

# Energie-omzetting en rendement



### **Over ThiemeMeulenhoff**

ThiemeMeulenhoff is dé educatieve mediaspecialist en levert educatieve oplossingen voor het Primair Onderwijs, Voortgezet Onderwijs, Middelbaar Beroepsonderwijs en Hoger Onderwijs. Deze oplossingen worden ontwikkeld in nauwe samenwerking met de onderwijsmarkt en dragen bij aan verbeterde leeropbrengsten en individuele talentontwikkeling.

Meer informatie over ThiemeMeulenhoff en een overzicht van onze educatieve oplossingen: [www.thieme-meulenhoff.nl](http://www.thieme-meulenhoff.nl) of via de Klantenservice 088 800 20 16

© ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2014.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp ([www.stichting-pro.nl](http://www.stichting-pro.nl)). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie [www.auteursrechtenonderwijs.nl](http://www.auteursrechtenonderwijs.nl).

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Energie-omzetting en rendement</b>	<b>5</b>
1.1	Warmte	8
1.2	Rendement	23
1.3	Meetopdrachten: het rendement van een waterketel	32



# 1

## HOOFDSTUK

# Energie-omzetting en rendement

### Waar gaat dit hoofdstuk over?

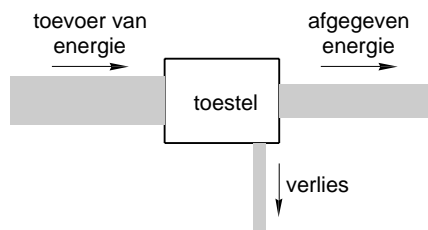
- › Hoe je omrekent van graden Celsius naar kelvin en omgekeerd.
- › Over fase-overgangen.

vast  $\rightleftharpoons$  vloeibaar  $\rightleftharpoons$  gasvormig

- › Over smelten en stollen.
- › Over verdampen en condenseren.
- › Over warmtetransport door middel van straling, stroming en geleiding.
- › Over soortelijke warmte, en hoe je hiermee berekeningen maakt.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

- › Over het rendement van elektrische toestellen en motoren.



$$\text{rendement} = \frac{W_{\text{af}}}{W_{\text{toe}}}$$

**Dit weet je al!**

- o Dat smelten het omgekeerde is van stollen.
- o Dat verdampen het omgekeerde is van condenseren.
- o Wat het kookpunt van water is. En wat het smeltpunt van water is.
- o Hoe je het vermogen van toestellen berekent.
- o Hoe je de arbeid van elektrische toestellen berekent.

**Formules**

$$P = U \cdot I$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = U \cdot I \cdot t$$

**Twijfel je?**

Maak dan eerst de instaptoets.

**Instaptoets**

Kruis de goede antwoorden aan op de invulstaat aan het eind van deze instaptoets.

- 1 Water kookt onder normale omstandigheden bij:
  - a. 0 °C
  - b. 50 °C
  - c. 90 °C
  - d. 100 °C
  
- 2 Je leest nu twee beweringen over temperaturen. Zijn ze juist?
  - I Er bestaan geen temperaturen beneden de  $-200$  °C.
  - II Er kunnen temperaturen boven de 1 miljoen °C voorkomen.
  - a. I en II zijn beide niet juist
  - b. I en II zijn beide juist
  - c. alleen II is juist
  - d. alleen I is juist
  
- 3 Een elektromotor is aangesloten op een spanning van 230 V. De motor neemt een stroom op van 3,2 A. Wat is het vermogen dat de motor opneemt?
  - a. 0,014 W
  - b. 71,9 W
  - c. 233,2 W
  - d. 736 W
  
- 4 Een elektrisch toestel van 375 W staat 20 minuten ingeschakeld. Wat is het verbruik van het toestel in die tijd?
  - a. 7500 joule
  - b. 7500 kWh
  - c. 450 kJ
  - d. 125 kWh
  
- 5 Een boiler is aangesloten op een spanning van 400 V. In 3 uur verbruikt de boiler een energie van 27 MJ. Bereken de stroom die de boiler opneemt.
  - a. 6,25 A
  - b. 22,5 A
  - c. 4,94 A
  - d. 3 A

**Invulstaat**

	a	b	c	d		a	b	c	d
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Vergelijk je antwoorden met de antwoorden op de instaptoets achter in dit boek. Heb je antwoorden fout? Bestudeer dan die onderwerpen nog een keer. De onderwerpen van de vragen 3 t/m 5 vind je in deel 1.

# Natuurkunde

## 1.1 Warmte

Warmte is een natuurkundige vorm van energie.

We kunnen warmte aan een stof toevoeren. Dan krijgen de moleculen van de stof een grotere snelheid. Als we warmte onttrekken, wordt de snelheid van de moleculen juist lager.

De temperatuur van de stof gaat gelijk op met die snelheid. Hoe groter de snelheid van de moleculen, hoe hoger de temperatuur. En andersom.

Stel dat de temperatuur van een stof hoger wordt. Dan wordt de snelheid van de moleculen dus groter. Ook de afstand tussen de moleculen wordt dan groter. De stof *zet uit*.

Temperaturen kunnen we in verschillende eenheden uitdrukken. Ten eerste in graden Celsius: °C. Ten tweede in kelvin: K.

Wat is een temperatuurverschil van 1 °C als we het omzetten in K? Het getal is dan precies even groot: 1 K. Hiervoor maakt het dus niet uit of werken in °C of in K. Temperatuurverschillen zijn dan even groot.

Toch zijn de twee eenheden niet hetzelfde. Ze hebben een ander nulpunt. Tussen de nulpunten van hun temperatuurschalen ligt een verschil van 273:

$$0 \text{ °C} \triangleq 273 \text{ K}$$

Wat is dan 10 °C als we het in K uitdrukken? De temperatuur is 10 °C hoger. Dat is ook 10 K hoger. Want voor het *verschil* maakt het immers niet uit welke eenheid je neemt. En dus:

$$10 \text{ °C} \triangleq (10 + 273) \text{ K} = 283 \text{ K}$$

Algemeen:

$$x \text{ °C} \triangleq (x + 273) \text{ K}$$

Andersom geldt ook:

$$273 \text{ K} \triangleq 0 \text{ °C}$$

en bijvoorbeeld:

$$300 \text{ K} \triangleq (300 - 273) \text{ °C} = 27 \text{ °C}$$

Algemeen:

$$y \text{ K} \triangleq (y - 273) \text{ °C}$$



## Toetsopgave en oefenopgaven

Maak nu toetsopgave 1.

Doe het rekenwerk in je schrift. Vul alleen je antwoorden in.

Controleer na elke toetsopgave je antwoord. Kijk daarvoor achter in je boek.

Is je antwoord niet goed? Maak dan eerst de oefenopgaven.

Is je antwoord wel goed? Sla de oefenopgaven dan over.

---

### Toetsopgave 1

Vul in:

a.  $400\text{ }^{\circ}\text{C} \triangleq \text{_____ K}$

b.  $173\text{ K} \triangleq \text{_____ }^{\circ}\text{C}$

---

### Oefenopgaven

1.1 Vul in:

a.  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \triangleq (\text{_____} + \text{_____})\text{ K}$

= \_\_\_\_\_ K

b.  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \triangleq \text{_____ K}$

c.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \triangleq \text{_____ K}$

d.  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \triangleq \text{_____ K}$

e.  $-100\text{ }^{\circ}\text{C} \triangleq \text{_____ K}$

1.2 Vul in:

a.  $273\text{ K} \triangleq (\text{_____} - \text{_____})\text{ }^{\circ}\text{C}$

= \_\_\_\_\_  $^{\circ}\text{C}$

b.  $373\text{ K} \triangleq \text{_____ }^{\circ}\text{C}$

c.  $250\text{ K} \triangleq \text{_____ }^{\circ}\text{C}$

d.  $0\text{ K} \triangleq \text{_____ }^{\circ}\text{C}$

e.  $400\text{ K} \triangleq \text{_____ }^{\circ}\text{C}$

Maak nu nog eens toetsopgave 1.

## Fase-overgangen

Stel dat we een vaste stof steeds verder verwarmen. Dan wordt de snelheid van de moleculen steeds groter. Ook de afstand tussen de moleculen wordt daarbij groter. Dat hebben we al gezien.

Bij een bepaalde temperatuur krijg je bij een vaste stof een grens. We kunnen die grens wel over gaan. Maar dan krijgt het materiaal de eigenschappen van een *vloeistof*. We zeggen: de vaste stof *smelt*.

We kunnen het materiaal ook nog verder verwarmen. Bij een nog hogere temperatuur komt er weer een grens. Het materiaal krijgt nu de eigenschappen van een *gas*. We zeggen: de vloeistof *verdamp*t.

We kunnen aan een materiaal ook warmte *onttrekken*. Daarbij koelt het materiaal dus af. De snelheid van de moleculen wordt steeds lager.

Stel dat we warmte aan een gas onttrekken. Dan ontstaat er juist een vloeistof. Dus er gebeurt het omgekeerde als bij verwarmen. We zeggen: het gas *condenseert*.

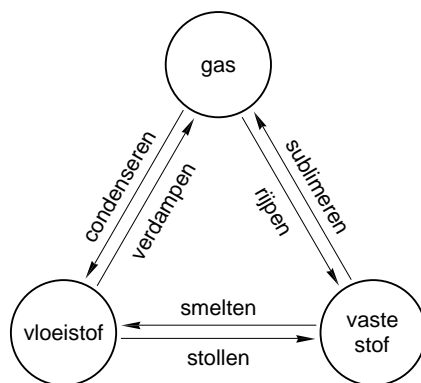
Wat gebeurt er bij verder onttrekken van warmte aan die vloeistof? Misschien raad je het al: er ontstaat er een vaste stof. We zeggen: de vloeistof *stolt*.

Het kan ook gebeuren dat een gas rechtstreeks in een vaste stof overgaat.

We zeggen dan: het gas *rijpt*.

Ook het omgekeerde komt voor. We zeggen dan: de vaste stof *sublimeert*.

Vaste stof, vloeistof en gas noemen we de verschillende *aggregatietoestanden*. Ook heten deze toestanden wel *fasen*. En de processen die je net hebt gezien, noemen we *fase-overgangen*. In figuur 1.1 zijn ze allemaal schematisch weergegeven.



Figuur 1.1 Fase-overgangen

### Smelten en stollen

Sommige stoffen zijn zuiver, bijvoorbeeld zuiver koper. Dan gebeurt het smelten en stollen bij dezelfde temperatuur. Als we vast koper verwarmen, smelt het bij een bepaalde temperatuur. En als we aan vloeibaar koper warmte onttrekken, stolt het bij diezelfde temperatuur.

Die temperatuur hangt wel af van de druk. Meestal is er de atmosferische druk:  $10^5$  Pa. Dan noemen we die temperatuur *smeltpunt* of *stolpunt*.

**Voor een zuivere stof geldt: smeltpunt = stolpunt.**

Het duurt een bepaalde tijd voordat de stof helemaal gesmolten of gestold is. Ondertussen verandert de temperatuur dan niet.

Toch moeten we tijdens het smelten warmte blijven toevoeren. Wat gebeurt daar dan mee? Die warmte is nodig om de stof te laten smelten.

Op dezelfde manier moeten we warmte blijven onttrekken tijdens het stollen. Dezelfde hoeveelheid warmte die voor het smelten nodig was, komt dan weer vrij.

Het moet dan wel om dezelfde stof gaan. En er moet evenveel vaste stof ontstaan als er bij het smelten overging in vloeistof. Onder deze voorwaarden geldt dus:

**toegevoerde smeltwarmte = vrijkomende stolwarmte**

Er zijn ook onzuivere stoffen, zoals glas. Die hebben geen *smeltpunt*, maar een *smelttraject*. Het smelten gebeurt tussen twee temperaturen in.

De temperatuur verandert dan dus wel tijdens het smelten.

Ondertussen wordt het glas bij een bepaalde temperatuur week. Het is dan te vervormen.

#### *Verdampen en condenseren*

Verdampen is dus de overgang van de vloeibare naar de gasvormige fase.

Condenseren is het omgekeerde.

We hebben gezien dat de temperatuur tijdens het smelten en stollen niet verandert. Tenminste bij een zuivere stof. Hetzelfde geldt bij verdampen en condenseren. Een zuivere stof verdampt en condenseert bij dezelfde temperatuur.

Ook verdampen en condenseren hangen af van de druk. Verdampen noemen we soms ook *koken*. Dan gebeurt het verdampen bij atmosferische druk:  $10^5$  Pa. Het *kookpunt* van water is  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Of uitgedrukt in K: 373 K.

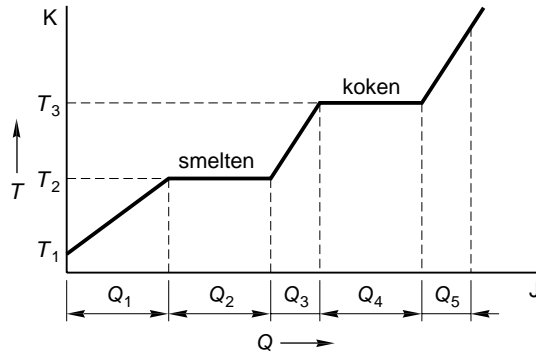
Voor verdampen is een bepaalde hoeveelheid warmte nodig. Bij condenseren komt die hoeveelheid warmte juist vrij. Het moet dan wel om een even grote hoeveelheid vloeistof gaan, en om dezelfde vloeistof.

Onder deze voorwaarden geldt dus:

**toegevoerde verdampingswarmte = vrijkomende condensatiewarmte**

Figuur 1.2 geeft het proces van smelten en koken duidelijk weer. Je kunt de figuur ook van rechts naar links lezen. Dan geeft de figuur het proces van condenseren en stollen weer.

Je kunt goed zien dat de temperatuur tijdens de fase-overgangen niet verandert.



Figuur 1.2 Verloop van de temperatuur  $T$  van een stof tijdens het toevoeren van warmte  $Q$  aan die stof

### Voorbeeld 1

We voeren warmte toe aan de stof van figuur 1.2. We zitten bij  $Q_1$ . Wat is de fase of aggregatietoestand van de stof?

Oplossing: Verwarmen betekent dat je de figuur van links naar rechts moet lezen.  
De temperatuur is dus lager dan het smeltpunt. En de stof is hier dus vast.

## Vragen en opdrachten

Beantwoord de vragen 1 t/m 5. De nummers 1 t/m 3a zijn theorievragen. Die kun je controleren door ze na te zoeken in het vorige gedeelte. Maar doe dat pas *nadat* je zelf antwoord hebt gegeven.

De antwoorden op de vragen 3b t/m 5 kun je niet nazoeken. Ze gaan vooral over 'gewone' dingen. Denk er eens over na.

- 1 Noem de drie aggregatietoestanden waarin een stof kan voorkomen.

1 \_\_\_\_\_

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

- 2 Noem de fase-overgangen. Geef ook de aggregatietoestanden waar het om gaat.

*fase-overgang**aggregatietoestanden**van**naar*

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

- 3 Stel, we verwarmen een voorwerp.  
a. Wat gebeurt er met de grootte van het voorwerp?

\_\_\_\_\_

- b. Zijn hier ook uitzonderingen op?

\_\_\_\_\_

- 4 In de natuur gaat waterdamp soms rechtstreeks over in ijs. Wat ontstaat er dan?

\_\_\_\_\_

- 5 a. Wat is onderkoelde regen?

\_\_\_\_\_

- b. Onderkoelde regen kan bijvoorbeeld met een boomtak in aanraking komen. Wat gebeurt er dan?

\_\_\_\_\_

### **Toetsopgave en oefenopgaven**

Maak nu toetsopgave 2.

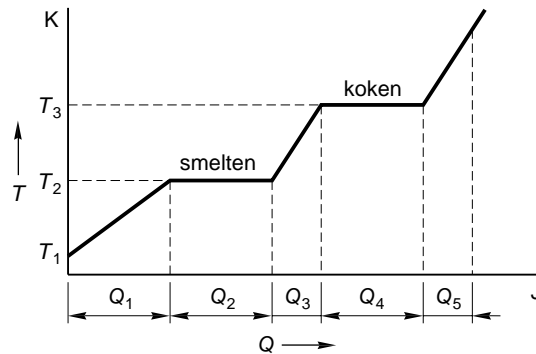
Is je antwoord niet goed? Maak dan eerst de oefenopgaven.

Is je antwoord wel goed? Sla de oefenopgaven dan over.

## Toetsopgave 2

We onttrekken warmte aan de stof van figuur 1.3. We zitten bij  $Q_5$ . Wat is de aggregatietoestand van de stof?

\_\_\_\_\_



Figuur 1.3 Verloop van de temperatuur  $T$  van een stof tijdens het toevoeren van warmte  $Q$  aan die stof

## Oefenopgaven

2.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 1. Maak die nu zelf.

We voeren warmte toe aan de stof van figuur 1.3. We zitten bij  $Q_1$ . Wat is de aggregatietoestand van de stof?

\_\_\_\_\_

2.2 We onttrekken warmte aan de stof van figuur 1.3. We zitten bij  $Q_3$ . Wat is de aggregatietoestand van de stof?

Oplossing: Warmte onttrekken betekent: je moet de figuur van

\_\_\_\_\_ naar \_\_\_\_\_ lezen.

Maar eigenlijk maakt dat niet uit. Want je kunt zien:

– de temperatuur is lager dan het \_\_\_\_\_ punt;

– de temperatuur is hoger dan het \_\_\_\_\_ punt.

De stof is hier dus \_\_\_\_\_

Maak nu nog eens toetsopgave 2.

## Warmtetransport

Warmte kan op drie manieren worden getransporteerd:

- door geleiding;
- door stroming;
- door straling.

### *Geleiding*

Metalen zijn goede warmtegeleiders. De moleculen blijven op hun plaats. Maar de energie geven ze aan elkaar door. Zeer goede warmtegeleiders zijn koper en zilver.

Vaste stoffen die geen metalen zijn (niet-metalen) zijn slechte warmtegeleiders. Hetzelfde geldt voor vloeistoffen en gassen.

Vooraf niet-metalen en gassen geleiden de warmte slecht. We noemen ze daarom *warmte-isolatoren*.

### *Stroming*

Een tweede vorm van warmtetransport is stroming. Deze vorm komt voor bij vloeistoffen en gassen.

Stel dat de moleculen ergens warmte hebben opgenomen. En dat ze dan gaan bewegen. Dan kunnen ze zo de warmte transporteren. Denk bijvoorbeeld aan bewegende lucht (wind).

Ook door het verwarmen kan beweging ontstaan. De stof zet bij verwarming namelijk uit en krijgt een kleinere dichtheid. De dichtheid is daar dus lager dan in niet-verwarmde gedeelten. De verwarmde stof stijgt daardoor op en transporteert zo de warmte.

*Thermiek* is zo'n verschijnsel. Thermiek is lucht die opstijgt na verwarming door de zon.

In de techniek helpen we meestal een handje. We zorgen dan zelf voor de stromende beweging. We brengen bijvoorbeeld een circulatiepomp aan. Denk maar aan een centrale warmwaterverwarming in een huis. Of aan de koeling van een automotor.

### *Straling*

Straling is een belangrijke vorm van energietransport.

Het kan zijn dat een voorwerp een hogere temperatuur heeft dan zijn omgeving. Dan zendt het straling uit.

Op zich is straling geen warmte. Maar de straling kan door andere voorwerpen worden opgenomen. We zeggen dan: de straling wordt *geabsorbeerd*. Dan wordt de stralingsenergie in warmte omgezet.

Stel dat we een aquarium hebben dat vol zit met helder water. We zetten het aquarium in de straling van de zon. Het aquarium zal dan bijna niet warmer worden. Het glas van het aquarium en het water absorberen de straling niet erg. Ze laten de stralingsenergie praktisch helemaal door.

Maar nu nemen we een even grote bak die van buiten dof-zwart is. We doen er evenveel water in. Het water krijgt nu in korte tijd een hogere temperatuur.

Dat komt door de dof-zwarte kleur. Die maakt dat de stralingsenergie veel sterker wordt geabsorbeerd.

Glas en water absorberen straling dus minimaal. Hetzelfde geldt voor blanke metalen en lichtgekleurde voorwerpen. Als op zulke oppervlakken straling valt, kaatsen ze die voor het grootste deel terug.

Doffe, donkergekleurde voorwerpen absorberen het beste. Daardoor krijgen ze een hogere temperatuur als er straling op valt.

## Soortelijke warmte

Stel, we verwarmen van verschillende stoffen een massa van 1 kg. We doen dit met dezelfde warmtebron. Alle stoffen hebben dezelfde begintemperatuur. We verwarmen alle stoffen tot dezelfde eindtemperatuur. Dit kost voor de verschillende stoffen een verschillende tijd. De stoffen nemen per K temperatuurstijging dus een verschillende hoeveelheid warmte op.

Nu nemen we 1 kg van één stof. We laten de temperatuur telkens 1 K stijgen. We meten daarbij hoeveel warmte het kost.

Het blijkt dan dat elke K temperatuurstijging evenveel warmte kost. We kunnen de stof bijvoorbeeld verwarmen van 350 K tot 351 K. Dan kost dat evenveel warmte als verwarmen van 273 K tot 274 K. Dit geldt voor elke stof.

Die hoeveelheid warmte is dus constant voor een stof. Maar wel geldt voor verschillende stoffen een andere waarde. Er is dus een constante die voor allerlei stoffen verschillend is. Zo'n constante noemen we een materiaalconstante.

We noemen deze materiaalconstante hier de *soortelijke warmte*. We duiden de soortelijke warmte aan met het symbool  $c$ . En we drukken deze uit in kilojoule per kilogram per kelvin:

$$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Normaal schrijven we dit op als:  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

We willen een hoeveelheid stof een aantal graden verwarmen. Hoeveel warmte kost dat dan?

We kunnen dat uitrekenen met de formule:

$$Q = m \cdot c \cdot (T_e - T_b)$$

met:

- $Q$  = hoeveelheid warmte in kJ;
- $m$  = massa van de stof in kg;
- $c$  = soortelijke warmte van de stof in  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;
- $T_e$  = eindtemperatuur in K;
- $T_b$  = begintemperatuur in K.



We noemen ( $T_e - T_b$ ) ook wel  $\Delta T$ . We kunnen  $T_e$  en  $T_b$  ook in  $^{\circ}\text{C}$  nemen. Maar dan wel allebei. Je hebt al gezien dat dit voor een temperatuurverschil niet uitmaakt.

### Voorbeeld 2

We verwarmen 3 kg water van  $20^{\circ}\text{C}$  tot  $100^{\circ}\text{C}$ . De soortelijke warmte van water is  $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Bereken de hoeveelheid warmte die hiervoor nodig is.

Gegeven:  $m = 3 \text{ kg}$   
 $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $T_b = 20^{\circ}\text{C}$   
 $T_e = 100^{\circ}\text{C}$

Gevraagd:  $Q$

Oplossing:  $Q = m \cdot c \cdot (T_e - T_b)$   
 $= 3 \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (100 - 20)^{\circ}\text{C}$   
 $= 1008 \text{ kJ}$

## Toetsopgave en oefenopgaven

Maak nu toetsopgave 3.

Is je antwoord niet goed? Maak dan eerst de oefenopgaven.

Is je antwoord wel goed? Sla de oefenopgaven dan over.

---

### Toetsopgave 3

We verwarmen 8 kg aluminium. De soortelijke warmte van aluminium is  $0,896 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . De begintemperatuur is  $20^{\circ}\text{C}$ . We voeren 430 kJ warmte toe.

Reken de eindtemperatuur uit.

\_\_\_\_\_

---

### Oefenopgaven

3.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 2. Maak die nu zelf.

We verwarmen 3 kg water van  $20^{\circ}\text{C}$  tot  $100^{\circ}\text{C}$ . De soortelijke warmte van water is  $4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Bereken de hoeveelheid warmte die hiervoor nodig is.

$Q = \text{_____ kJ}$

- 3.2 We verwarmen 2 kg alcohol van  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  tot  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De soortelijke warmte van alcohol is  $2,43\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .  
Bereken de benodigde warmte.

\_\_\_\_\_

- 3.3 We hebben een onbekende hoeveelheid petroleum. De soortelijke warmte van petroleum is  $2,13\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . We verwarmen de petroleum van  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  tot  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hiervoor blijkt  $12,78\text{ kJ}$  aan warmte nodig te zijn.  
Bereken de massa van de petroleum in g.

Gegeven: \_\_\_\_\_ =  $2,13\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$T_b = \text{_____ } ^{\circ}\text{C}$$

$$T_e = \text{_____ } ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{_____} = 12,78\text{ kJ}$$

Gevraagd: \_\_\_\_\_

Oplossing:  $Q = m \cdot \text{_____} \cdot \text{_____}$

dus:

$$m = \frac{\text{_____}}{\text{...} \cdot \text{.....}}$$

$$= \frac{\text{.... kJ}}{\text{.....}}$$

$$\text{.... kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (\text{..} \cdot \text{..}) ^{\circ}\text{C}$$

$$= \text{_____ kg} = \text{_____ g}$$

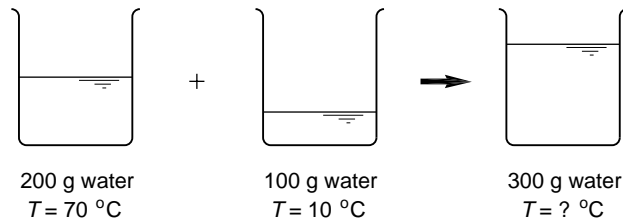
- 3.4 We hebben 500 g water met een temperatuur van  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De soortelijke warmte van water is  $4,2\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .  
We voeren  $189\ 000\text{ J}$  aan het water toe. Wat is dan de eindtemperatuur?

\_\_\_\_\_

Maak nu nog eens toetsopgave 3.

### Beginsel van Black

Stel, we hebben een bekeerglas met 200 g water van  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . In een ander glas zit 100 g water van  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . We schenken het koude water bij het hete water. Welke temperatuur krijgt het mengsel dan? Zie figuur 1.4.



Figuur 1.4 Koud water wordt met heet water gemengd

Hoe los je dit probleem op? Je hebt dan de *wet van behoud van energie* nodig. Hier hebben we alleen te maken met thermische energie. Bij de wet van behoud van energie hoef je dus alleen daar rekening mee te houden. De wet luidt dan: de totale hoeveelheid thermische energie van het systeem blijft constant.

We noemen thermische energie ook vaak warmte. Dat heb je al geleerd.

Laten we teruggaan naar het probleem van figuur 1.4. We nemen aan dat er geen thermische energie naar de omgeving gaat. Ook niet naar de bekeerglazen. De totale hoeveelheid thermische energie van het water moet volgens de wet dan gelijk blijven.

De eindtemperatuur van het water zal natuurlijk ergens tussen  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  in liggen.

Het hete water heeft dan thermische energie afgestaan. En het koude water heeft thermische energie opgenomen.

Wat volgt nu uit de wet van behoud van energie? Dat beide hoeveelheden thermische energie aan elkaar gelijk zijn.

Anders gezegd: het hete water heeft een bepaalde hoeveelheid warmte afgestaan. En het koude water heeft diezelfde hoeveelheid warmte opgenomen.

Dit alles kunnen we samenvatten als het beginsel van Black.

#### *Beginsel van Black*

In een van de omgeving afgesloten systeem blijft de totale hoeveelheid thermische energie constant. Als er *binnen* het systeem warmte-uitwisseling plaatsvindt, dan geldt:

**totale hoeveelheid afgestane warmte = totale hoeveelheid opgenomen warmte**

$$Q_{\text{afgestaan}} = Q_{\text{opgenomen}}$$

In het nu volgende voorbeeld gaan we het probleem van figuur 1.4 oplossen.

**Voorbeeld 3**

We mengen 200 g water van 70 °C met 100 g water van 10 °C. Bereken de eindtemperatuur van het water. Doe alsof er geen warmte-uitwisseling met de omgeving is.

Gegeven:  $m_1 = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$   
 $T_{b1} = 70 \text{ °C}$   
 $m_2 = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$   
 $T_{b2} = 10 \text{ °C}$

Gevraagd:  $T_e$

Oplossing: Normaal zetten we ook de eenheden in een berekening. Maar hier laten we de eenheden weg. Zo blijft alles overzichtelijker.

Voor het hete water geldt:

– temperatuurverandering:

$$\Delta T_1 = (T_{b1} - T_e) = (70 - T_e)$$

– afgestane warmte:

$$Q_1 = m_1 \cdot c \cdot \Delta T_1$$

$$= 0,2 \cdot c \cdot (70 - T_e)$$

Voor het koude water geldt:

– temperatuurverandering:

$$\Delta T_2 = (T_e - T_{b2}) = (T_e - 10)$$

– opgenomen warmte:

$$Q_2 = m_2 \cdot c \cdot \Delta T_2$$

$$= 0,1 \cdot c \cdot (T_e - 10)$$

afgestane warmte = opgenomen warmte

$$0,2 \cdot c \cdot (70 - T_e) = 0,1 \cdot c \cdot (T_e - 10)$$

delen door  $c$ :

$$0,2 \cdot (70 - T_e) = 0,1 \cdot (T_e - 10)$$

$$14 - 0,2 \cdot T_e = 0,1 \cdot T_e - 1$$

$$15 = 0,3 \cdot T_e$$

dus:

$$T_e = \frac{15}{0,3} = 50 \text{ °C}$$

Je ziet dat je in het voorbeeld de waarde van  $c$  niet nodig hebt. Dat komt omdat je er hier door kunt delen. Want we mengen water met zichzelf. De  $c$  is dus links en rechts hetzelfde.

### **Toetsopgave en oefenopgaven**

Maak nu toetsopgave 4.

Is je antwoord niet goed? Maak dan eerst de oefenopgaven.

Is je antwoord wel goed? Sla de oefenopgaven dan over.

---

#### **Toetsopgave 4**

We hebben 0,75 kg water met een temperatuur van 20 °C. De soortelijke warmte daarvan is  $4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Aan het water voegen we 1200 g brons toe. De temperatuur van dat brons is 90 °C. De soortelijke warmte van brons is  $0,38 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Bereken de eindtemperatuur. Neem daarbij aan dat er geen warmte-uitwisseling met de omgeving is.

---

#### **Oefenopgaven**

4.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 3. Maak die nu zelf.

We mengen 200 g water van 70 °C met 100 g water van 10 °C. Bereken de eindtemperatuur van het water. Doe alsof er geen warmte-uitwisseling met de omgeving is.

$$T_e = \text{_____} \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.2 We mengen 120 g water van 40 °C met 80 g water van 60 °C. Bereken de eindtemperatuur van het water na vermenging. Verwaarloos daarbij de warmte-uitwisseling met de omgeving.

4.3 We hebben een blokje aluminium met een massa van 100 g en een temperatuur van 80 °C. Het blokje wordt snel in 300 g water gebracht. Dat water heeft een temperatuur van 16 °C. Na goed roeren wordt een eindtemperatuur van 20 °C bereikt. De soortelijke warmte van water is  $4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Er vindt geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaats.

- a. Hoeveel J aan warmte heeft het water opgenomen?  
 b. Hoeveel J aan warmte heeft het blokje aluminium afgestaan?  
 c. Bereken de soortelijke warmte  $c$  van aluminium. Druk deze uit in  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Gegeven:  $m_{\text{Al}} = \text{_____ g} = \text{_____ kg}$

$T_{\text{bAl}} = \text{_____ } ^\circ\text{C}$

$m_{\text{water}} = \text{_____ g} = \text{_____ kg}$

$T_{\text{bwater}} = \text{_____ } ^\circ\text{C}$

$T_e = \text{_____ } ^\circ\text{C}$

$\text{_____} = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- Gevraagd: a. opgenomen  $Q_{\text{water}}$   
 b. afgestane  $Q_{\text{Al}}$   
 c.  $c_{\text{Al}}$

Oplossing: a.  $Q_{\text{water}} = \text{_____} \cdot \text{_____} \cdot (\text{_____} - \text{_____})$   
 $= \text{_____} \times \text{_____} \times (\text{_____} - \text{_____})$   
 $= \text{_____ J}$

b.  $Q \dots\dots\dots = Q \dots\dots\dots$

dus:

$Q_{\text{Al}} = \text{_____ J}$

c.  $Q_{\text{Al}} = \text{_____} \cdot c_{\text{Al}} \cdot (\text{_____} - \text{_____})$

dus:

$c_{\text{Al}} = \frac{\text{_____}}{\text{_____} \cdot (\text{_____} - \text{_____})}$

$= \frac{\text{_____}}{\text{_____} \times (\text{_____} - \text{_____})}$

$= \text{_____ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- 4.4 Een aluminium pan heeft een massa van 0,3 kg. De soortelijke warmte van aluminium is  $0,88 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Neem steeds aan dat er geen warmte-uitwisseling met de omgeving is.

- We willen de pan een temperatuurstijging geven van  $70\text{ }^\circ\text{C}$ .  
Bereken de warmte die hiervoor nodig is.
- We vullen de pan met  $2\text{ kg}$  water. De soortelijke warmte van water is  $4,18\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .  
We willen de pan met inhoud verwarmen van  $20\text{ }^\circ\text{C}$  tot  $90\text{ }^\circ\text{C}$ .  
Bereken de warmte die hiervoor nodig is.

a. \_\_\_\_\_ b. \_\_\_\_\_

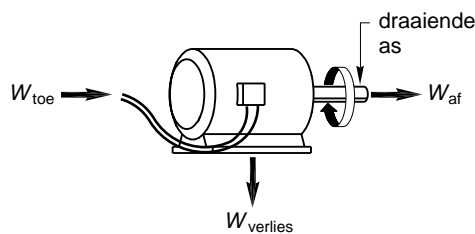
Maak nu nog eens toetsopgave 4.

## Elektriciteitsleer

### 1.2 Rendement

We kunnen energie omzetten van de ene vorm in de andere. Dan gaat er altijd energie verloren.

Bij een elektromotor krijgen we mechanische energie. Dat is dus de *afgegeven* of *nuttige* energie. Die is altijd kleiner dan de *toegevoerde* elektrische energie. In de motor gaat dus energie verloren. De verloren energie komt vrij in de vorm van warmte. Die warmte ontstaat door wrijving en andere soorten verliezen. Zie figuur 1.5.



Figuur 1.5 Omzetten van energie

Altijd geldt er:

$$W_{\text{toegevoerd}} = W_{\text{afgegeven}} + W_{\text{verlies}}$$

Dit noemen we de *wet van behoud van energie*.

In paragraaf 1.1 ben je die wet ook al tegengekomen. Daar beperkten we ons tot thermische energie. En we hielden geen rekening met verliezen.

Nu zie je de wet in een andere vorm. Verliezen zijn nu wel in rekening gebracht. En de wet geldt nu voor energie in het algemeen.

De afgegeven energie is de energie die nuttig is. Eén van de eigenschappen van apparaten heeft hiermee te maken. Namelijk, hoeveel nuttige energie een apparaat haalt uit de toegevoerde energie.

Voor elk apparaat is er een bepaalde verhouding tussen de afgegeven, nuttige energie en de toegevoerde energie. Die verhouding noemen we het *rendement*.

Het rendement geven we aan met een Griekse letter:  $\eta$ . Deze letter spreek je uit als 'èta'.

$$\text{rendement} = \frac{\text{afgegeven energie}}{\text{toegevoerde energie}}$$

ofwel:

$$\eta = \frac{W_{\text{af}}}{W_{\text{toe}}}$$

Vaak geven we het rendement in procenten. In dat geval vermenigvuldigen we de uitkomst van de verhouding met 100.

$$\eta = \frac{W_{\text{af}}}{W_{\text{toe}}} \times 100\%$$

We weten al dat geldt:  $P = \frac{W}{t}$ .

Voor het rendement geldt dus ook:

$$\eta = \frac{P_{\text{af}}}{P_{\text{toe}}} \times 100\%$$

#### **Voorbeeld 4**

Een motor is aangesloten op een spanning van 230 V. De motor neemt een stroom op van 8 A. Het rendement van deze motor is 90%.

Bereken het nuttige vermogen van de motor.

Gegeven:  $U = 230 \text{ V}$   
 $I = 8 \text{ A}$   
 $\eta = 90\%$

Gevraagd:  $P_{\text{af}}$

Oplossing: Het elektriciteitsnet levert  $P_{\text{toe}}$ . Dit vermogen kunnen we uitrekenen met:

$$P_{\text{toe}} = U \cdot I = 230 \text{ V} \times 8 \text{ A} = 1840 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{af}}}{P_{\text{toe}}} \times 100\%, \text{ dus:}$$



$$P_{\text{af}} = \frac{\eta}{100\%} \cdot P_{\text{toe}}$$

$$= \frac{90\%}{100\%} \times 1840 \text{ W} = 0,9 \times 1840 \text{ W} = 1656 \text{ W}$$

Ook bij warmwatertoestellen kunnen we met het rendement gaan rekenen. Bij de voorbeelden en opgaven schrijven we de eenheid van soortelijke warmte nu als  $\text{J/kg} \cdot \text{K}$ . Je weet dat dat hetzelfde is als  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### Voorbeeld 5

We hebben een boiler van 80 liter. Die verwarmt in 3 uur tijd water van  $15^\circ\text{C}$  tot  $80^\circ\text{C}$ . De soortelijke warmte van water is  $4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ . De boiler heeft een rendement van 95%.

Bereken voor deze boiler:

- de afgegeven energie
- de toegevoerde energie
- het toegevoerde vermogen

Gegeven:  $V = 80 \text{ l}$   
 $t = 3 \text{ uur}$   
 $T_{\text{b}} = 15^\circ\text{C}$   
 $T_{\text{e}} = 80^\circ\text{C}$   
 $c = 4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$   
 $\eta = 95\%$

Gevraagd: a.  $W_{\text{af}}$   
 b.  $W_{\text{toe}}$   
 c.  $P_{\text{toe}}$

Oplossing: a.  $W_{\text{af}} = m \cdot c \cdot \Delta T$  (zie paragraaf 1.1)

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = V \cdot \rho_{\text{water}} = 80 \text{ l} \times 1 \text{ kg/l} = 80 \text{ kg}$$

$$\Delta T = T_{\text{e}} - T_{\text{b}} = (80 - 15)^\circ\text{C} = 65^\circ\text{C}$$

dus:

$$W_{\text{af}} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$= 80 \text{ kg} \times 4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times 65^\circ\text{C}$$

$$= 21\,840\,000 \text{ J} \approx 21,8 \text{ MJ}$$

b. Voor het rendement geldt:

$$\eta = 95\% = 0,95$$

$$\eta = \frac{W_{\text{af}}}{W_{\text{toe}}}$$

waaruit volgt:

$$W_{\text{toe}} = \frac{W_{\text{af}}}{\eta} = \frac{21,8 \text{ MJ}}{0,95} = 22,9 \text{ MJ}$$

c.  $t = 3 \text{ uur} = 3 \times 3600 \text{ s} = 10800 \text{ s}$

We weten dat geldt:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{toe}} &= \frac{W_{\text{toe}}}{t} \\
 &= \frac{22,9 \text{ MJ}}{10800 \text{ s}} = \frac{22,9 \cdot 10^6 \text{ J}}{10800 \text{ s}} \\
 &= 2120 \text{ W} = 2,12 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Misschien heb je thuis wel een boiler. Ga deze laatste waarde uit het voorbeeld dan thuis eens na. Staat ongeveer zo'n waarde ook op jullie boiler opgegeven?

#### Wist je dat ...

- het rendement in het Nederlands ook wel *nuttigheidsgraad* heet?
- het rendement nooit hoger dan 100% ofwel 1 kan worden? (Waarom niet?)
- het toegevoerde vermogen bij elektrische apparaten altijd 'elektrisch' is?
- we dat toegevoerde vermogen dus altijd kunnen uitrekenen met de formule  $P = U \cdot I$ ?
- de nuttige, afgegeven energie alleen bij spanningsbronnen 'elektrisch' is?
- er geen apparaten bestaan die evenveel nuttige energie geven als eraan wordt toegevoerd?
- er toch altijd mensen geweest zijn die zo'n soort apparaat hebben proberen te maken?
- een voorbeeld van zo'n denkbeeldig apparaat een *perpetuum mobile* heet?
- dit 'apparaat' altijd blijft bewegen, zonder dat er energie in wordt gestopt?
- *perpetuum mobile* 'eeuwigdurende beweging' betekent?

### Vragen en opdrachten

Beantwoord de theorievragen 6 t/m 15. Je kunt je antwoorden controleren door ze na te zoeken in paragraaf 1.2. Maar doe dat pas *nadat* je zelf antwoord hebt gegeven.

- 6 Hoe wordt het rendement berekend met de energiegrootheden?

---



---

- 7 Hoe wordt het rendement berekend met de vermogensgrootheden?

---



---

- 8 Hoe wordt het rendement ook wel genoemd?

---

- 9 Wat verstaan we onder de nuttige energie?
- 
- 10 Voor een toestel is vaak gegeven welk vermogen het opneemt. Stel dat voor een bepaald toestel 1 kW wordt aangegeven. Is dat dan de toegevoerde energie of de nuttige energie?
- 
- 11 Hoe luidt de *wet van behoud van energie* in formulevorm?
- 
- 12 Waarom kan het rendement nooit meer zijn dan 100%?
- 
- 13 Welke energievorm is bij elektrische verbruiksapparaten altijd de toegevoerde energie?
- 
- 14 Welke energievorm is bij een spanningsbron de nuttige energie?
- 
- 15 Wat is een *perpetuum mobile*?
- 

### **Toetsopgaven en oefenopgaven**

Maak nu de toetsopgaven 5 t/m 7.

Is je antwoord niet goed? Maak dan eerst de oefenopgaven.

Is je antwoord wel goed? Sla de oefenopgaven dan over. Ga dan direct door met de volgende toetsopgave.

---

#### **Toetsopgave 5**

Een elektrisch apparaat heeft een rendement van 85%. Het geeft een nuttig vermogen van 600 W af. Het apparaat is aangesloten op een netspanning van 230 V.

Hoe groot is de stroom door het apparaat?

---

---

**Oefenopgaven**

- 5.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 4. Maak die nu zelf.

Een motor is aangesloten op een spanning van 230 V. De motor neemt een stroom op van 8 A. Het rendement van deze motor is 90%.

Bereken het nuttige vermogen van de motor.

$$P_{\text{af}} = \text{_____} \text{ W}$$

- 5.2 Een koelkastmotor neemt uit het net een elektrisch vermogen van 250 W op. Het nuttige vermogen dat geleverd wordt bedraagt 215 W.

Hoe groot is dan het rendement?

Gegeven:  $P_{\text{in}} = 250 \text{ W}$

$$P_{\text{out}} = 215 \text{ W}$$

Gevraagd:  $\eta$

Oplossing:  $\eta = \dots$

...

$$= \frac{\dots}{\dots} = \text{_____}$$

.....

- 5.3 Een elektromotor is aangesloten op een spanning van 230 V. Door de motor gaat een stroom van 5 A. Het afgegeven vermogen is dan 1 kW.

Bereken het rendement van de motor.

\_\_\_\_\_

- 5.4 We laten een generator draaien. We voeren daaraan een mechanisch vermogen toe van 10 kW. De generator heeft een rendement van 95%. De spanning die deze afgeeft is 400 V.

Bereken de stroom die de generator levert.

\_\_\_\_\_

Maak nu nog eens toetsopgave 5.

---

### Toetsopgave 6

Een waterketel is aangesloten op een netspanning van 230 V. Er wordt 1,5 liter water in verwarmd. De verwarming gebeurt van 15 °C tot het kookpunt. Dit neemt 10 minuten in beslag.

Het rendement van de waterketel is 78%. De soortelijke warmte van water is 4200 J/kg · K.

Bereken de stroomsterkte door het element van de waterketel.

\_\_\_\_\_

---

### Oefenopgaven

6.1 We herhalen de opgave van voorbeeld 5. Maak die nu zelf.

We hebben een boiler van 80 liter. Die verwarmt in 3 uur tijd water van 15 °C tot 80 °C. De soortelijke warmte van water is 4200 J/kg · K. De boiler heeft een rendement van 95%.

Bereken voor deze boiler:

a. de afgegeven energie  $W_{af} = \text{_____ MJ}$

b. de toegevoerde energie  $W_{toe} = \text{_____ MJ}$

c. het toegevoerde vermogen  $P_{toe} = \text{_____ kW}$

6.2 Een zwembad is 25 meter lang, 8 meter breed en gemiddeld 1,5 meter diep. In het zwembad zit water van 17 °C. We willen dat verwarmen tot 23 °C. De soortelijke warmte van water is 4200 J/kg · K.

Reken uit hoeveel energie voor het verwarmen nodig is.

Gegeven:  $l = 25 \text{ m}$

$b = \text{_____}$

$d = \text{_____}$

$\text{_____} = 17 \text{ °C}$

$\text{_____} = 23 \text{ °C}$

$c = 4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

Gevraagd:  $W_{af}$

Oplossing:  $W_{af} = m \cdot \underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}}$

volume:

$$\begin{aligned} V &= l \cdot \underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

massa:

$$\begin{aligned} \rho &= \ddot{\hspace{1cm}}, \text{ dus:} \\ &\ddot{\hspace{1cm}} \\ m &= \underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} \\ &= \underline{\hspace{4cm}} \times \underline{\hspace{4cm}} \\ &= \underline{\hspace{4cm}} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= \underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} = (\underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}}) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{af} &= m \cdot \underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \\ &= \underline{\hspace{4cm}} \end{aligned}$$

- 6.3 Voor het verwarmen in oefenopgave 6.2 gaan we een verwarmingselement van 100 kW gebruiken. Hoe lang zal het duren om het water op de gevraagde temperatuur te brengen? Het rendement bij het verwarmen is gemiddeld 60%.

\_\_\_\_\_

Maak nu nog eens toetsopgave 6.

---

### Toetsopgave 7

Een heetwatertoestel is aangesloten op een spanning van 230 V. Het toestel neemt een stroom op van 10 A. Het rendement van het toestel is 89%. Met het toestel verwarmen we 50 liter water van 20 °C. Daarvoor is een tijd nodig van 2 uur. De soortelijke warmte van water is 4200 J/kg · K. Bereken de eindtemperatuur van het water. Rond je antwoord af op hele graden.

\_\_\_\_\_

### Oefenopgaven

- 7.1 We hebben een elektrisch fornuis. Met een kookplaat daarvan gaan we 1,2 liter water aan de kook brengen. Het water heeft een begintemperatuur van 12 °C. Er is een tijd nodig van 5 minuten. Bereken het afgegeven vermogen van de kookplaat. De soortelijke warmte van water is 4200 J/kg · K.

Gegeven:  $m = \underline{\hspace{2cm}}$  kg

(bedenk: 1 liter water heeft een massa van  $\underline{\hspace{1cm}}$  kg)

$$T_b = \underline{\hspace{1cm}} \text{ °C}$$

$$T_e = \underline{\hspace{1cm}} \text{ °C}$$

$$t = \underline{\hspace{1cm}} \text{ minuten}$$

$$\underline{\hspace{1cm}} = 4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Gevraagd:  $P_{af}$

Oplossing:  $W_{af} = m \cdot c \cdot \Delta T$

$$\Delta T = \underline{\hspace{1cm}} - \underline{\hspace{1cm}}$$

$$= \underline{\hspace{1cm}} \text{ °C} - \underline{\hspace{1cm}} \text{ °C} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ °C}$$

$$W_{af} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$= \underline{\hspace{1cm}} \times \underline{\hspace{3cm}} \times \underline{\hspace{1cm}}$$

$$= \underline{\hspace{1cm}} \text{ kJ}$$

$$t = 5 \text{ minuten} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ s}$$

$$P_{af} = \frac{\dots}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ kW}$$

- 7.2 isoleer  $m$  uit de formule  $W_{af} = m \cdot c \cdot \Delta T$ .

$$m = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\underline{\hspace{2cm}}$$

- 7.3 Een boiler heeft een elektrisch vermogen van 1100 W. Het rendement van de boiler is 75%. De boiler kan per uur het water 20 °C in temperatuur laten stijgen. De soortelijke warmte van water is 4200 J/kg · K.  
Bereken de hoeveelheid water in de boiler. Druk deze uit in liters.
- \_\_\_\_\_

Maak nu nog eens toetsopgave 7.

### 1.3 Meetopdrachten: het rendement van een waterketel

*Wat heb je nodig?*

- een elektrische waterketel;
- een thermometer;
- een stopwatch of horloge met secondewijzer.

#### **Opdrachten**

- 1 Noteer de gegevens van de waterketel.

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

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

- 2 Welk soort vermogen staat er op de ketel vermeld?
- \_\_\_\_\_

- 3 Vul de waterketel met precies 1 liter water. Hoeveel kg is dat?
- \_\_\_\_\_

- 4 Meet de begintemperatuur van het water.

$$T_b = \text{_____} \text{ °C}$$

- 5 Sluit de waterketel op de spanning aan. Neem de tijd op vanaf het moment dat je de ketel aanzet. Verwarm het water tot 60 °C. Noteer de tijd die hiervoor nodig was.

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

- 6 Bereken de toegevoerde energie.

$$W_{\text{toe}} = \text{_____} \cdot \text{_____}$$

$$= \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ kJ}$$



- 7 Bereken de afgegeven energie. Reken voor de soortelijke warmte  $4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ .

$$\begin{aligned}
 W_{\text{af}} &= \text{_____} \cdot \text{_____} \cdot \text{_____} \\
 &= \text{_____} \times \text{_____} \times \text{_____} \\
 &= \text{_____} \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

- 8 Bereken het rendement van de ketel.

$$\eta = \frac{\dots}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} = \text{_____}$$

In procenten is dat: \_\_\_\_\_%

**Wat je nu zeker weten moet****Formules**

$$Q = m \cdot c \cdot (T_e - T_b)$$

$$\eta = \frac{W_{af}}{W_{toe}}$$

$$\eta = \frac{P_{af}}{P_{toe}}$$

**Controlelijst**

Controleer zelf met deze lijst of je nu alles weet.

Kruis aan wat je weet. Zijn er onderwerpen nog niet duidelijk? Bestudeer die dan nog een keer.

Je weet, kent of kunt:

- Omrekenen van °C naar K en omgekeerd.
- De fase-overgangen in een schema weergeven.
- Op welke manieren warmtetransport plaatsvindt.
- Berekeningen maken met warmte en soortelijke warmte.
- Wat toegevoerde energie is.
- Wat toegevoerd vermogen is.
- Wat nuttige energie is.
- Wat nuttig vermogen is.
- Wat rendement is.
- Het rendement uitrekenen als het toegevoerde en nuttige vermogen bekend zijn.
- Het rendement uitrekenen als de toegevoerde en de nuttige energie bekend zijn.
- Het symbool van het toegevoerde vermogen, en van het nuttige vermogen.
- Het symbool van de toegevoerde energie, en van de nuttige energie.
- Het symbool van het rendement.