

5.1 Elektrische stroom en spanning**Opgave 1**

- a In vaste stoffen kunnen alleen (negatief geladen) elektronen zich verplaatsen. Doordat de lading van Riemeer positief is, is hij dus elektronen kwijtgeraakt.
b Het aantal elektronen bereken je met de lading en de lading van het elektron.

De lading van een elektron is $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

Het aantal elektronen dat Riemeer is kwijtgeraakt, is $\frac{3,7 \cdot 10^{-10}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 2,30 \cdot 10^9$.

Afgerond: $2,3 \cdot 10^9$.

- c De richting van de elektrische stroom leg je uit met de beschrijving van de elektrische stroom.

De richting van de elektrische stroom is gelijk aan de richting waarin positieve lading zich verplaatst.

Tijdens de ontlading bewegen negatief geladen elektronen van de deurkruk naar Riemeer.

Dus de andere kant op is de richting van de elektrische stroom: van Riemeer naar de deurkruk.

- d De stroomsterkte bereken je met de formule voor de stroomsterkte.

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$Q = 3,7 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

$$t = 12 \text{ ns} = 12 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

$$I = \frac{3,7 \cdot 10^{-10}}{12 \cdot 10^{-9}}$$

$$I = 0,0308 \text{ A}$$

$$\text{Afgerond: } I = 0,031 \text{ A.}$$

Opgave 2

- a De lading bereken je met de formule voor spanning.

$$U = \frac{\Delta E}{Q}$$

$$U = 230 \text{ V}$$

$$\Delta E = 2,16 \cdot 10^5 \text{ J per uur}$$

$$230 = \frac{2,16 \cdot 10^5}{Q}$$

$$Q = 939 \text{ C per uur}$$

- b De stroomsterkte bereken je met de formule voor de stroomsterkte.

$$I = \frac{Q}{t} \text{ met } Q = 939 \text{ C en } t = 1 \text{ uur} = 3600 \text{ s}$$

$$I = \frac{939}{3600}$$

$$I = 0,2608 \text{ A}$$

$$\text{Afgerond: } 0,261 \text{ A.}$$

- c *De laatste zin boven vraag a moet je in je leerboek doorstrepen.*

De afstand die de vrije elektronen gemiddeld in een uur afleggen bereken je met de lading die in een uur wordt verplaatst en de lading van de vrije elektronen in 1 m koperdraad.

De lading in 1 m koperdraad volgt uit het aantal koperatomen in 1 m koperdraad.

In 1 m koperdraad bevinden zich $2,0 \cdot 10^{22}$ koperatomen met ieder een vrij elektron. Dus in 1 m koperdraad bevinden zich $2,0 \cdot 10^{22}$ vrije elektronen.

De lading hiervan is $Q = 2,0 \cdot 10^{22} \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 3,20 \cdot 10^3 \text{ C}$.

Vwo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

Als alle vrije elektronen 1 m opschuiven, verplaatst zich dus $3,20 \cdot 10^3$ C door de dwarsdoorsnede van de koperdraad.

In 1 uur verplaatst zich maar 939 C. (zie vraag a)

De verplaatsing van deze lading is daardoor $\frac{939}{3,20 \cdot 10^3} = 2,930 \cdot 10^{-1}$ m.

Afgerond: 0,293 m.

Opgave 3

- a De stroomsterkte bereken je met de formule voor de stroomsterkte.
De lading bereken je met de formule voor de spanning.

$$U = \frac{\Delta E}{Q}$$

$$U = 1,5 \text{ V}$$

$$\Delta E = 0,20 \text{ mJ per seconde} = 0,20 \cdot 10^{-3} \text{ J per seconde}$$

$$1,5 = \frac{0,20 \cdot 10^{-3}}{Q}$$

$$Q = 1,333 \cdot 10^{-4} \text{ C per seconde}$$

$$\text{Lading per seconde is de stroomsterkte: } I = 1,333 \cdot 10^{-4} \text{ A.}$$

$$\text{Afgerond: } 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ A.}$$

- b De tijd bereken je met de stroomsterkte en de capaciteit.
Uit de voorbeelden volgt dat de capaciteit het product is van de stroomsterkte en de tijd.
De stroomsterkte is daarin uitgedrukt in mA en de tijd in uur.

$$I = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 0,13 \text{ mA}$$

$$2400 = 0,13 \times t$$

$$t = 1,84 \cdot 10^4 \text{ h}$$

$$\text{Afgerond: } t = 1,8 \cdot 10^4 \text{ h.}$$

Opgave 4

- De stroomsterkte bereken je met de formule voor de stroomsterkte.
De lading bereken je met de formule voor de spanning.

$$U = \frac{\Delta E}{Q}$$

$$U = 43,2 \text{ V}$$

$$\Delta E = 3,6 \text{ MJ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$43,2 = \frac{3,6 \cdot 10^6}{Q}$$

$$Q = 8,33 \cdot 10^4 \text{ C}$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$Q = 8,33 \cdot 10^4 \text{ C}$$

$$\Delta t = 30 \text{ min} = 30 \times 60 = 1800 \text{ s}$$

$$I = \frac{8,33 \cdot 10^4}{1800}$$

$$I = 46,29 \text{ A}$$

$$\text{Afgerond: } I = 46 \text{ A.}$$

Opgave 5

- a Het aantal chroomatomen bereken je met de massa van de chroomatomen en de massa van één chroomatoom.

$$\text{Het aantal atomen is gelijk aan } \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{8,6 \cdot 10^{-26}} = 1,39 \cdot 10^{22} .$$

Er zijn afgerond $1,4 \cdot 10^{22}$ atomen neergeslagen.

- b De stroomsterkte bereken je met de formule voor de stroomsterkte.
De lading bereken je met het aantal elektronen dat is opgenomen en de lading van een elektron.

Het aantal elektronen dat is opgenomen bereken je met het aantal atomen dat is neergeslagen en het aantal elektronen dat nodig is om Cr^{3+} om te zetten in Cr.

Er zijn $1,4 \cdot 10^{22}$ atomen neergeslagen en daarvoor zijn $1,4 \cdot 10^{22}$ ionen Cr^{3+} nodig.

Om een ion Cr^{3+} om te zetten in een atoom Cr zijn drie elektronen nodig.

Er zijn $3 \times 1,4 \cdot 10^{22} = 4,2 \cdot 10^{22}$ elektronen nodig.

De lading van een elektron is $1,602 \cdot 10^{-19}$ C.

De totale lading is dan $4,2 \cdot 10^{22} \times 1,602 \cdot 10^{-19} = 6,728 \cdot 10^3$ C.

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$Q = 6,728 \cdot 10^3 \text{ C}$$

$$\Delta t = 1,5 \text{ h} = 1,5 \times 3600 = 5400 \text{ s}$$

$$I = \frac{6,728 \cdot 10^3}{5400}$$

$$I = 1,245 \text{ A}$$

Afgerond: $I = 1,2$ A.

Opgave 6

De verbindingsdraden teken je door de volgende opdrachten uit te voeren:

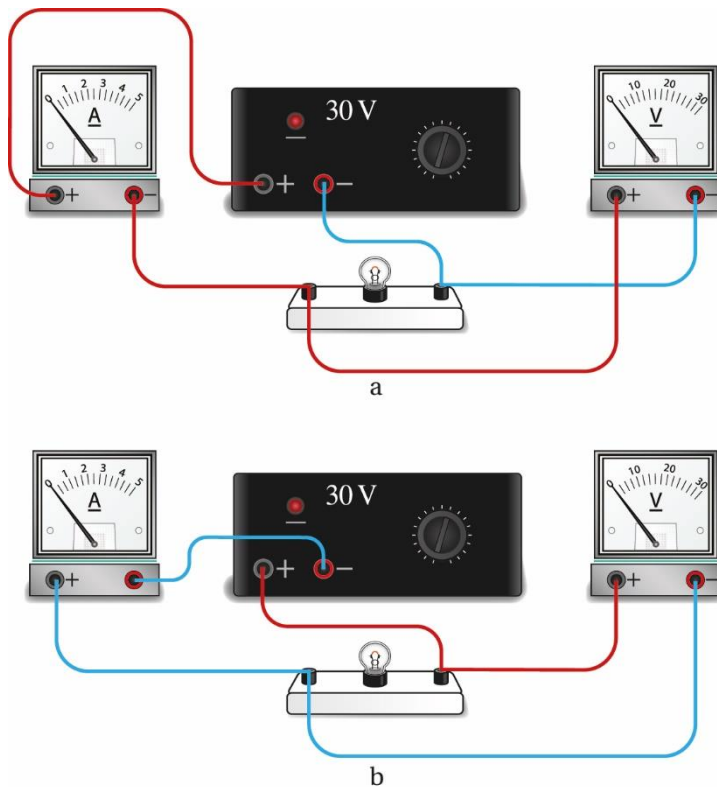
- Welke meter staat in serie met het lampje?
- Teken eerst een stroomkring met deze meter, de spanningsbron en het lampje.
Let bij het aansluiten op plus en min.
- Teken de andere meter parallel aan het lampje.
Let ook nu bij het aansluiten op plus en min.

De + pool van de spanningsbron is (eventueel via de lamp) verbonden met de + pool van een apparaat.

De stroommeter staat in serie met de lamp.

De spanningsmeter staat parallel aan de lamp

Zie figuur 5.1 voor twee mogelijke schakelingen.



Figuur 5.1

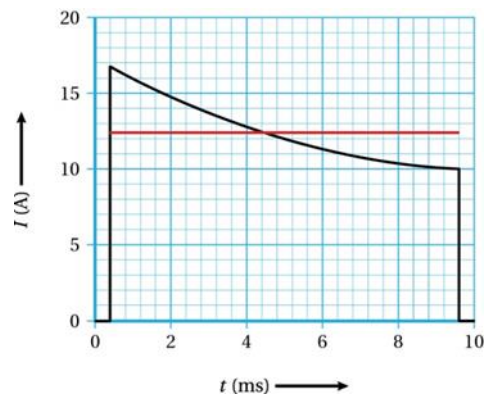
Opgave 7

- a De gemiddelde stroomsterkte bepaal je met de oppervlakte onder de grafiek.

Zie figuur 5.2.

De oppervlakte onder de rode lijn is tussen $t = 0,4$ s en $t = 9,6$ s gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek.

De rode lijn hoort bij $I_{\text{gem}} = 12,4$ A.



Figuur 5.2

- b De gemiddelde spanning bereken je met de formule voor de spanning. De lading volgt uit de oppervlakte onder (I, t) -grafiek.

De oppervlakte onder de rode lijn is gelijk aan:

$$Q = 12,4 \times (9,6 \cdot 10^{-3} - 0,4 \cdot 10^{-3})$$

$$Q = 0,114 \text{ C}$$

$$U_{\text{gem}} = \frac{\Delta E}{Q}$$

$$\Delta E = 0,13 \text{ kJ} = 0,13 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$U_{\text{gem}} = \frac{0,13 \cdot 10^3}{0,114}$$

$$U_{\text{gem}} = 1,139 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$\text{Afgerond: } U_{\text{gem}} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ V.}$$

5.2 Weerstand en de wet van Ohm

Opgave 8

- a De weerstand van voorwerp b bereken je met de wet van Ohm.

$$U = I \cdot R$$

$$U = 6,0 \text{ V}$$

$$I = 0,24 \text{ A}$$

$$6,0 = 0,24 \cdot R$$

$$R = 25,0 \Omega$$

$$\text{Afgerond: } R = 25 \Omega.$$

- b Of voorwerp a beter of slechter gaat geleiden als de spanning toeneemt, volgt uit de verandering van de weerstand.

Volgens voorbeeld 4 neemt de weerstand van voorwerp a toe. Dus gaat het voorwerp slechter geleiden als de spanning toeneemt.

Opgave 9

De weerstand van een draad bepaal je met behulp van de formule voor de soortelijke weerstand.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

De drie draden zijn van hetzelfde materiaal gemaakt. Dus ρ is voor elke draad hetzelfde.

Draad A is korter dan draad B, maar wel even dik. De weerstand van draad A is dan kleiner dan die van draad B.

Draad A is dunner dan draad C, maar wel even lang. De weerstand van draad A is dan groter dan de weerstand van draad C.

Draad C heeft de kleinste weerstand, dan A, dan B.

Opgave 10

- a De weerstand bereken je met de wet van Ohm.

$$U = I \cdot R$$

$$U = 1,5 \text{ V}$$

$$R = 3,0 \Omega$$

$$1,5 = I \cdot 3,0$$

$$I = 0,50 \text{ A}$$

- b De stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm.
De weerstand beredeneer je met de formule voor de soortelijke weerstand.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

De soortelijke weerstand verandert niet.

De lengte van de dubbele draad is gehalveerd en de dwarsdoorsnede is verdubbeld. Dus de weerstand is dan vier keer zo klein geworden.

$$U = I \cdot R$$

$$U = 1,5 \text{ V}$$

$$R = \frac{1}{4} \times 3,0 = 0,75 \Omega$$

$$1,5 = I \cdot 0,75$$

$$I = 2,0 \text{ A}$$

Opgave 11

- a Het aantal koperdraden bereken je met de dwarsdoorsnede van de ondergrondse kabel en de dwarsdoorsnede van een koperdraad.
De dwarsdoorsnede van een koperdraad bereken je met de diameter van de koperdraad.
De dwarsdoorsnede van de ondergrondse kabel bereken je met de formule voor de soortelijke weerstand.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 17 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m} \quad (\text{zie BINAS tabel 8})$$

$$R = 0,072 \Omega$$

$$\ell = 3,0 \text{ km} = 3,0 \cdot 10^3 \text{ m}$$

$$17 \cdot 10^{-9} = \frac{0,072 \cdot A}{3,0 \cdot 10^3}$$

$$A_{\text{kabel}} = 7,083 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{draad}} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = 0,80 \text{ cm} = 0,80 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$A_{\text{draad}} = \frac{1}{4} \pi (0,80 \cdot 10^{-2})^2$$

$$A_{\text{draad}} = 5,026 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{aantal koperdraden} = \frac{A_{\text{kabel}}}{A_{\text{draad}}} = \frac{7,083 \cdot 10^{-4}}{5,026 \cdot 10^{-5}} = 14,09$$

Afgerond: 14.

- b Of de weerstand van de aluminiumkabel groter of kleiner is dan die van de koperkabel beredeneer je met de formule voor de soortelijke weerstand.

De soortelijke weerstand van aluminium is groter dan die van koper. De andere grootheden in de formule voor de soortelijke weerstand zijn niet veranderd.

Dus is de weerstand van een aluminiumkabel groter dan de weerstand van een koperkabel.

- c Voordelen: minder schade aan het landschap, goedkoper in aanleg, geen dure masten nodig.
Nadelen: makkelijk te beschadigen bij graafwerkzaamheden.

Opgave 12

- a De weerstand bereken je met de formule voor de soortelijke weerstand.
De doorsnede bereken je met de diameter.

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

$$d = 0,25 \text{ mm} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi (0,25 \cdot 10^{-3})^2$$

$$A = 4,90 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 55 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m} \quad (\text{zie BINAS tabel 8})$$

$$\ell = 2,0 \text{ m}$$

$$55 \cdot 10^{-9} = \frac{R \cdot 4,90 \cdot 10^{-8}}{2,0}$$

$$R = 2,24 \Omega$$

Afgerond: $R = 2,2 \Omega$.

- b De verandering van de stroomsterkte volgens Jonas beredeneer je met de formule voor soortelijke weerstand.

Als de diameter groter wordt en de soortelijke weerstand en de lengte blijven gelijk, dan neemt de weerstand af en zou de stroomsterkte toenemen.
Dus Jonas heeft geen gelijk.

De verandering van de stroomsterkte volgens Monique beredeneer je met de wet van Ohm. De verandering van de weerstand leg je uit met de verandering van een eigenschap van het materiaal als er een stroom doorheen loopt.

Doordat er stroom loopt door de draad, wordt er elektrische energie omgezet in warmte. De temperatuur van de draad zal daardoor stijgen. De soortelijke weerstand van het materiaal neemt toe en daarmee ook de weerstand van de draad.
Doordat de spanning gelijk blijft, volgt uit de wet van Ohm dat de stroomsterkte afneemt als de weerstand toeneemt. Dus Monique kan gelijk hebben.

Opgave 13

- a De diameter van de draad bereken je uit de dwarsdoorsnede van de draad.
De dwarsdoorsnede bereken je met de formule voor de weerstand van een draad.
De weerstand van de draad bereken je met de wet van Ohm.

$$U = I \cdot R$$

$$U = 1,0 \text{ V}$$

$$I = 135 \text{ mA} = 0,135 \text{ A}$$

$$1,0 = R \times 0,135$$

$$R = 7,40 \ \Omega$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 55 \cdot 10^{-9} \ \Omega \text{ m} \quad (\text{zie BINAS tabel 8})$$

$$\ell = 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$$

$$R = 7,40 \ \Omega$$

$$55 \cdot 10^{-9} = \frac{7,40 \cdot A}{0,30}$$

$$A = 2,22 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

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

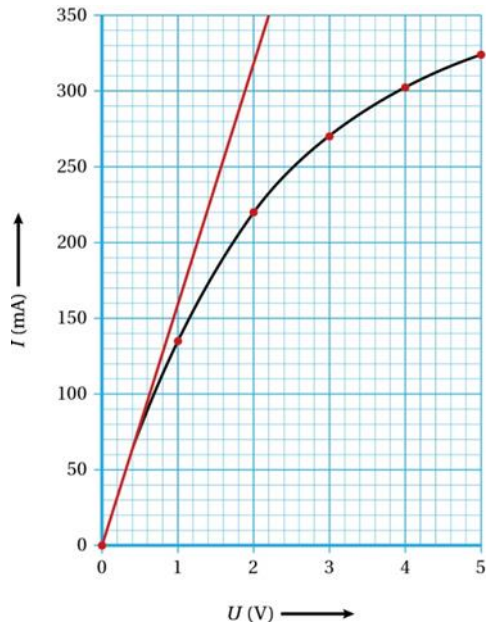
$$A = 2,22 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

$$2,22 \cdot 10^{-9} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = 5,32 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$\text{Afgerond: } 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

- b Door een raaklijn te trekken, krijgt Elke het verband tussen spanning en stroomsterkte als de temperatuur van de draad constant blijft. De raaklijn komt overeen met de grafiek van een ohmse weerstand: de weerstand van de draad bij een temperatuur van 293 K.
Deze waarden bepaal je van een punt op de raaklijn. Zie figuur 5.3.


Figuur 5.3

$$U = I \cdot R$$

$$U = 2,2 \text{ V} \quad (\text{aflezen uit figuur 5.3})$$

$$I = 350 \text{ mA} = 0,350 \text{ A} \quad (\text{aflezen uit figuur 5.3})$$

$$2,2 = R \times 0,350$$

$$R = 6,28 \text{ } \Omega$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 55 \cdot 10^{-9} \text{ } \Omega \text{ m}$$

$$\ell = 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$$

$$R = 6,28 \text{ } \Omega$$

$$55 \cdot 10^{-9} = \frac{6,28 \cdot A}{0,30}$$

$$A = 2,62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

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

$$A = 2,62 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

$$2,62 \cdot 10^{-9} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d = 5,78 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

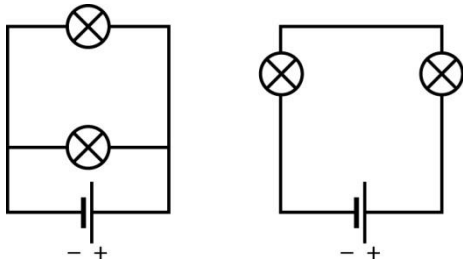
$$\text{Afgerond: } 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$

5.3 Serie- en parallelschakelingen

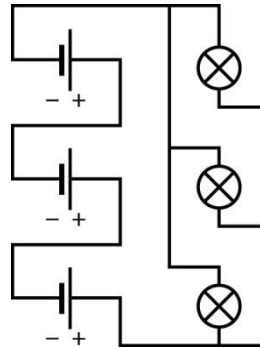
Opgave 14

- a In een schakelschema gebruik je elektrotechnische symbolen.

Zie figuur 5.4



Figuur 5.4



Figuur 5.5

- b De verbindingsdraden teken je door de volgende opdrachten uit te voeren:
- Teken eerst de verbindingsdraden tussen de batterijen zodanig dat de spanning over de uiteinden 4,5 V is.
 - Teken daarna de verbindingsdraden zodanig dat elk lampje een spanning van 4,5 V heeft.

Zie figuur 5.5.

Opgave 15

- a Gebruik het kenmerk van spanning bij een serieschakeling.

Ja.

De spanning van de spanningsbron verdeelt zich nu over drie in plaats van over twee lampjes. De spanning over lampje 1 wordt daardoor kleiner.

- b Gebruik de wet van Ohm en het kenmerk van weerstand bij een serieschakeling.

Ja.

De spanning over lampje 1 wordt lager. Zie vraag a.

Voor een lampje geldt dat de stroomsterkte afneemt als de spanning afneemt.

De stroomsterkte door lampje 1 wordt daardoor kleiner.

of

Met een derde lampje in de schakeling neemt de totale weerstand toe. Er geldt: $U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$. U_{tot} blijft gelijk; R_{tot} is groter.

Dus de stroomsterkte wordt kleiner.

- c De felheid waarmee een lampje brandt, hangt af van het vermogen dat in het lampje wordt afgegeven. Gebruik de formule voor het vermogen van elektrische stroom en de antwoorden op de vragen a en b.

Minder fel.

De felheid wordt bepaald door de hoeveelheid energie die per ladingseenheid wordt omgezet.

In figuur b wordt de energie van de spanningsbron verdeeld over drie lampjes in plaats van twee. Dus per lampje wordt er minder energie omgezet. Een lampje brandt dan in figuur b minder fel dan in figuur a.

- d Gebruik het kenmerk van spanning bij een parallelschakeling.

Nee.

Lampje 1 blijft direct verbonden met de spanningsbron, onafhankelijk van de andere lampjes. De spanning over lampje 1 verandert dus niet.

- e Gebruik de wet van Ohm en het kenmerk van weerstand bij een parallelschakeling.

Nee.

De spanning over lampje 1 blijft gelijk. Zie antwoord e.

De stroomsterkte door lampje 1 verandert dus niet.

- f De felheid waarmee een lampje brandt, hangt af van het vermogen dat in het lampje wordt afgegeven.

Gebruik de formule voor het vermogen van elektrische stroom en de antwoorden op de vragen e en f.

Even fel.

De felheid wordt bepaald door de hoeveelheid energie die per ladingseenheid wordt omgezet. In figuur b wordt in elk lampje dezelfde hoeveelheid energie omzet. Elk lampje brandt even fel.

Opgave 16

- a Dat de waarde van de weerstand 12Ω is, bereken je met de wet van Ohm toegepast op weerstand 1.

De spanning U_1 bereken je met het kenmerk van spanning van een serieschakeling.

Voor de serieschakeling geldt: $U_{\text{bron}} = U_1 + U_L$

$$4,5 = U_1 + 3,0$$

$$U_1 = 1,5 \text{ V}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$U_1 = 1,5 \text{ V}$$

$$I_1 = 125 \text{ mA} = 0,125 \text{ A}$$

$$1,5 = 0,125 \cdot R_1$$

$$R_1 = 12,0 \Omega$$

Afgerond: 12Ω .

- b De totale weerstand bereken je met de wet van Ohm toegepast op de gehele schakeling.

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = U_{\text{bron}} = 4,5 \text{ V}$$

$$I_{\text{tot}} = I_{\text{bron}} = 125 \text{ mA} = 0,125 \text{ A}$$

$$4,5 = 0,125 \times R_{\text{tot}}$$

$$R_{\text{tot}} = 36,0 \Omega$$

Afgerond: $R_{\text{tot}} = 36 \Omega$.

- c De totale weerstand bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

De weerstand van het lampje bereken je met de wet van Ohm toegepast op het lampje.

$$U_L = I_L \cdot R_L$$

$$U_L = 3,0 \text{ V}$$

$$I_L = 125 \text{ mA} = 0,125 \text{ A}$$

$$3,0 = 0,125 \times R_L$$

$$R_L = 24,0 \Omega$$

Voor de serieschakeling geldt: $R_{\text{tot}} = R_1 + R_L$

$$R_1 = 12,0 \Omega$$

$$R_L = 24,0 \Omega$$

$$R_{\text{tot}} = 12,0 + 24,0$$

$$R_{\text{tot}} = 36,0 \Omega$$

Afgerond: $R_{\text{tot}} = 36 \Omega$.

Opgave 17

- a R_L bereken je met de wet van Ohm toegepast op het lampje.
 U_L volgt uit het kenmerk van spanning bij een parallelschakeling.

In de parallelschakeling geldt: $U_{\text{bron}} = U_L = U_1$

$$U_L = I_L \cdot R_L$$

$$U_L = U_{\text{bron}} = 6,0 \text{ V}$$

$$I_L = 383 \text{ mA} = 0,383 \text{ A}$$

$$6,0 = 0,383 \times R_L$$

$$R_L = 15,6 \Omega$$

$$\text{Afgerond: } R_L = 16 \Omega.$$

- b De totale stroomsterkte volgt uit het kenmerk van stroom bij een parallelschakeling.
 I_1 bereken je met de wet van Ohm.
 U_1 volgt uit het kenmerk van spanning bij een parallelschakeling.

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$U_L = U_{\text{bron}} = 6,0 \text{ V}$$

$$R_1 = 470 \Omega$$

$$6,0 = I_1 \cdot 470$$

$$I_1 = 1,276 \cdot 10^{-2} = 12,76 \text{ mA}$$

$$I_{\text{tot}} = I_L + I_1$$

$$I_{\text{tot}} = 383 + 12,76$$

$$I_{\text{tot}} = 395,76 \text{ mA}$$

$$\text{Afgerond: } 396 \text{ mA.}$$

- c De totale weerstand bereken je met de wet van Ohm toegepast op de gehele schakeling.

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = U_{\text{bron}} = 6,0 \text{ V}$$

$$I_{\text{tot}} = 396 \text{ mA} = 0,396 \text{ A}$$

$$6,0 = 0,396 \times R_{\text{tot}}$$

$$R_{\text{tot}} = 15,1 \Omega$$

$$\text{Afgerond: } R_{\text{tot}} = 15 \Omega.$$

- d De totale weerstand bereken je met het kenmerk van weerstand in een parallelschakeling.

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_{\text{lamp}}} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{\text{lamp}} = 16 \Omega$$

$$R_2 = 470 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{16} + \frac{1}{470}$$

$$R_{\text{tot}} = 15,4 \Omega$$

$$\text{Afgerond: } R_{\text{tot}} = 15 \Omega.$$

Opgave 18

R_2 bereken je met de wet van Ohm.

U_2 volgt uit het kenmerk van spanning bij een parallelschakeling.

U_1 volgt uit de wet van Ohm toegepast op een parallelschakeling.

I_1 volgt uit het kenmerk van stroomsterkte bij een parallelschakeling.

Voor een parallelschakeling geldt: $I_{\text{tot}} = I_1 + I_2$

$$I_{\text{tot}} = 0,25 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,14 \text{ A}$$

$$0,25 = I_1 + 0,14$$

$$I_1 = 0,11 \text{ A}$$

Vwo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

$$\begin{aligned}
 U_1 &= I_1 \cdot R_1 \\
 I_1 &= 0,11 \text{ A} \\
 R_1 &= 100 \ \Omega \\
 U_1 &= 0,11 \times 100 \\
 U_1 &= 11,0 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Bij een parallelschakeling geldt: $U_1 = U_2 = 11,0 \text{ V}$

$$\begin{aligned}
 U_2 &= I_2 \cdot R_2 \\
 U_2 &= 11,0 \text{ V} \\
 I_2 &= 0,14 \text{ A} \\
 11,0 &= 0,14 \cdot R_2 \\
 R_2 &= 78,5 \ \Omega \\
 \text{Afgerond: } &79 \ \Omega.
 \end{aligned}$$

Opgave 19

Het verband leid je af door het kenmerk van spanning in een parallelschakeling te herschrijven met behulp van de wet van Ohm.

De vergelijking vereenvoudigt je nadat de weerstanden in R_C zijn uitgedrukt.

$$\begin{aligned}
 U_A &= U_B = U_C \\
 I_A \cdot R_A &= I_B \cdot R_B = I_C \cdot R_C
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_A &= 3R_C \\
 2R_B &= 3R_C
 \end{aligned}$$

$$\text{Hieruit volgt: } R_B = \frac{3}{2} R_C$$

$$\text{Invullen levert: } 3I_A \cdot R_C = \frac{3}{2} I_B \cdot R_C = I_C \cdot R_C$$

$$\text{Delen door } R_C \text{ geeft: } 3I_A = \frac{3}{2} \cdot I_B = I_C$$

Opgave 20

a Het verband leid je af door het kenmerk van stroom in een serieschakeling te herschrijven met behulp van de wet van Ohm.

$$I_A = I_B$$

$$\text{Uit } U = I \cdot R \text{ volgt } I = \frac{U}{R}.$$

Dus er geldt:

$$\frac{U_A}{R_A} = \frac{U_B}{R_B} \Rightarrow \frac{U_A}{U_B} = \frac{R_A}{R_B}$$

$$\text{b } \frac{U_A}{U_B} = \frac{R_A}{R_B} \text{ met } R_A = 12 \ \Omega \text{ en } R_B = 35 \ \Omega$$

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{12}{35}$$

De weerstanden staan in serie.

$$\text{Dus } U_A + U_B = U_{\text{bron}} = 24 \text{ V.}$$

$$U_B = 24 - U_A$$

$$\text{Invullen in } \frac{U_A}{U_B} = \frac{12}{35} \text{ levert } \frac{U_A}{24 - U_A} = \frac{12}{35}.$$

$$U_A = 6,12 \text{ V}$$

$$\text{Afgerond: } U_A = 6,1 \text{ V.}$$

Opgave 21

- a Het verband leid je af met het kenmerk van weerstand bij een serieschakeling.

$$R_{\text{tot}} = R_A + R_B$$

De som van de weerstanden is altijd groter dan een van de aparte weerstanden.

$$R_{\text{tot}} > R_A \text{ en } R_{\text{tot}} > R_B$$

- b Het verband leid je af met het kenmerk van weerstand bij een parallelschakeling.

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} > \frac{1}{R_A} \text{ en } \frac{1}{R_{\text{tot}}} > \frac{1}{R_B}$$

En dus $R_A > R_{\text{tot}}$ en $R_B > R_{\text{tot}}$.

5.4 Gemengde schakelingen

Opgave 22

R_{tot} bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling toegepast op weerstand 1 en de weerstand van de combinatie (2+3).

De weerstand van de combinatie (2+3) bereken je met het kenmerk van weerstand in een parallelschakeling.

Voor de parallelschakeling geldt: $\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

$$R_2 = 47 \text{ k}\Omega = 47 \cdot 10^3 \Omega$$

$$R_3 = 18 \text{ k}\Omega = 18 \cdot 10^3 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{47 \cdot 10^3} + \frac{1}{18 \cdot 10^3}$$

$$R_{2,3} = 13,0 \cdot 10^3 \Omega = 13,0 \text{ k}\Omega$$

Voor de serieschakeling geldt: $R_{\text{tot}} = R_{2,3} + R_1$

$$R_1 = 22 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{tot}} = 13,0 + 22$$

$$R_{\text{tot}} = 35,0 \text{ k}\Omega$$

Afgerond: $R_{\text{tot}} = 35 \text{ k}\Omega$.

Opgave 23

a I_1 bereken je met de wet van Ohm.

U_1 bereken je met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.

Voor de serieschakeling geldt: $U_{\text{tot}} = U_1 + U_L$

$$U_{\text{tot}} = 12,0 \text{ V}$$

$$U_L = 4,5 \text{ V}$$

$$12,0 = U_1 + 4,5$$

$$U_1 = 7,5 \text{ V}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$R_1 = 56 \Omega$$

$$7,5 = I_1 \times 56$$

$$I_1 = 0,133 \text{ A}$$

Afgerond: $I_1 = 0,13 \text{ A}$.

b De stroomsterkte door het lampje bereken je met het kenmerk van de stroomsterkte in een parallelschakeling.

I_2 bereken je met de wet van Ohm.

U_2 volgt uit het kenmerk van spanning in een parallelschakeling.

Voor de parallelschakeling geldt: $U_2 = U_L = 4,5 \text{ V}$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$R_2 = 330 \Omega$$

$$4,5 = I_2 \times 330$$

$$I_2 = 0,0136 \text{ A}$$

Voor de parallelschakeling geldt: $I_1 = I_2 + I_{\text{lamp}}$

$$I_1 = 0,13 \text{ A}$$

$$I_2 = 0,0136 \text{ A}$$

$$0,13 = 0,0136 + I_L$$

$$I_L = 0,116 \text{ A}$$

Afgerond: $0,12 \text{ A}$.

Opgave 24

- a U_2 bereken je met de wet van Ohm.
 I_2 volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.
 I_{tot} bereken je met de wet van Ohm.
 R_{tot} bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

Voor de serieschakeling geldt: $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2$

$$R_1 = 22 \Omega$$

$$R_2 = 33 \Omega$$

$$R_{\text{tot}} = 22 + 33$$

$$R_{\text{tot}} = 55 \Omega$$

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = 10 \text{ V}$$

$$10 = I_{\text{tot}} \times 55$$

$$I_{\text{tot}} = 0,181 \text{ A}$$

Voor de serieschakeling geldt: $I_{\text{tot}} = I_2$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$R_2 = 33 \Omega$$

$$I_2 = 0,181 \text{ A}$$

$$U_2 = 0,181 \times 33$$

$$U_2 = 5,99 \text{ V}$$

$$\text{Afgerond: } U_2 = 6,0 \text{ V.}$$

- b Dat door het aansluiten van het lampje I_1 groter wordt, leg je uit met de wet van Ohm.
 De stroomsterkte I_1 bereken je met de totale stroomsterkte.
 De totale stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm.
 De totale weerstand bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.
 De weerstand van de combinatie (weerstand 2+lamp) bereken je met het kenmerk van weerstand in een parallelschakeling.

Als er een lampje wordt aangesloten tussen A en B, vormen weerstand R_2 en het lampje een parallelschakeling. In een parallelschakeling is de totale weerstand altijd kleiner dan de weerstand van een van de afzonderlijke weerstanden. Dus de weerstand van de combinatie (weerstand 2+lamp) tussen A en B is kleiner na aansluiten van het lampje.

De totale weerstand van de serieschakeling (weerstand 1 + de combinatie) wordt dus kleiner. Omdat de spanning 10,0 V blijft, wordt volgens de wet van Ohm de totale stroomsterkte groter. In een serieschakeling is $I_1 = I_{\text{tot}}$.

Dus de stroomsterkte door weerstand 1 wordt groter door het aansluiten van het lampje.

- c De spanning over het lampje leg je uit met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.
 De verandering van U_1 leg je uit met de wet van Ohm.

Volgens de wet van Ohm geldt: $U_1 = I_1 \cdot R_1$

Als de stroomsterkte I_1 groter wordt en R_1 hetzelfde blijft, dan wordt U_1 groter.

Voor de serieschakeling geldt: $U_{\text{bron}} = U_1 + U_{2,\text{lamp}}$

Als U_1 groter wordt en U_{bron} verandert niet, dan wordt de spanning $U_{2,\text{lamp}}$ kleiner.

Zonder lamp was de spanning 6,0 V. Dus met lamp is de spanning tussen A en B, en daarmee de spanning over het lampje, kleiner dan 6,0 V.

Opgave 25

- a U_2 bereken je met de wet van Ohm.
 I_2 volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.
 De totale stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm.

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \times R_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = 9,0 \text{ V}$$

$$R_{\text{tot}} = 1,0 + 2,0 = 3,0 \text{ k}\Omega = 3,0 \cdot 10^3 \Omega$$

$$9,0 = I_{\text{tot}} \cdot 3,0 \cdot 10^3$$

$$I_{\text{tot}} = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Voor de serieschakeling geldt: $I_2 = I_{\text{tot}} = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

$$U_2 = I_2 \times R_2$$

$$R_{\text{tot}} = 2,0 \text{ k}\Omega = 2,0 \cdot 10^3 \Omega$$

$$U_2 = 3,0 \cdot 10^{-3} \times 2,0 \cdot 10^3$$

$$U_2 = 6,0 \text{ V}$$

- b U_2 bereken je met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.
 U_1 bereken je met de wet van Ohm.

$$U_1 = I_1 \times R_1$$

$$I_1 = 3,6 \text{ mA} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega = 1,0 \cdot 10^3 \Omega$$

$$U_1 = 3,6 \cdot 10^{-3} \times 1,0 \cdot 10^3$$

$$U_1 = 3,6 \text{ V}$$

Voor de serieschakeling geldt: $U_{\text{tot}} = U_1 + U_{2,\text{volt}}$

$$9,0 = 3,6 + U_{2,\text{volt}}$$

$$U_{2,\text{volt}} = 5,4 \text{ V}$$

Dus $U_2 = 5,4 \text{ V}$.

- c Of de voltmeter geschikt is, hangt af van de verhouding tussen de stroomsterkte door de voltmeter en de stroomsterkte door weerstand 2.
Een stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm.

$$U_2 = I_2 \times R_2$$

$$U_2 = 5,4 \text{ V}$$

$$R_2 = 2,0 \text{ k}\Omega = 2,0 \cdot 10^3 \Omega$$

$$5,4 = I_2 \times 2,0 \cdot 10^3$$

$$I_2 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$U_{\text{volt}} = I_{\text{volt}} \times R_{\text{volt}}$$

$$U_{\text{volt}} = 5,4 \text{ V}$$

$$R_{\text{volt}} = 6,0 \text{ k}\Omega = 6,0 \cdot 10^3 \Omega$$

$$5,4 = I_{\text{volt}} \times 6,0 \cdot 10^3$$

$$I_{\text{volt}} = 0,90 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

De stroomsterkte door de voltmeter is $\frac{0,90 \cdot 10^{-3}}{2,7 \cdot 10^{-3}} \times 100\% = 33\%$ van die door weerstand 2.

Dat is veel meer dan 1%. Dus de voltmeter is niet geschikt.

- d Uit het antwoord bij vraag c leid je af dat het percentage samenhangt met de verhouding tussen de weerstanden van de voltmeter en van weerstand 2.

$$\text{Want } \frac{0,90 \cdot 10^{-3}}{2,7 \cdot 10^{-3}} \times 100\% = \frac{2,0 \cdot 10^3}{6,0 \cdot 10^3} \times 100\% .$$

De verhouding van de weerstanden is nu $\frac{2,0}{6,0 \cdot 10^3} \times 100\% = 0,033\%$.

Dat is veel minder dan 1%. Dus de voltmeter is nu wel geschikt.

Opgave 26

De volgorde van oplopende totale weerstand leid je af met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling en in een parallelschakeling.

In een serieschakeling is de totale weerstand altijd groter dan een van de afzonderlijke weerstanden. In schakeling A is de totale weerstand gelijk aan de som van de drie weerstanden en is dus het grootst.

In een parallelschakeling is de totale weerstand altijd kleiner dan de weerstand van een van de afzonderlijke weerstanden. De totale weerstand van schakeling B is dus het kleinst.

De totale weerstanden van de schakelingen C en D zitten dus tussen B en A in.

In schakeling C is R_3 in serie geschakeld met een parallelschakeling van R_1 en R_2 .

De totale weerstand is dan groter dan R_3 .

In schakeling D is R_3 parallel geschakeld met een serieschakeling van R_1 en R_2 .

De totale weerstand is dan kleiner dan R_3 .

De volgorde is B, D, C, A.

Opgave 27

- a In welke schakeling de grootste stroom door weerstand 2 loopt, leid je af met de wet van Ohm.

In schakeling B.

In schakeling B is weerstand 2 rechtstreeks verbonden met de spanningsbron. U_2 is daar gelijk aan de bronspanning.

- b Schakeling A.

Voor de stroomsterkte geldt: $U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$

Voor een serieschakeling geldt dat de totale weerstand groter is naarmate er meer weerstanden in serie zijn geschakeld.

Na verwijderen van R_2 is er een weerstand minder.

Dus R_{tot} neemt af. Omdat U_{tot} gelijk blijft, neemt de stroomsterkte I_{tot} dus toe.

Schakeling B.

Voor de stroomsterkte geldt: $U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$

Voor een parallelschakeling geldt dat de totale weerstand kleiner is naarmate er meer weerstanden parallel zijn geschakeld.

Na verwijderen van R_2 is er een weerstand minder in de parallelschakeling.

Dus de totale weerstand van de schakeling neemt toe.

Omdat U_{tot} gelijk blijft, neemt de stroomsterkte I_{tot} dus af.

Schakeling C.

Voor de stroomsterkte geldt: $U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$

Voor een parallelschakeling geldt dat de totale weerstand kleiner is naarmate er meer weerstanden parallel zijn geschakeld.

Na verwijderen van R_2 is er een weerstand minder in de parallelschakeling.

Dus de totale weerstand van de schakeling neemt toe.

Omdat U_{tot} gelijk blijft, neemt de stroomsterkte I_{tot} dus af.

Schakeling D.

Voor de stroomsterkte geldt: $U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$

Voor een serieschakeling geldt dat de totale weerstand groter is, naarmate er meer weerstanden in serie zijn geschakeld.

Na verwijderen van R_2 is er een weerstand minder in serie.

Dus R_{tot} neemt af. Omdat U_{tot} gelijk blijft, neemt de stroomsterkte I_{tot} dus toe.

Opmerking

Na verwijderen van R_2 is schakeling A gelijk aan schakeling C, en B gelijk aan D.

5.5 Elektrische componenten

Opgave 28

- a Dat $R_1 = 10 \Omega$ leid je af door twee vergelijkingen met een onbekende op te lossen.
De vergelijkingen stel je op met de wet van Ohm.
De wet van Ohm vul je in door voor twee waarden van R_2 de stroomsterkte in figuur 5.51 te bepalen.

Als $R_2 = 0 \Omega$, is de stroomsterkte 1,2 A.

Als $R_2 = 10 \Omega$, is de stroomsterkte 0,60 A.

Voor de serieschakeling geldt: $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2$

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot (R_1 + R_2)$$

$$U_{\text{tot}} = 1,2 \cdot (R_1 + 0)$$

$$U_{\text{tot}} = 0,6 \cdot (R_1 + 10)$$

$$\text{Dus } 1,2 \cdot (R_1 + 0) = 0,6 \cdot (R_1 + 10)$$

Hieruit volgt: $R_1 = 10 \Omega$.

of

Als stroomsterkte halveert, dan is de totale weerstand in de serieschakeling verdubbeld van 10Ω naar 20Ω . Dat betekent dat R_1 gelijk is aan 10Ω .

- b De batterijspanning bereken je met de wet van Ohm als $R_2 = 0 \Omega$.

Als $R_2 = 0 \Omega$, is de stroomsterkte 1,2 A.

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$U_{\text{bron}} = 1,2 \times 10$$

$$U_{\text{bron}} = U_{\text{tot}} = 12 \text{ V}$$

Opgave 29

- a Bij een spanning groter dan 1,5 V neemt de stroomsterkte door de led toe.
De doorlaatspanning is dus de spanning waarbij de led begint te geleiden.
- b De spanning van de bron volgt uit het kenmerk van spanning in een serieschakeling.
De spanning over de led volgt uit figuur 5.53.
 U_1 bereken je met de wet van Ohm.
 I_1 volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.

Voor de serieschakeling geldt: $I_1 = I_{\text{led}} = 100 \text{ mA} = 0,100 \text{ A}$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$R_1 = 50 \Omega$$

$$U_1 = 0,100 \times 50$$

$$U_1 = 5,00 \text{ V}$$

Voor de serieschakeling geldt: $U_{\text{bron}} = U_1 + U_{\text{led}}$

$$U_{\text{led}} = 3,0 \text{ V} \quad (\text{aflezen uit figuur 5.53 van het leerboek})$$

$$U_1 = 5,00 \text{ V}$$

$$U_{\text{bron}} = 5,00 + 3,0$$

$$U_{\text{bron}} = 8,00 \text{ V}$$

Afgerond: $U_{\text{bron}} = 8,0 \text{ V}$.

- c Of de weerstand van de led toeneemt, afneemt of gelijk blijft beredeneer je door de wet van Ohm toe te passen voor twee stroomsterktes door de led.
De spanning door en de stroomsterkte over de led lees je af in figuur 5.53 van het leerboek.

$$U_{\text{led}} = I_{\text{led}} \cdot R_{\text{led}}$$

$$I_{\text{led}} = 100 \text{ mA} = 100 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$U_{\text{led}} = 3,0 \text{ V}$$

$$3,0 = 100 \cdot 10^{-3} \cdot R_{\text{led}}$$

$$R_{\text{led}} = 30 \Omega$$

$$U_{\text{led}} = I_{\text{led}} \cdot R_{\text{led}}$$

$$I_{\text{led}} = 50 \text{ mA} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$U_{\text{led}} = 2,3 \text{ V}$$

$$2,3 = 50 \cdot 10^{-3} \cdot R_{\text{led}}$$

$$R_{\text{led}} = 46 \Omega$$

Dus de weerstand neemt af als de spanning over de led toeneemt.

Opgave 30

- a Of de stroomsterkte daalt of stijgt, bereedeneer je met de wet van Ohm.
De verandering van de weerstand bereedeneer je met de beschrijving van een NTC.

Als de temperatuur stijgt, neemt de weerstand van de NTC af.
De spanning over de NTC verandert niet.

Dus stijgt volgens de wet van Ohm de stroomsterkte door de NTC.

- b De formule leid je af met de wet van Ohm toegepast op de NTC en toegepast op de gehele schakeling.

De weerstand volgt uit het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.
De stroomsterkte volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.

Voor de weerstand geldt: $R_{\text{tot}} = R_{\text{NTC}} + R_1$

Voor de stroomsterkte geldt: $I_{\text{tot}} = I_{\text{NTC}}$

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = U_{\text{bron}}$$

$$U_{\text{bron}} = I_{\text{NTC}} \cdot (R_{\text{NTC}} + R_1)$$

$$I_{\text{NTC}} = \frac{U_{\text{bron}}}{R_{\text{NTC}} + R_1}$$

Voor de spanning over de NTC geldt: $U_{\text{NTC}} = I_{\text{NTC}} \cdot R_{\text{NTC}}$

Combineren van de twee formules levert:

$$U_{\text{NTC}} = \frac{U_{\text{bron}}}{R_{\text{NTC}} + R_1} \cdot R_{\text{NTC}}$$

$$\text{Dus } U_{\text{NTC}} = \frac{R_{\text{NTC}}}{R_{\text{NTC}} + R_1} \cdot U_{\text{bron}}$$

- c De gevoeligheid bereken je met de gegeven formule.
Een spanning bereken je met de formule gegeven bij vraag b.
De weerstand bij een temperatuur lees je af in figuur 5.55.

$$\text{gevoeligheid} = \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

$$U_{\text{NTC}} = \frac{R_{\text{NTC}}}{R_{\text{NTC}} + R_1} \cdot U_{\text{bron}} \quad (\text{zie vraag b})$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{20} = 0,60 \text{ k}\Omega = 0,60 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$$

$$R_1 = 0,40 \text{ k}\Omega = 0,40 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$$

$$U_{\text{bron}} = 5,0 \text{ V}$$

$$U_{\text{NTC}} = \frac{0,60 \cdot 10^3}{0,60 \cdot 10^3 + 0,40 \cdot 10^3} \times 5,0$$

$$U_{\text{NTC}} = 3,00 \text{ V}$$

$$T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_{40} = 0,28 \text{ k}\Omega = 0,28 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$$

$$R_1 = 0,40 \text{ k}\Omega = 0,40 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$$

$$U_{\text{bron}} = 5,0 \text{ V}$$

$$U_{\text{NTC}} = \frac{0,28 \cdot 10^3}{0,28 \cdot 10^3 + 0,40 \cdot 10^3} \times 5,0$$

$$U_{\text{NTC}} = 1,92 \text{ V}$$

$$\text{gevoeligheid} = \frac{3,00 - 1,92}{40 - 20}$$

$$\text{gevoeligheid} = 2,90 \text{ V }^\circ\text{C}^{-1}$$

Afgerond: $2,9 \text{ V }^\circ\text{C}^{-1}$.

- d De stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm.

Omdat de spanning hetzelfde blijft, hoort bij de maximale stroomsterkte de laagste waarde voor de weerstand.

De bron levert de grootste stroomsterkte bij de laagste waarde van de NTC: bij $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$U_{\text{NTC}} = I_{\text{NTC}} \cdot R_{\text{NTC}}$$

$$U_{\text{NTC}} = 1,92 \text{ V}$$

$$R_{\text{NTC}} = 0,28 \cdot 10^3 \text{ }\Omega$$

$$1,92 = I_{NTC} \cdot 0,28 \cdot 10^3$$

$$I_{NTC} = 6,85 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 6,85 \text{ mA}$$

Dat is minder dan 7,5 mA. Dus de temperatuursensor voldoet.

- e De sensor geeft een te hoge temperatuur aan, omdat deze de warmte niet snel kan afvoeren. De sensor blijft het water nog verwarmen als de maximumtemperatuur al is bereikt.

Opgave 31

- a Of de weerstand van de LDR groter of kleiner wordt, leg je uit met behulp van figuur 5.56 en de beschrijving van het verband tussen afstand en verlichtingssterkte.

Zie figuur 5.56 van het leerboek.

Als de afstand groter wordt, wordt de weerstandswaarde ook groter.

Als de afstand groter wordt, neemt de verlichtingssterkte af.

Dus als de verlichtingssterkte toeneemt, neemt de weerstandswaarde van de LDR af.

- b Dat het logisch is dat de spanningsmeter over weerstand 1 staat, leg je uit met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.

Weerstand 1 en de LDR vormen een serieschakeling. De grootste spanning staat over de grootste weerstand. Als R_{LDR} kleiner wordt, neemt U_{LDR} af en U_1 neemt toe.

U_1 neemt dus toe als de lichtsterkte toeneemt.

Als de voltmeter dan over weerstand 1 is geplaatst, kun je zeggen dat als de aanwijzing op de meter toeneemt de lichtsterkte toeneemt. En dat is logisch.

- c De afstand van de lamp tot de LDR lees je af in figuur 5.56.

R_{LDR} bereken je met de wet van Ohm toegepast op de LDR.

I_{LDR} volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.

I_1 bereken je met de wet van Ohm toegepast op weerstand 1.

U_1 volgt uit het kenmerk van spanning in een serieschakeling.

Voor de serieschakeling geldt: $U_{bron} = U_1 + U_{LDR}$

$$U_{bron} = 5,0 \text{ V}$$

$$U_{LDR} = 2,3 \text{ V}$$

$$5,0 = U_1 + 2,3$$

$$U_1 = 2,7 \text{ V}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$R_1 = 220 \Omega$$

$$2,7 = I_1 \cdot 220$$

$$I_1 = 1,227 \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

Voor de serieschakeling geldt: $I_{LDR} = I_1 = 1,227 \cdot 10^{-2} \text{ A}$

$$U_{LDR} = I_{LDR} \cdot R_{LDR}$$

$$U_{LDR} = 2,3 \text{ V}$$

$$2,3 = 1,227 \cdot 10^{-2} \cdot R_{LDR}$$

$$R_{LDR} = 187,4 \Omega$$

Uit figuur 5.56 van het leerboek volgt dat de afstand gelijk is aan 0,28 m.

Opgave 32

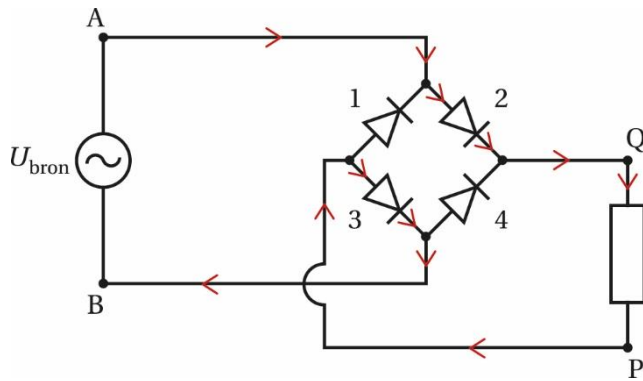
- a Welke dioden geleiden, bepaal je met de richting waarin een diode de elektrische stroom doorlaat en de richting van de elektrische stroom.

De richting van de elektrische stroom is van de positieve A door de schakeling naar de negatieve B.

Een diode laat de elektrische stroom door in de richting van de 'pijl'.

Zie figuur 5.6.

De dioden 2 en 3 geleiden tussen 0 en 0,01 s.



Figuur 5.6

- b De stroom gaat van Q naar P door de weerstand.
 c De richting van de stroom door de weerstand bepaal je met de dioden die de stroom doorlaten.
 Welke dioden geleiden, bepaal je met de richting waarin een diode de elektrische stroom doorlaat en de richting van de elektrische stroom.

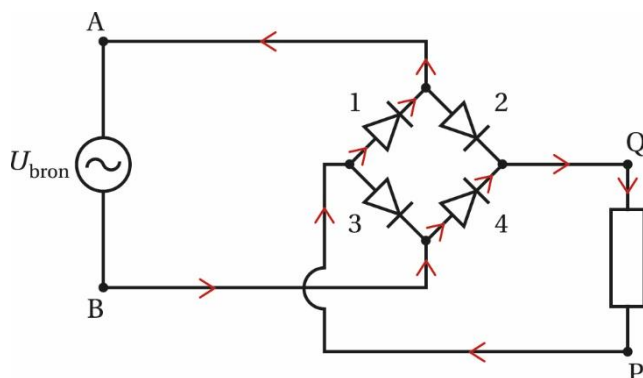
De richting van de elektrische stroom is van de positieve B door de schakeling naar de negatieve A.

Een diode laat de elektrische stroom door in de richting van de 'pijl'.

De dioden 4 en 1 geleiden tussen 0 en 0,01 s.

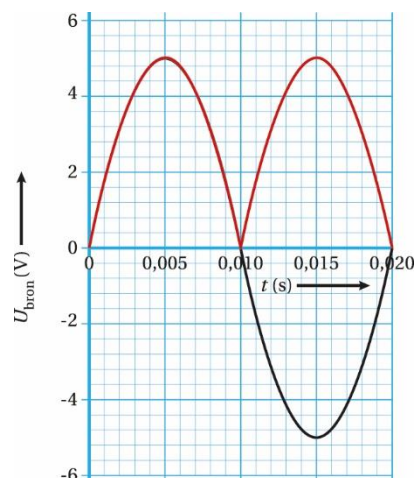
Ook nu gaat de stroom van Q naar P door de weerstand.

Zie figuur 5.7.



Figuur 5.7

- d Zie figuur 5.8.
 De stroom gaat altijd in dezelfde richting door de weerstand.
 Dus de spanning is altijd positief.



Figuur 5.8

Opgave 33

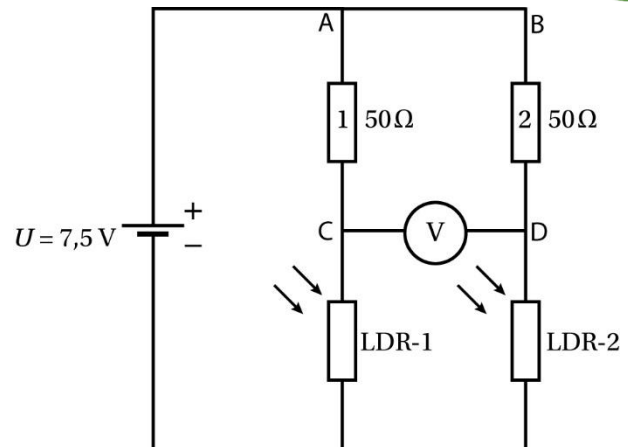
- a Dat zij gelijk hebben, leg je uit met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.
Dat U_1 gelijk is aan U_2 volgt uit de aanwijzing van de voltmeter en het feit dat A en B rechtstreeks met elkaar zijn verbonden.

Zie figuur 5.9.

De punt A en B zijn rechtstreeks met elkaar verbonden. Dus staat er geen spanning over de punten A en B.

De voltmeter wijst 0 V aan. Dus staat er ook geen spanning over de punten C en D.

Dus $U_1 = U_2$.



Figuur 5.9

In een serieschakeling wordt de spanning verdeeld over de weerstanden.

In de stroomkring met de spanningsbron, weerstand 1 en LDR-1 geldt:

$$7,5 = U_1 + U_{\text{LDR-1}}$$

In de stroomkring met de spanningsbron, weerstand 2 en LDR-2 geldt:

$$7,5 = U_2 + U_{\text{LDR-2}}$$

Omdat $U_1 = U_2$ geldt dus ook $U_{\text{LDR-1}} = U_{\text{LDR-2}}$.

Daardoor zijn ook de weerstanden van LDR-1 en LDR-2 aan elkaar gelijk.

- b De verlichtingssterkte van LDR₁ bepaal je met figuur 5.61 van het leerboek.

$R_{\text{LDR-1}}$ bereken je met de wet van Ohm.

$U_{\text{LDR-1}}$ bereken je met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.

U_1 bereken je met de wet van Ohm.

I_1 volgt uit het kenmerk van stroom in een parallelschakeling.

Als de weerstanden van de twee LDR's aan elkaar gelijk zijn, zijn de twee takken identiek.

De stroom van 100 mA die de bron levert, splitst zich dan in tweeën.

De stroomsterkte in elke tak is $50 \text{ mA} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

Dus $I_{\text{tot},1} = I_1 = I_{\text{LDR-1}} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

$$U_1 = I_1 \cdot R_1$$

$$R_1 = 50 \Omega$$

$$U_1 = 50 \cdot 10^{-3} \times 50$$

$$U_1 = 2,5 \text{ V}$$

Voor de serieschakeling geldt: $U_{\text{bron}} = U_1 + U_{\text{LDR-1}}$

$$7,5 = 2,5 + U_{\text{LDR-1}}$$

$$U_{\text{LDR-1}} = 5,0 \text{ V}$$

$$U_{\text{LDR-1}} = I_{\text{LDR-1}} \cdot R_{\text{LDR-1}}$$

$$5,0 = 50 \cdot 10^{-3} \cdot R_{\text{LDR-1}}$$

$$R_{\text{LDR-1}} = 100 \Omega$$

In figuur 5.61 van het leerboek lees je dan af dat de verlichtingssterkte gelijk is aan $40 \cdot 10^3 \text{ lux}$.

of

De weerstand van LDR-1 bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

$R_{\text{tot},1}$ bereken je met de wet van Ohm.

$I_{\text{tot},1}$ volgt uit het kenmerk van stroom in een parallelschakeling.

Als de weerstanden van de twee LDR's aan elkaar gelijk zijn, zijn de twee takken identiek.

De stroom van 100 mA die de bron levert, splitst zich dan in tweeën.

De stroomsterkte in elke tak is $50 \text{ mA} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

Dus $I_{\text{tot},1} = I_1 = I_{\text{LDR-1}} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

Vwo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

$$\begin{aligned}
 U_{\text{bron}} &= I_{\text{tot},1} \cdot R_{\text{tot},1} \\
 U_{\text{bron}} &= 7,5 \text{ V} \\
 I_{\text{tot},1} &= 50 \cdot 10^{-3} \text{ A} \\
 7,5 &= 50 \cdot 10^{-3} \times R_{\text{tot},1} \\
 R_{\text{tot},1} &= 150 \Omega
 \end{aligned}$$

Voor de serieschakeling geldt: $R_{\text{tot},1} = R_1 + R_{\text{LDR}-1}$

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 50 \Omega \\
 150 &= 50 + R_{\text{LDR}-1} \\
 R_{\text{LDR}-1} &= 100 \Omega
 \end{aligned}$$

- In figuur 5.61 van het leerboek lees je dan af dat de verlichtingssterkte gelijk is aan $40 \cdot 10^3$ lux.
- c Dat U_2 gelijk is aan 1,5 V bereken je met de wet van Ohm.
 I_2 bereken je met het kenmerk van stroom in een parallelschakeling.
 $I_{\text{tot},1}$ bereken je met de wet van Ohm in de tak weerstand 1 + LDR-1.
 $R_{\text{tot},1}$ bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

$$R_{\text{tot},1} = 100 + 50 = 150 \Omega$$

$$\begin{aligned}
 U_{\text{bron}} &= I_{\text{tot},1} \cdot R_{\text{tot},1} \\
 U_{\text{bron}} &= 7,5 \text{ V} \\
 7,5 &= I_{\text{tot},1} \cdot 150 \\
 I_{\text{tot},1} &= 50 \cdot 10^{-3} \text{ A}
 \end{aligned}$$

Voor de parallelschakeling geldt: $I_{\text{bron}} = I_{\text{tot},1} + I_{\text{tot},2}$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{bron}} &= 80 \text{ mA} = 80 \cdot 10^{-3} \text{ A} \\
 80 \cdot 10^{-3} &= 50 \cdot 10^{-3} + I_{\text{tot},2} \\
 I_{\text{tot},2} &= 30 \cdot 10^{-3} \text{ A}
 \end{aligned}$$

In de serieschakeling met weerstand 2 en LDR-2 geldt: $I_{\text{tot},2} = I_2 = 30 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

$$\begin{aligned}
 U_2 &= I_2 \cdot R_2 \\
 R_2 &= 50 \Omega \\
 U_2 &= 30 \cdot 10^{-3} \times 50 \\
 U_2 &= 1,5 \text{ V}
 \end{aligned}$$

- d De verlichtingssterkte van LDR-2 bepaal je met figuur 5.61 van het leerboek.
 $R_{\text{LDR}-2}$ bereken je met de wet van Ohm.
 $U_{\text{LDR}-2}$ bereken je met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.
 $I_{\text{LDR}-2}$ volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.

Voor de serieschakeling van weerstand 2 en LDR-2 geldt: $I_2 = I_{\text{LDR}-2} = I_{\text{tot},2} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

Voor de serieschakeling geldt: $U_{\text{bron}} = U_2 + U_{\text{LDR}-2}$

$$\begin{aligned}
 U_{\text{bron}} &= 7,5 \text{ V en } U_2 = 1,5 \text{ V} \\
 7,5 &= 1,5 + U_{\text{LDR}-2} \\
 U_{\text{LDR}-2} &= 6,0 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{\text{LDR}-2} &= I_{\text{LDR}-2} \cdot R_{\text{LDR}-2} \\
 6,0 &= 30 \cdot 10^{-3} \cdot R_{\text{LDR}2} \\
 R_{\text{LDR}-2} &= 200 \Omega
 \end{aligned}$$

In figuur 5.61 van het leerboek lees je dan af dat de verlichtingssterkte gelijk is aan $24 \cdot 10^3$ lux.

5.6 Energie in huis

Opgave 34

Zie tabel 5.1.

centrale	voordeel	nadeel
conventionele centrale	relatief goedkoop	uitstoot broeikasgassen
kerncentrale	geen uitstoot broeikasgassen	radioactief afval
windmolenpark	geen vervuiling	afhankelijk van de wind
waterkrachtcentrale	geen vervuiling	aantasting van de natuur

Tabel 5.1

Opgave 35

- a De vaartijd bereken je met de formule voor energie.

$$E = P \cdot t$$

$$E = 3,6 \text{ MJ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$P = 4,0 \text{ kW} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$4,0 \cdot 10^3 = \frac{3,6 \cdot 10^6}{t}$$

$$t = 900 \text{ s} = 0,25 \text{ h}$$

- b De stroomsterkte bereken je met de formule voor het elektrisch vermogen.

$$P = U \cdot I$$

$$P = 4,0 \text{ kW} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$U = 43,2 \text{ V}$$

$$4,0 \cdot 10^3 = 43,2 \times I$$

$$I = 92,5 \text{ A}$$

$$\text{Afgerond: } I = 93 \text{ A.}$$

- c Het rendement bereken je met de formule voor rendement.

P_{nuttig} volgt uit het vermogen dat de zonnecellen leveren als op 1 m^2 1000 W aan stralingsenergie valt.

P_{in} bereken je uit de oppervlakte aan zonnecellen en de definitie van wattpiek.

$$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%$$

$$P_{\text{nuttig}} = 1750 \text{ W}$$

$$P_{\text{in}} = 7,92 \times 1000$$

$$P_{\text{in}} = 7,92 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{1750}{7,92 \cdot 10^3} \cdot 100\%$$

$$\eta = 22,09\%$$

$$\text{Afgerond: } \eta = 22,1\%.$$

- d De oplaadtijd bereken je met de formule voor energie.

De energie is de maximale energie die in de batterijen kan worden opgeslagen.

Het vermogen is het maximale vermogen dat de zonnecellen samen kunnen leveren.

$$E = P \cdot t$$

$$P = 1750 \text{ W}$$

$$E = 3,6 \text{ MJ} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1750 = \frac{3,6 \cdot 10^6}{t}$$

$$t = 2,05 \cdot 10^3 \text{ s} = 0,571 \text{ h}$$

$$\text{Afgerond: } t = 0,57 \text{ h.}$$

of

$$E = P \cdot t$$

$$E = 3,6 \text{ MJ} = 1,0 \text{ kWh}$$

$$P = 1750 \text{ W} = 1750 \cdot 10^{-3} \text{ kW} = 1,750 \text{ kW}$$

$$1,75 = \frac{1,0}{t}$$

$$t = 0,571 \text{ h}$$

Afgerond: 0,57 h.

Opgave 36

- a De energie die per seconde in de kabel wordt omgezet in warmte bereken je met de formule voor elektrisch vermogen met weerstand en stroomsterkte.
De weerstand van de kabel bereken je met de formule voor de soortelijke weerstand.
De doorsnede van de draad bereken je met de diameter.
De stroomsterkte door de kabel volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.
De stroomsterkte door de pomp bereken je met de formule voor elektrisch vermogen.

$$P_{\text{pomp}} = U_{\text{pomp}} \cdot I_{\text{pomp}}$$

$$P = 2,2 \text{ kW} = 2,2 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$U = 230 \text{ V}$$

$$2,2 \cdot 10^3 = 230 \times I_{\text{pomp}}$$

$$I_{\text{pomp}} = 9,565 \text{ A}$$

In de serieschakeling geldt: $I_{\text{pomp}} = I_{\text{kabel}}$

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

$$d = 0,75 \text{ mm} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi (0,75 \cdot 10^{-3})^2$$

$$A = 4,417 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 17 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m} \quad (\text{zie BINAS tabel 8})$$

$$\ell = 2 \times 50 = 100 \text{ m} \quad (\text{Er zijn twee aders in serie geschakeld.})$$

$$A = 4,417 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$$

$$17 \cdot 10^{-9} = \frac{R \cdot 4,417 \cdot 10^{-7}}{100}$$

$$R = 3,848 \Omega$$

$$P_{\text{draad}} = I_{\text{draad}}^2 \cdot R$$

$$P_{\text{draad}} = 9,565^2 \times 3,848$$

$$P_{\text{draad}} = 352 \text{ W}$$

Afgerond: $P_{\text{draad}} = 3,5 \cdot 10^2 \text{ W}$.

- b De tijd bereken je met de formule voor energie.
De hoeveelheid energie bereken je met de temperatuurstijging en de energie per graad.

Er is 13 kJ nodig om de temperatuur 1 °C te laten stijgen. De temperatuur van de kabel stijgt 30 °C. Er is dan $30 \times 13 \text{ kJ} = 390 \text{ kJ}$ aan energie nodig.

$$E = P \cdot t$$

$$E = 390 \text{ kJ} = 390 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$P = 3,5 \cdot 10^2 \text{ W}$$

$$390 \cdot 10^3 = 3,5 \cdot 10^2 \cdot t$$

$$t = 11,1 \cdot 10^3 \text{ s} = 18,57 \text{ min}$$

Afgerond: $t = 19 \text{ min}$.

- c Of de tijdsduur groter dan, kleiner dan of gelijk is aan die van vraag b, bereken je met de formule voor elektrisch vermogen met weerstand en stroomsterkte.
De weerstand bereken je met de formule voor soortelijke weerstand.
De hoeveelheid energie voor dezelfde temperatuurstijging bereken je met de verandering van de lengte van de kabel.

Er is 390 kJ nodig om de temperatuur van 50 meter kabel 30 °C te laten stijgen. Omdat de kabel wordt gehalveerd, is ook de helft van de energie nodig om de temperatuur van 25 meter kabel 30 °C te laten stijgen.

Omdat de lengte van de kabel wordt gehalveerd, wordt ook de lengte van de aders gehalveerd. De weerstand van de kabel wordt dan ook gehalveerd.

Doordat de weerstand van de kabel wordt gehalveerd, maar de stroomsterkte gelijk blijft, wordt ook de energie die per seconde wordt omgezet in warmte gehalveerd.

Omdat zowel de energie als het vermogen worden gehalveerd, blijft de tijdsduur gelijk.

Opgave 37

- a De afname van U_L leg je uit met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.
De afname van I_L leg je uit met het kenmerk van stroom in een serieschakeling.
De afname van de stroomsterkte in de gehele schakeling leg je uit met de wet van Ohm.

De regelbare weerstand R staat in serie met het lampje. Als de weerstand R toeneemt, neemt de totale weerstand toe. De totale spanning blijft gelijk. Als de totale weerstand toeneemt, neemt volgens de wet van Ohm de totale stroomsterkte af. En daardoor ook I_L .

Bij een serieschakeling staat de grootste spanning over de grootste weerstand.

Als de weerstand R toeneemt en R_L blijft gelijk, komt er verhoudingsgewijs meer spanning over weerstand R te staan. Daardoor neemt U_L af.

of

I_L neemt af en R_L blijft hetzelfde. Dan is volgens de wet van Ohm U_L kleiner.

- b Het elektrische vermogen dat de spanningsbron levert, bereken je met de formule voor het vermogen van elektrische stroom.

$$P_L = U_L \cdot I_L$$

Als $R = 0$, dan is U_L gelijk aan $U_{\text{bron}} = 6,0 \text{ V}$.

$$I_L = 0,46 \text{ A} \quad (\text{aflezen in figuur 5.72 van het leerboek})$$

$$U_L = U_{\text{bron}} = 6,0 \text{ V} \quad (\text{Als } R = 0 \Omega \text{ is alleen de lamp op de spanningsbron geschakeld.})$$

$$P_L = 6,0 \times 0,46 = 2,76 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P_L = 2,8 \text{ W.}$$

- c Dat het vermogen afneemt, toon je aan door de grootheden in de formule voor het vermogen van elektrische stroom te analyseren: bespreek de spanning en de stroomsterkte.
De stroomsterkte leg je uit aan de hand van de wet van Ohm voor de gehele schakeling.
De weerstand leg je uit met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

Voor de serieschakeling geldt: $R_{\text{tot}} = R_L + R$

Doordat R toeneemt en R_L blijft gelijk, neemt R_{tot} toe.

$$U_{\text{bron}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$$

Omdat de spanning U_{bron} gelijk blijft en R_{tot} neemt toe, neemt I_{tot} af.

$$P_{\text{bron}} = U_{\text{bron}} \cdot I_{\text{tot}}$$

De spanning U_{bron} blijft gelijk en I_{tot} neemt af, dus neemt P_{bron} af.

- d De hoeveelheid warmte die per seconde in de weerstand met $R = 6,0 \Omega$ ontstaat, bereken je met de formule voor het vermogen van elektrische stroom.
De spanning over de weerstand bereken je met de wet van Ohm.
De stroomsterkte lees je af in figuur 5.72.

$$P = I \cdot R$$

$$I = 0,36 \text{ A} \quad (\text{aflezen in figuur 5.72 van het leerboek})$$

$$R = 6,0 \Omega$$

$$P = 0,36^2 \times 6,0$$

$$P = 0,777 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } 0,78 \text{ W.}$$

Opgave 38

De weerstand die als eerste zijn maximale warmtevermogen bereikt, bepaal je met de stroomsterkte in een serieschakeling.

De stroomsterkte bereken je met de formule voor elektrisch vermogen met stroomsterkte en weerstand.

$$P = I \cdot R$$

$P = 0,25 \text{ W}$	$P = 0,50 \text{ W}$	$P = 1,0 \text{ W}$
$R = 10 \Omega$	$R = 47 \Omega$	$R = 82 \Omega$
$0,25 = I \cdot 10$	$0,50 = I \cdot 47$	$1,0 = I \cdot 82$
$I = 0,158 \text{ A}$	$I = 0,103 \text{ A}$	$I = 0,110 \text{ A}$

De weerstanden staan in serie met elkaar. Dus de stroomsterkte door elke weerstand is steeds dezelfde. Neemt de bronspanning toe, dan neemt de stroomsterkte toe, maar door elke weerstand met dezelfde waarde.

De weerstand die het eerst zijn maximale warmtevermogen bereikt, is dus de weerstand met de kleinste stroomsterkte bij het maximale warmtevermogen.

Dus weerstand 2 bereikt als eerste zijn maximale warmtevermogen.

Opgave 39

a De tijd bereken je met de formule voor energie.

De energie bereken je met de hoeveelheid warmte om het ijs te smelten.

De hoeveelheid warmte om het ijs te smelten bereken je met de smeltwarmte van ijs.

$$Q_{\text{smelt}} = 334 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \quad (\text{zie BINAS tabel 11 bij water})$$

$$m = 220 \text{ g} = 220 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$Q = 220 \cdot 10^3 \times 334 \cdot 10^3 = 7,348 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$E = P \cdot t$$

$$E = Q = 7,348 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$P = 180 \text{ W}$$

$$7,348 \cdot 10^4 = 180 \cdot t$$

$$t = 4,082 \cdot 10^2 \text{ s}$$

$$\text{Afgerond: } 4,08 \cdot 10^2 \text{ s.}$$

b Er wordt warmte gebruikt om de achterraut zelf te verwarmen.

Er verdwijnt warmte naar de lucht.

c De weerstand van één draad bereken je met de wet van Ohm.

De spanning bepaal je met het kenmerk van spanning in een parallelschakeling.

De stroomsterkte door een draad bereken je met het kenmerk van stroom in een parallelschakeling.

De totale stroomsterkte bereken je met de formule voor elektrisch vermogen.

$$P_{\text{tot}} = U_{\text{tot}} \cdot I_{\text{tot}}$$

$$P_{\text{tot}} = 180 \text{ W}$$

$$U_{\text{tot}} = 12,8 \text{ V}$$

$$180 = 12,8 \cdot I_{\text{tot}}$$

$$I_{\text{tot}} = 14,06 \text{ A}$$

Vwo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

De 13 draden zijn parallel geschakeld en zijn gelijkwaardig. Dus de totale stroomsterkte wordt verdeeld over de draden.

$$I_{\text{draad}} = \frac{1}{13} \times 14,06 = 1,0815 \text{ A}$$

$$U_{\text{draad}} = I_{\text{draad}} \cdot R_{\text{draad}}$$

Voor de parallelschakeling geldt: $U_{\text{draad}} = U_{\text{accu}} = 12,8 \text{ V}$

$$12,8 = 1,0815 \cdot R_{\text{draad}}$$

$$R_{\text{draad}} = 11,83 \Omega$$

Afgerond: $R_{\text{draad}} = 11,8 \Omega$.

- d Of de opgave van de fabrikant klopt, bepaal je met de formule voor de soortelijke weerstand.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$R = 11,8 \Omega$$

$$A = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2 = 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 4,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$$

$$\ell = 1,1 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{11,8 \times 4,2 \cdot 10^{-8}}{1,1}$$

$$\rho = 4,50 \cdot 10^{-7} \Omega \text{ m}$$

Volgens BINAS tabel 9 is de soortelijke weerstand van constantaan $0,45 \cdot 10^{-6}$.

Dat is hetzelfde als de afgeronde waarde van $4,50 \cdot 10^{-7} \Omega \text{ m}$.

Dus de opgave van de fabrikant klopt.

- e Of de stroom die de accu levert kleiner of groter wordt, bepaal je met het kenmerk van stroom in een parallelschakeling.

In een parallelschakeling is de totale stroomsterkte de som van de takstromen.

Als een van de verwarmingsdraden doorbrandt, is er een tak minder.

De stroom die de accu levert is dus kleiner.

Opgave 40

- a Het rendement bereken je met de formule voor rendement.

E_{nuttig} bereken je met de formule voor soortelijke warmte.

E_{in} bereken je met de formule voor energie.

E_{in} is de elektrische energie die nodig is om het water op te warmen.

$$E_{\text{in}} = P \cdot t$$

$$P = 1,40 \text{ kW} = 1,40 \cdot 10^3 \text{ W}$$

$$t = 104 \text{ s}$$

$$E_{\text{in}} = 1,40 \cdot 10^3 \times 104$$

$$E_{\text{in}} = 1,456 \cdot 10^5 \text{ J}$$

E_{nuttig} is de hoeveelheid warmte om het water te verwarmen.

$$E_{\text{nuttig}} = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$m = 0,30 \text{ kg}$$

$$\Delta T = 95 - 20 = 75 \text{ }^\circ\text{C}. \text{ Dus } \Delta T = 75 \text{ K}.$$

$$E_{\text{nuttig}} = 4,18 \cdot 10^3 \times 0,30 \times 75 = 9,405 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}}$$

$$\eta = \frac{9,405 \cdot 10^4}{1,456 \cdot 10^5} = 0,645$$

Afgerond: 0,65 (65%).

Vwo 4 Hoofdstuk 5 Uitwerkingen

- b De weerstand van het koffiezetapparaat bereken je met de wet van Ohm.
 U is de netspanning.
 I bereken je met de formule voor het vermogen van het koffiezetapparaat.

$$P = U \cdot I$$
$$P = 1,40 \text{ kW} = 1,40 \cdot 10^3 \text{ W}$$
$$U = U_{\text{net}} = 230 \text{ V}$$
$$1,40 \cdot 10^3 = 230 \cdot I$$
$$I = 6,086 \text{ A}$$

$$U = I \cdot R$$
$$230 = 6,086 \times R$$
$$R = 37,78 \Omega$$

Afgerond: 37,8 Ω .

De weerstand van een draad bereken je met de formule voor de soortelijke weerstand.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$
$$\rho = 17 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m} \quad (\text{zie BINAS tabel 8})$$
$$\ell = 10 \text{ m}$$
$$A = 1,5 \text{ mm}^2 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$
$$17 \cdot 10^{-9} = \frac{R \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}}{10}$$
$$R = 0,113 \Omega$$

Afgerond: 0,11 Ω .

De warmteontwikkeling per seconde in de draad bereken je met de formule voor elektrisch vermogen.

De weerstand bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

De stroomsterkte volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling.

I_{tot} bereken je met de wet van Ohm.

U_{tot} is de netspanning.

R_{tot} volgt uit het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

Voor de serieschakeling geldt: $R_{\text{tot}} = 2R_{\text{draad}} + R_{\text{koffie}}$

$$R_{\text{tot}} = 2 \times 0,11 + 37,8 = 38,02 \Omega$$

$$U_{\text{tot}} = U_{\text{net}} = 230 \text{ V}$$

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \times R_{\text{tot}}$$
$$230 = I_{\text{tot}} \cdot 38,02$$
$$I_{\text{tot}} = 6,049 \text{ A}$$

$$P_{\text{draad}} = I_{\text{draad}}^2 \cdot R_{\text{draad}}$$
$$R_{\text{draad}} = 2 \times 0,11 = 0,22 \Omega$$
$$P_{\text{draad}} = 6,049^2 \times 0,22$$
$$P = 8,051 \text{ W}$$

Afgerond: 8,05 W.

5.7 De huisinstallatie

Opgave 41

Dat de situatie in figuur 5.82b gevaarlijk kan zijn, leg je uit met de mogelijkheid om in contact te komen met een spanning van 230 V.

Wanneer er geen stroom loopt (schakelaar open), is in situatie A de ene kant van de lamp verbonden met de nuldraad (0 V). Op de andere kant van de lamp staat ook geen spanning omdat er geen verbinding is met de fasedraad.

In situatie B heeft de lamp een verbinding met de fasedraad (230 V) ondanks dat de schakelaar open staat. Als je de lamp eruit zou willen halen, dan kun je met die spanning van 230 V in aanraking komen en dat is gevaarlijk.

Opgave 42

- a Het maximale vermogen bereken je met de formule voor het elektrisch vermogen.

$$P = U \cdot I$$

$$U = 230 \text{ V}$$

$$I = 75 \text{ A}$$

$$P = 230 \times 75$$

$$P = 1,725 \cdot 10^4 \text{ W}$$

$$\text{Afgerond: } P = 1,7 \cdot 10^4 \text{ W.}$$

- b Om te zien of alle apparaten tegelijk kunnen functioneren, vergelijk je de totale stroomsterkte met de maximale stroomsterkte van de zekering.

De totale stroomsterkte bereken je met de formule voor het elektrisch vermogen.

Het totale vermogen is de som van de vermogens van alle apparaten.

$$P_{\text{tot}} = 75 + 150 + 250 + 100 + 850 + 2300$$

$$P_{\text{tot}} = 3725 \text{ W}$$

$$P_{\text{tot}} = U_{\text{tot}} \cdot I_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = 230 \text{ V}$$

$$3725 = 230 \times I_{\text{tot}}$$

$$I_{\text{tot}} = 16,1 \text{ A}$$

I_{tot} is groter dan 16 A. Niet alle apparaten kunnen tegelijk functioneren.

Opgave 43

- a De totale kosten in een jaar bereken je met de prijs van 1 kWh en de hoeveelheid gebruikte energie in een jaar.

De hoeveelheid gebruikte energie in een jaar bereken je met de formule voor energie.

$$E = P \cdot t$$

$$P = 149 \text{ W} = 0,149 \text{ kW}$$

$$t = 13 \text{ h} \times 52 = 676 \text{ h (tijdsduur in een jaar)}$$

$$E = 0,149 \times 676$$

$$E = 100,7 \text{ kWh}$$

1 kWh kost € 0,21.

$$100,7 \times 0,21 = 21,152$$

De totale kosten zijn € 21,15.

- b De verspilde energie bereken je met het vermogen in stand-by en de tijd per jaar in stand-by. De tijd per jaar in stand-by bereken je met de tijd in een jaar en de tijd dat er tv wordt gekeken.

$$t_{\text{stand-by}} = t_{\text{jaar}} - t_{\text{tv}}$$

$$t_{\text{jaar}} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s} \quad (\text{zie BINAS tabel 5})$$

$$t_{\text{tv}} = 676 \text{ uur} = 676 \times 3600 = 2,43 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$t_{\text{stand-by}} = 3,15 \cdot 10^7 - 2,433 \cdot 10^6$$

$$t_{\text{stand-by}} = 2,906 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$E = P \cdot t$$
$$P = 0,20 \text{ W}$$
$$E = 0,20 \times 2,906 \cdot 10^7$$
$$E = 5,81 \cdot 10^6 \text{ J}$$
$$\text{Afgerond: } E = 5,8 \cdot 10^6 \text{ J.}$$

Opgave 44

- a Om vast te stellen of je iets voelt, vergelijk je de stroomsterkte waarbij je iets voelt met de stroomsterkte bij een spanning van 50 V onder droge omstandigheden. De stroomsterkte bij een spanning van 50 V onder droge omstandigheden bereken je met de wet van Ohm.

$$U = I \cdot R$$
$$U = 50 \text{ V}$$
$$R = 30 \text{ k}\Omega = 30 \cdot 10^3 \Omega$$
$$50 = I \cdot 30 \cdot 10^3$$
$$I = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 1,66 \text{ mA}$$

Deze stroomsterkte is groter dan 0,5 mA. Je voelt dus wel iets.

- b Om te controleren of de aardlekschakelaar altijd uitschakelt, vergelijk je de 'uitschakelstroomsterkte' met de stroomsterkte bij een spanning van 230 V onder droge omstandigheden. De stroomsterkte bij een spanning van 230 V onder droge omstandigheden bereken je met de wet van Ohm.

$$U = I \cdot R$$
$$U = 230 \text{ V}$$
$$R = 30 \text{ k}\Omega = 30 \cdot 10^3 \Omega$$
$$230 = I \cdot 30 \cdot 10^3$$
$$I = 7,66 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 7,66 \text{ mA}$$

Deze stroomsterkte is kleiner dan 30 mA. De aardlekschakelaar zal de stroomkring nu niet onderbreken.

- c De maximale stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm toegepast op de weerstand in de spanningszoeker. De stroomsterkte in de weerstand is het grootst als de spanning over de weerstand de spanning van het lichtnet is.

$$U = I \cdot R$$
$$R = 1,0 \text{ M}\Omega = 1,0 \cdot 10^6 \Omega$$
$$U = 230 \text{ V}$$
$$230 = I \cdot 1,0 \cdot 10^6$$
$$I = 2,30 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 0,23 \text{ mA}$$

Deze stroomsterkte is kleiner dan de stroomsterkte die je kunt voelen. Dus er kan geen gevaarlijke situatie ontstaan.

Opmerking

De weerstand in de spanningszoeker, het lampje en je lichaam vormen een serieschakeling. In de praktijk zal de totale weerstand groter zijn en de stroomsterkte dus nog kleiner.

Opgave 45

- a De hoeveelheid warmte die per seconde ontstaat, bereken je met de formule voor elektrisch vermogen.
De stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm.
De weerstand van 1,0 m koperdraad bereken je met de formule voor de soortelijke weerstand.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 17 \cdot 10^{-9} \Omega \text{m} \quad (\text{zie BINAS tabel 8})$$

$$A = 1,5 \text{ mm}^2 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\ell = 1,0 \text{ m}$$

$$17 \cdot 10^{-9} = \frac{R \times 1,5 \cdot 10^{-6}}{1,0}$$

$$R = 1,133 \cdot 10^{-2} \Omega$$

$$U = I \cdot R$$

$$I = 16 \text{ A}$$

$$U_{1,0\text{m}} = 16 \times 1,133 \cdot 10^{-2}$$

$$U_{1,0\text{m}} = 0,181 \text{ V}$$

$$P_{1,0\text{m}} = U_{1,0\text{m}} \cdot I$$

$$P_{1,0\text{m}} = 0,181 \times 16$$

$$P_{1,0\text{m}} = 2,90 \text{ W}$$

Afgerond ontstaat er 2,9 J per seconde aan warmte in 1,0 m draad.

- b Waarom die doorsnede veel groter is dan 2,5 mm² leg je uit met het kenmerk van stroom in een parallelschakeling.

De groepen zijn parallel aangesloten op de stroomdraad die naar de kWh-meter gaat.

De stroomsterkte in de stroomdraad naar de kWh-meter is de som van de stromen van de groepen. Die stroom is dus veel groter. Om te voorkomen dat de draad doorbrandt, moet de weerstand van de draad veel kleiner zijn. Uit de formule voor de soortelijke weerstand volgt dat de draad veel dikker moet zijn. (Alle andere grootheden in de formule voor soortelijke weerstand zijn uiteraard hetzelfde.)

- c Omdat de warmte die ontstaat in de draad afgevoerd wordt via de buitenkant van de draad. Als de doorsnede van de draad tien keer zo groot wordt, wordt de buitenkant niet tien keer zo groot (maar ongeveer 3,2 keer). Een draad van 25 mm² kan zijn warmte minder goed kwijt dan een draad van 2,5 mm² en wordt daardoor te heet.

Opmerking

Als de doorsnede 10 keer zo groot is, is de massa ook 10 keer zo groot.

Als de doorsnede 10 keer zo groot is, is de weerstand 10 keer zo klein.

Is de stroomsterkte 10 keer zo groot, dan is het warmtevermogen 10 keer zo groot ($Q = I^2 \cdot R$).

Het warmtevermogen per kg is even groot voor een draad van 2,5 mm² en van 25 mm².

- d Waarom de stroomdraden dikker zijn dan in je huis, leg je uit met de formule voor soortelijke weerstand.

De weerstand beredeneer je met de wet van Ohm.

De stroomsterkte beredeneer je met de formule voor elektrisch vermogen.

$$P = U \cdot I \text{ met } P = 20 \text{ W en } U = 230 \text{ V}$$

De spanning in huis (230 V) is bijna 20 keer groot als die op de boot (12 V).

Dus bij gelijk vermogen is de stroomsterkte in huis bijna 20 keer zo klein als op de boot.

Volgens de wet van Ohm moet de weerstand dan 20 keer zo klein zijn.

Uit de formule voor soortelijke weerstand volgt dan dat de draden dikker moeten zijn omdat anders de toevoerdraden te warm worden en er brand kan ontstaan.

(Alle andere grootheden in de formule voor soortelijke weerstand zijn uiteraard hetzelfde.)

5.8 Afsluiting

Opgave 46

- a De lengte van de draad bereken je met de formule voor de soortelijke weerstand. De dwarsdoorsnede bereken je met de diameter.

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

$$d = 40 \text{ } \mu\text{m} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi (40 \cdot 10^{-6})^2$$

$$A = 1,25 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}$$

$$\rho = 0,45 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega\text{ m}$$

$$R = 350 \text{ } \Omega$$

$$A = 1,25 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$$

$$0,45 \cdot 10^{-6} = \frac{350 \times 1,25 \cdot 10^{-9}}{\ell}$$

$$\ell = 0,977 \text{ m}$$

Afgerond: $\ell = 0,98 \text{ m}$.

- b De lengte wordt groter, waardoor de weerstand toeneemt. Omdat de lengte groter wordt en het volume gelijk moet blijven, neemt de dwarsdoorsnede af. Omdat de dwarsdoorsnede kleiner wordt, neemt de weerstand toe.
- c De verandering van de spanning die de voltmeter aangeeft bereken je met het verschil in spanning. De spanning als de weerstand $350 \text{ } \Omega$ ($U_{2,350}$) is, bereken je met het kenmerk van spanning in een serieschakeling. De spanning als de weerstand $351 \text{ } \Omega$ ($U_{2,351}$) is, bereken je met de wet van Ohm. $I_{2,351}$ volgt uit het kenmerk van stroom in een serieschakeling. I_{tot} bereken je met de wet van Ohm. R_{tot} bereken je met het kenmerk van weerstand in een serieschakeling.

Als de weerstand $1,0 \text{ } \Omega$ groter wordt, dan is de weerstand van het rekstrookje $351 \text{ } \Omega$.

De totale weerstand in de serieschakeling is dan $701 \text{ } \Omega$.

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = 5,00 \text{ V}$$

$$R_{\text{tot}} = R_{\text{rek}} + R_2 = 351 + 350 = 701 \text{ } \Omega$$

$$5,00 = I_{\text{tot}} \times 701$$

$$I_{\text{tot}} = 0,007132 \text{ A}$$

In de serieschakeling geldt: $I_{\text{tot}} = I_{2,351} = 0,007132 \text{ A}$

$$U_{2,351} = I_{2,351} \cdot R_{2,351}$$

$$I_{2,351} = 0,007132 \text{ A}$$

$$R_2 = 350 \text{ } \Omega$$

$$U_{2,351} = 0,007132 \times 350$$

$$U_{2,351} = 2,496 \text{ V}$$

Als het rekstrookje niet is uitgerekt, zijn de twee weerstanden gelijk. De spanning wordt dan gelijk verdeeld over de weerstanden en de spanningsmeter geeft $2,50 \text{ V}$ aan.

$$\text{percentage} = \frac{2,50 - 2,496}{2,50} \times 100\%$$

$$\text{percentage} = 0,14\%$$

Dit is inderdaad minder dan $0,5\%$.

- d De spanning bepaal je met behulp van de weerstand van het rekstrookje in figuur 5.87 van het leerboek.
De weerstand van het rekstrookje bepaal je met behulp van de uitrekking van het rekstrookje in figuur 5.88 van het leerboek.
De uitrekking van het rekstrookje bereken je met de uitrekking van de kabel.

De uitrekking van het rekstrookje bereken je met behulp van een verhoudingstabel. Zie tabel 5.2. Je moet de eenheden van de uitrekking en de lengte op elkaar afstemmen.

	lengte	uitrekking
kabel	198 m	0,12 m
rekstrookje	6,1 cm	x

Tabel 5.2

Het rekstrookjerekt dan $\frac{0,12}{198} \times 6,1 = 3,69 \cdot 10^{-3}$ cm uit. Dit is 36,9 μm .

Uit figuur 5.88 van het leerboek blijkt dat de weerstand van het rekstrookje dan gelijk is aan 351,3 Ω .

In figuur 5.87 van het leerboek lees je af dat er dan een spanning wordt gemeten van 4,6 mV. Het alarm gaat af bij een spanning van 4,6 mV.

Opgave 46

- a Het vermogen van het stopcontact bereken je met de formule voor elektrische stroom.
De stroomsterkte door het bovenste verwarmingselement bereken je met het kenmerk van stroom bij een serieschakeling.
De totale stroomsterkte bereken je met de wet van Ohm toegepast op de gehele schakeling.
De totale weerstand bereken je met het kenmerk van weerstand in een parallelschakeling.

$$R_{\text{tot}} = 2 \times R_{\text{draad}} + R_{\text{element}}$$

$$R_{\text{tot}} = 2 \times 0,16 + 53,2$$

$$R_{\text{tot}} = 53,52 \Omega$$

$$U_{\text{tot}} = I_{\text{tot}} \cdot R_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = 230 \text{ V}$$

$$230 = I_{\text{tot}} \times 53,52$$

$$I_{\text{tot}} = 4,297 \text{ A}$$

$$P_{\text{tot}} = U_{\text{tot}} \cdot I_{\text{tot}}$$

$$U_{\text{tot}} = 230 \text{ V}$$

$$I_{\text{tot}} = 4,297 \text{ A}$$

$$P_{\text{tot}} = 230 \times 4,297$$

$$P_{\text{tot}} = 988,4 \text{ W}$$

Afgerond: $P = 988 \text{ W}$.

- b De overige 3% is het warmtevermogen dat ontstaat in de aansluitdraden (en de behuizing van de kachel).
- c Het rendement beredeneer je met de formule voor rendement.

P_{in} en P_{nuttig} beredeneer je met de formule voor elektrisch vermogen.
 U_{in} blijft 230 V.

U_{nuttig} beredeneer je met het kenmerk van spanning in een serieschakeling.
 I_{nuttig} en I_{in} beredeneer je met het kenmerk van stroom in een serieschakeling.
 R_{draad} verandert niet.
 R_{nuttig} beredeneer je met het kenmerk van weerstand in een parallelschakeling.

Door het inschakelen van het tweede element wordt R_{nuttig} van de twee elementen gehalveerd. Volgens de wet van Ohm wordt daardoor I_{nuttig} bijna 2x zo groot. Dit komt doordat de weerstand van de aansluitdraden heel klein is ten opzichte van die van de verwarmingselementen.

Omdat de spanning 230 V blijft, wordt P_{nuttig} ook bijna 2x zo groot.

In de serieschakeling van de aansluitdraden met de verwarmingselementen geldt $I_{\text{draad}} = I_{\text{nuttig}}$. De weerstand van de draden verandert niet en voor het vermogen dat in de aansluitdraden wordt omgezet in warmte geldt: $P_{\text{draad}} = I_{\text{draad}}^2 \cdot R_{\text{draad}}$. Omdat de weerstand van de draad niet verandert en de stroomsterkte bijna 2x zo groot wordt, wordt het warmtevermogen van de draad bijna 4x zo groot.

Het warmtevermogen in de draad stijgt sneller dan het nuttige vermogen en het rendement van de straalkachel wordt dus kleiner.

of

In een serieschakeling wordt de spanning verdeeld over de weerstanden. Hoe groter de weerstand, des te groter is de spanning over die weerstand.

Omdat de weerstand van de draad niet verandert en de weerstand van de verwarmingselementen wordt gehalveerd, neemt de spanning over de aansluitdraad toe en de spanning over de verwarmingselementen af.

De stroomsterkte is gelijk. Dus het vermogen over de aansluitdraad neemt toe en het vermogen over de verwarmingselementen neemt af.

Het rendement wordt dus kleiner.