. Tussen de grootheden bestaat dan een lineair verband. Je spreekt ook van een 'trendlijn' als het eigenlijk een kromme is die het beste bij de meetpunten past, zoals bijvoorbeeld bij een omgekeerd evenredig verband tussen de twee grootheden.

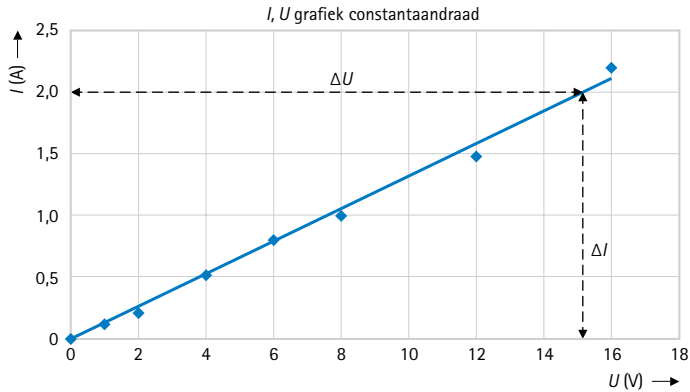
Je doet een experiment met een constantaandraad. Je meet bij diverse spanningen  $U$  de stroomsterkte  $I$ . Zie de tabel hieronder:

$U$ (V)	$I$ (A)
0	0
1	0,12
2	0,21
4	0,52
8	1,00
12	1,48
16	2,20

De gegevens zijn in de grafiek geplaatst (Excel: Grafieken → spreiding → spreiding met alleen markeringen).



We gaan uit van een lineair verband tussen de spanning  $U$  en de stroom  $I$  en voegen een 'lineaire trendlijn' toe aan de punten in de grafiek (Excel: trendlijn → trendlijn opmaken → linear).  
Dat ziet er als volgt uit:



In dit voorbeeld is de reciproke waarde van de helling van de trendlijn gelijk aan de weerstand  $R$  van de constantaandraad en dus is de helling van de lijn gelijk aan .

Helling van de trendlijn = =  
De weerstand van de constantaandraad is

## Opgaven

- 1 In de tekst op de vorige bladzijde staat een grafiek van constantaandraad. De helling is berekend door gebruik te maken van de waarden bij 2,0 A. Leg uit dat je inderdaad het best de helling kunt berekenen door gebruik te maken van deze waarden in plaats van de waarden bij 0,5 A.
- 2 Van een temperatuursensor wordt de spanning gemeten bij vier temperaturen. De meetgegevens staan in de tabel. We gaan ervan uit dat er een lineair verband is tussen de spanning en de temperatuur.

Temperatuur in °C	Spanning in V
0	9,0
25	26
50	55
75	95

- a Zet deze gegevens in een grafiek en maak gebruik van de trendlijn.
  - b Welke spanning verwacht je te meten bij 35 °C?
- 3 Hieronder staat een tabel met de afgestane warmte ( $Q$ ) in kilojoule tegen de tijd ( $t$ ) in seconde van een verwarmingselement.

Tijd $t$ in s	Afgestane warmte $Q$ in kJ
0	0
100	28
200	47
300	78
400	96
500	120
600	156

- a Zet deze metingen in een grafiek en teken de trendlijn.
- b Lees af hoeveel energie dit verwarmingselement heeft afgestaan na 550 seconden.

De formule waarmee je de hoeveelheid afgestane warmte kunt berekenen is: , waarin  $P$  het vermogen is.

- c Bereken het vermogen van dit verwarmingselement.

- 4** Een radioactief preparaat zendt kernstraling uit. De hoeveelheid straling (activiteit) die het preparaat uitzendt, meet je in bequerel (Bq). De activiteit is 9 uur lang om het uur gemeten. De meetgegevens staan in de tabel.

Tijd in uur	Activiteit in Bq
0	110
1	90
2	79
3	63
4	56
5	44
6	40
7	31
8	29
9	22

- Zet de metingen in Excel in een tabel en maak van de tabel een grafiek met alleen de meetpunten (grafieken → spreiding).
- De relatie tussen de tijd en de activiteit is niet lineair maar exponentieel. Teken een 'trendlijn' door de meetpunten (trendlijn opmaken → exponentieel).
- De tijd waarin de activiteit gehalveerd is, heet de halveringstijd. Bepaal uit de grafiek de halveringstijd van de radioactieve stof in het preparaat.
- Plaats de vergelijking van de 'trendlijn' in de grafiek (trendlijn opmaken → vergelijking in grafiek weergeven).
- De vergelijking heeft de vorm  $y = a e^{-bx}$ .  
 $y$  is in dit geval de activiteit,  $x$  de tijd en  $a$  de beginactiviteit (110 Bq).  
 Ga na of jouw antwoord bij **c** klopt met de formule.

- 1** Op school organiseren de docenten LO een hardloopwedstrijd. De hardloopbaan is 100 meter lang. De tijd van de deelnemende leerlingen wordt gemeten met behulp van een stopwatch.

**a** Heeft het zin om de lengte van de baan uit te meten op de cm als je daarna met de hand en een stopwatch de tijd meet? Waarom wel/niet?

De snelste tijd is 15,21 s.

**b** Bereken de snelheid in  $\text{m s}^{-1}$  en houd daarbij rekening met significantie.

- 2** In een maatcilinder zit 100 gram water. Tijdens een experiment worden de toegevoegde warmte en de temperatuur van de vloeistof gemeten. Zie de tabel hieronder:

$Q$ (kJ)	$T$ (°C)	$Q$ (kJ)	$T$ (°C)	$Q$ (kJ)	$T$ (°C)
0	20,3	8,4	40,5	18,6	64,9
0,9	22,5	10,4	45,1	21,0	70,6
2,1	25,4	12,6	50,4	23,2	75,9
4,0	29,9	14,6	55,2	25,4	81,0
6,6	36,0	16,5	59,8		

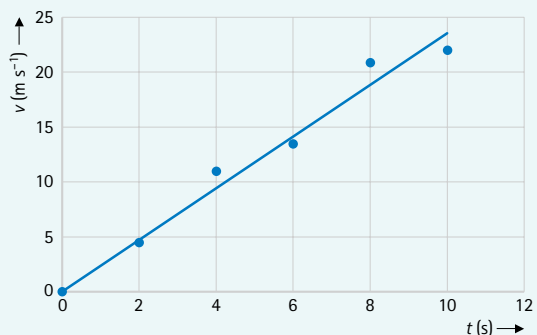
- a** Maak een grafiek van deze meetgegevens.  
**b** Teken de trendlijn en bepaal vervolgens de helling van deze trendlijn.  
**c** Het verband tussen  $Q$  en  $T$  wordt gegeven door de volgende formule:

$$Q = C \cdot T$$

Bepaal de eenheid van  $C$ .

- 3** Van een eenparig versnelde beweging is een grafiek gemaakt.

Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de gemiddelde snelheidstoename per seconde die volgt uit de getekende trendlijn.



- 4** Claartje onderzoekt een aantal eigenschappen van een haarföhn. Ze wil allereerst weten hoeveel kilogram lucht de föhn per seconde uitblaast. Daarvoor gebruikt ze de volgende formule:

$$Q = A \cdot v \cdot \rho$$

Hierin is:

- $Q$  de massa van de lucht die per seconde verplaatst wordt in  $\text{kg s}^{-1}$ ;
- $A$  de oppervlakte van de luchtopening van de föhn in  $\text{m}^2$ ;
- $v$  de snelheid van de uitgeblazen lucht in  $\text{m s}^{-1}$ ;
- $\rho$  de dichtheid van de lucht in  $\text{kg m}^{-3}$ .

**a** Laat zien dat  $Q$  dezelfde eenheid heeft als  $A \cdot v \cdot \rho$ .

Om  $Q$  te kunnen berekenen, meet Claartje de snelheid van de uitgeblazen lucht en de diameter van de luchtopening. De windsnelheidsmeter geeft voor de snelheid van de lucht  $9,5 \text{ m s}^{-1}$ . De oppervlakte van de luchtopening is  $16 \text{ cm}^2$ . De dichtheid van lucht is  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$ .

**b** Bereken de massa  $Q$  van de lucht die per seconde verplaatst wordt. Geef je antwoord met het juiste aantal significante cijfers.

Een windsnelheid van  $9,5 \text{ m s}^{-1}$  betekent dat voor de werkelijke snelheid  $v$  van de wind geldt:  $9,45 \text{ m s}^{-1} < v < 9,55 \text{ m s}^{-1}$ . Op dezelfde manier kun je de grenzen aangeven van de andere grootheden: oppervlakte  $A$  en dichtheid  $\rho$  van de lucht.

- c** Bereken de massa  $Q$  van de lucht die per seconde verplaatst wordt als je in je berekening de ondergrenzen van de drie grootheden gebruikt: voor de windsnelheid  $v = 9,45 \text{ m s}^{-1}$  enz.
- d** Bereken opnieuw de massa  $Q$  van de lucht die per seconde verplaatst wordt als je in je berekening de bovengrenzen van de drie grootheden gebruikt: voor de windsnelheid  $v = 9,55 \text{ m s}^{-1}$  enz.
- e** Tussen welke grenzen ligt  $Q$ ?