

# Practicum Soortelijke warmte (deel 1)

## Eigenschappen van stoffen en materialen

### Algemene beschrijving

#### Omschrijving

De temperatuur van een vloeistof kan worden verhoogd door er met een verwarmingselement elektrische energie aan toe te voegen. Deze waarneming brachten natuurkundigen in het midden van de negentiende eeuw tot de conclusie dat warmte een vorm van energie is. In dit experiment onderzoeken leerlingen de wiskundige relatie tussen verschillende grootheden die verband houden met de opwarmtijd van water. Er wordt gekeken naar de hoeveelheid energie die nodig is om de temperatuur van één kg water, één graad te laten stijgen; de soortelijke warmte. Er wordt in dit voorschrift ook een alternatieve aanpak beschreven. Bij deze manier wordt ook rekening gehouden met het rendement van het verwarmen.

#### Leerdoelen inhoud

- Warmte is energie die wordt uitgewisseld tussen twee systemen die niet in thermisch evenwicht zijn. De energie stroomt van het systeem met een hoge temperatuur naar het systeem met de lage temperatuur.
- Twee objecten zijn in thermisch evenwicht (en hebben dus dezelfde temperatuur) als er geen warmte meer wordt uitgewisseld tussen beide objecten.
- De soortelijke warmte van een materiaal is de hoeveelheid energie die nodig is om één kg van de stof één graad in temperatuur te laten stijgen.

#### Leerdoelen vaardigheid

- Lijst met praktische vaardigheden
  - De leerling: leest thermometers af
  - herhaalt het bouwen van elektrische schakelingen
- Lijst met natuurkundige vaardigheden
  - De leerling: stelt relaties vast tussen twee afhankelijke grootheden
  - Transformeert resultaten in grafieken
  - stelt een wiskundige vergelijking op bij een combinatie van grafieken
  - kan een natuurkundige vergelijking koppelen aan eigen meetwaarden
  - leert natuurkundig redeneren tussen model en metingen

#### Voorkennis

- Het vermogen van een apparaat is een maat voor hoeveel energie er per seconde wordt geleverd.
- Leerlingen kunnen een Ampèremeter en Voltmeter aansluiten en aflezen.
- Het vermogen is de spanning keer de stroomsterkte ( $P = U \cdot I$ ).

#### Benodigdheden

- Joulemeter met verwarmingselement
- Spanningsbron
- Ampèremeter en Voltmeter met aansluitsnoeren

## Docentenhandleiding

- Maatbeker (die op de mL nauwkeurig afgelezen kan worden)
- Water
- Stopwatch
- Thermometer
- Eventueel een weegschaal

### Klassikale introductie van het practicum

- Start met het opwarmen van water in een waterkoker. Zeg de leerlingen dat je trek hebt in een kopje thee. Je hebt de waterkoker tot de nok toe gevuld dus het gaat nog wel even duren voordat je je thee kunt drinken. Vraag leerlingen of ze vooraf kunnen voorspellen hoe lang het gaat duren voordat het water kookt. Welke gegevens heb je nodig om deze vraag te beantwoorden?
- Laat leerlingen, op een whiteboard, een lijst maken met variabelen waar de opwarmtijd van afhankelijk is ( $P$  ( $U$  en  $I$ ),  $\Delta T$ ,  $m$ ).
- Klassikale inventarisatie.
- Laat leerlingen, op een whiteboard, een conceptmap maken waarin ze weergeven welke invloed elke variabele heeft op de opwarmtijd (bijvoorbeeld: Als het vermogen toeneemt, neemt de kooktijd af).
- Klassikale inventarisatie.
- Leerlingen voeren per groepje een reeks observaties uit waarbij de relatie tussen  $\Delta T$  en de andere variabelen ( $P$  (groep 1) óf  $m$  (groep 2)) kwantitatief wordt onderzocht. Groep 1 kan bijvoorbeeld de toegevoerde energie variëren bij dezelfde hoeveelheid water en groep 2 kan de massa van het water variëren bij dezelfde hoeveelheid toegevoerde energie. Bij beide experimenten wordt een  $(T, t)$ -grafiek gemaakt (meet gedurende 3 minuten en zorg voor minimaal drie meetpunten).
- Groep 1: Noteer de  $(T, t)$ -grafiek bij veranderend vermogen links op het whiteboard (geef daarbij aan welke grootheden constant zijn gehouden en welke waarde deze grootheden hebben). Geef rechts aan wat het verband is tussen  $\Delta T$  en  $t$  én wat het verband is tussen  $\Delta T$  en  $P$ .
- Groep 2: Noteer de  $(T, t)$ -grafiek bij veranderde massa links op het whiteboard (geef daarbij aan welke grootheden constant zijn gehouden en welke waarde deze grootheden hebben). Geef rechts aan wat het verband is tussen  $\Delta T$  en  $t$  én wat het verband is tussen  $\Delta T$  en  $m$ .

### Alternatieve aanpak:

#### Meetschema

Groep	Volume (ml)	Waarin	Vermogen	$T_{\text{begin}}$	Wat
A	150 100	Joulemeter	P	Kamertemperatuur	Water
B	200	Joulemeter	P	0 °C Kamertemperatuur	Water
C	150	Joulemeter	0.25 P 0.5 P	Kamertemperatuur	Water
D	200	Bekerglas	P	Kamertemperatuur	Water Olie

## Docentenhandleiding

### Korte klassikale aanwijzingen

- Wijs leerlingen erop dat het handig is om het water tijdens het experiment te roeren.
- Attendeer leerlingen er nogmaals op dat ze ook de waarden te noteren van de grootheden die constant blijven.
- Begin direct met meten (dus eerste meetpunt op  $t = 0$  s)
- Als leerlingen moeite hebben met het maken van de juiste schakeling, teken deze schematisch op het bord.

### Klassikale nabespreking

- Zet de leerlingen van groep 1 en de leerlingen van groep 2 bij elkaar en laat leerlingen elkaars borden bekijken. Welke overeenkomsten zijn er? Welke verschillen zijn er? Is er consensus over het verband tussen  $\Delta T$  en  $t$ , het verband tussen  $\Delta T$  en  $P$  en het verband tussen  $\Delta T$  en  $m$ ?
- Laat één drietal uit groep 1 de andere leerlingen vertellen over hun onderzoek en resultaat. Stel vragen over de overeenkomsten en verschillen uit groep 1.
- Laat één drietal uit groep 2 de andere leerlingen vertellen over hun onderzoek en resultaat. Stel vragen over de overeenkomsten en verschillen uit groep 2.
- Noteer op het bord de verbanden die zijn verkregen:
  - $\Delta T \sim t$
  - $\Delta T \sim P$
  - $\Delta T \sim \frac{1}{m}$
- We kunnen hiermee de volgende relatie opstellen:  $\Delta T \sim \frac{P \cdot t}{m}$
- In dit experiment hebben leerlingen gezien dat temperatuurverandering evenredig is met de hoeveelheid toegevoerde warmte ( $P \cdot t$ ) en omgekeerd evenredig met de massa van het water. Om temperatuurveranderingen te kunnen voorspellen, is het noodzakelijk om te specificeren hoeveel energie nodig is om, per kg stof, een temperatuurverandering van één graad te verkrijgen.
- Laat de leerlingen, met hun resultaten, bepalen hoeveel energie nodig is om 1 kg water één graad in temperatuur te laten stijgen. Deze hoeveelheid staat bekend als de soortelijke warmte van het materiaal:  $c = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T}$ .
- De soortelijke warmte van water is 4190 J/kg·K. Bespreek waarom de gemeten waarde afwijkt van de werkelijke waarde.
- Laat leerlingen de resultaten in hun schrift noteren.

### Alternatieve aanpak:

- Laat leerlingen een grafiek maken van T tegen t
- Laat leerlingen bij elkaar gaan zoeken naar extra metingen die passen bij hun experiment
- Laat leerlingen ook die metingen in hun eigen grafiek verwerken
- Laat leerlingen nadenken over  $y = a \cdot x + b$  en welke grootheden met wat overeenkomen
- Laat leerlingen nadenken over hoe hun gegevens a of b beïnvloeden en hoe dit samenhangt met het molecuulmodel
- In de kring alle ideeën verzamelen en combineren om een uitdrukking voor b en a af te leiden. De invloed van het “rendement” kan worden gekregen door onderzoek B(2) met D(1) te vergelijken.

## Docentenhandleiding

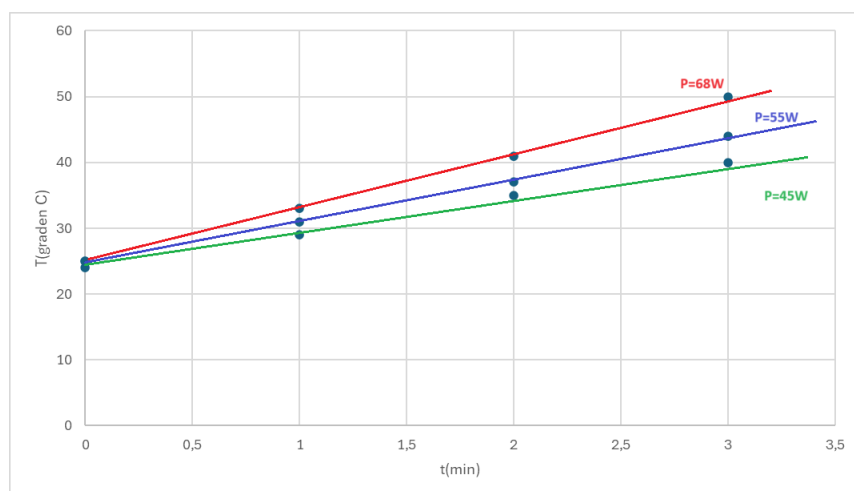
- $b = T_b$  en  $a = \frac{P \cdot \eta}{m \cdot c}$
- Herschrijf vervolgens bovenstaande formule als:  $T - T_b = \Delta T = \frac{P \cdot \eta}{m \cdot c} \cdot t$  Gebruik als onderbouwing de uitkomst van experiment B.
- Stel vervolgens de vragen: Wat hoort bij het water? Wat hoort bij het apparaat?
- Herschrijf vervolgens de formule als:  $m \cdot c \cdot \Delta T = Q = P \cdot \eta \cdot t$

## Organisatie

- Benodigde tijd: 50 minuten
  - Klassikale introductie (5 minuten)
  - Uitvoeren experiment + opmaken whiteboard (25 minuten)
  - Nabespreking in groepjes (10 minuten)
  - Klassikale nabespreking + bepalen soortelijke warmte water (10 minuten)
  - Als er te weinig tijd is voor een gedegen nabespreking, kan de bepaling van de soortelijke warmte van water ook als huiswerk gegeven worden.
- Leerlingen werken in groepjes van drie personen.
- De klas wordt in twee groepen verdeeld:
  - Groep 1 onderzoekt de relatie tussen  $\Delta T$  en  $t$  en tussen  $\Delta T$  en  $P$ .
  - Groep 2 onderzoekt de relatie tussen  $\Delta T$  en  $t$  en  $\Delta T$  en  $m$ .
  - Beide groepen maken een  $(T, t)$ -grafiek om het verband tussen  $\Delta T$  en  $t$  te controleren. Om tijd te besparen kan er een groep 3 gevormd worden die zich alleen richt op het verband tussen  $\Delta T$  en  $t$ . Groep 1 maakt dan bijvoorbeeld een  $(\Delta T, P)$ -grafiek en groep 2 een  $(\Delta T, m)$ -grafiek.
- Voor de alternatieve aanpak:
  - Voor een efficiënte start van de experimenten is het handig om de benodigde hoeveelheden water/olie al klaar te zetten.
  - Voor het experiment met water van  $0^\circ\text{C}$  is het van belang dat het water (in een bekerglas) op tijd in een bakje met ijs wordt gezet.
  - Voor het goed kunnen trekken van conclusies is het van belang dat de olie en alle water dezelfde begintemperatuur heeft (behalve het water van  $0^\circ\text{C}$ ).
  - Neem als olie een olie met sterk van water verschillende soortelijke warmte.
- Om te controleren of de leerlingen het concept soortelijke warmte en warmteoverdracht hebben begrepen, kan het experiment P2 Soortelijke warmte (deel 2) worden gedaan.

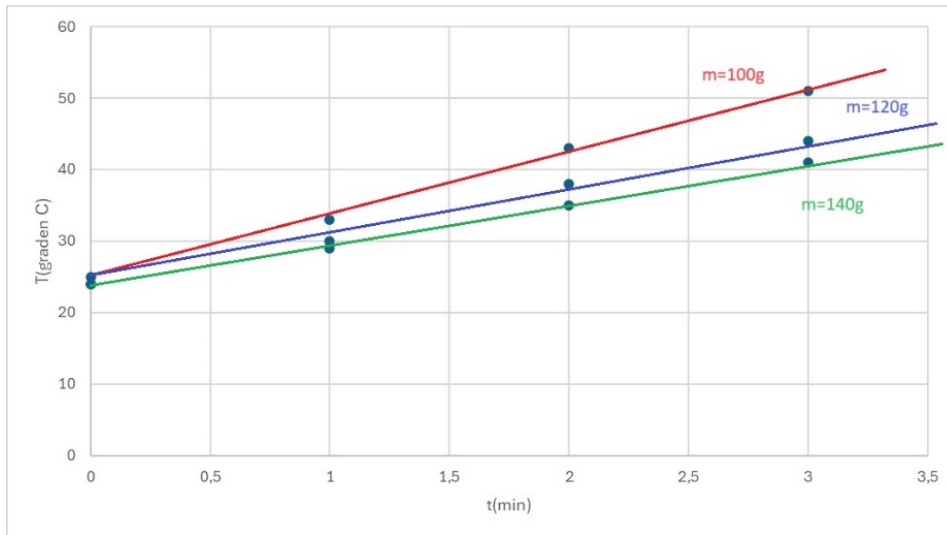
**Docentenhandleiding**  
**Voorbeeld resultaten**
**Groep 1**

Meting 1		Meting 2		Meting 3	
$m = 120 \text{ g}$		$m = 120 \text{ g}$		$m = 120 \text{ g}$	
$P = 45 \text{ W}$		$P = 55 \text{ W}$		$P = 68 \text{ W}$	
$t \text{ (min)}$	$T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$t \text{ (min)}$	$T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$t \text{ (min)}$	$T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$
0	24	0	25	0	25
1	29	1	31	1	33
2	35	2	37	2	41
3	40	3	44	3	50


**Groep 2**

Meting 1		Meting 2		Meting 3	
$m = 100 \text{ g}$		$m = 120 \text{ g}$		$m = 140 \text{ g}$	
$U = 14,9 \text{ V}$ $I = 4,2 \text{ A}$		$U = 14,9 \text{ V}$ $I = 4,2 \text{ A}$		$U = 14,9 \text{ V}$ $I = 4,2 \text{ A}$	
$t \text{ (min)}$	$T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$t \text{ (min)}$	$T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$t \text{ (min)}$	$T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$
0	24	0	24	0	25
1	33	1	30	1	29
2	43	2	38	2	35
3	51	3	44	3	41

Docentenhandleiding



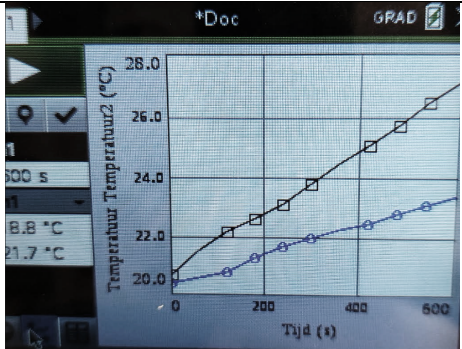
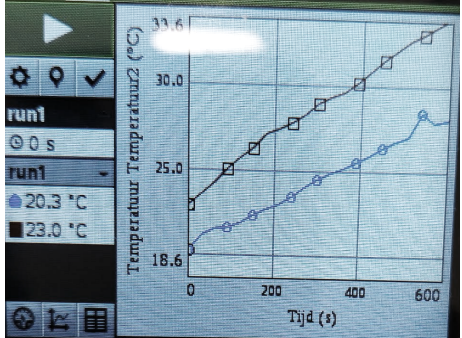
- Uit de meetwaarden van groep 1 volgt:  $\Delta T \sim t$  en  $\Delta T \sim P$
- Uit de meetwaarden van groep 2 volgt:  $\Delta T \sim t$  en  $\Delta T \sim \frac{1}{m}$
- We kunnen hiermee de volgende relatie opstellen:  $\Delta T \sim \frac{P \cdot t}{m}$
- De soortelijke warmte is de hoeveelheid energie die nodig is om één kg van een stof één graad in temperatuur te laten stijgen. Met de meetwaarden van groep 2 bij  $m = 100 \text{ g}$  vinden we voor de soortelijke warmte (die we  $c$  noemen):

$$c = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T} = \frac{4,2 \cdot 14,9 \cdot 180}{0,10 \cdot 27} = 4172 \text{ J/kg} \cdot \text{K} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Alternatieve aanpak:

Experiment		Omschrijving
A		100 en 150 ml
B		Kamertemperatuur en 0 °C

Docentenhandleiding

<p>C</p>		<p><math>P_1=0,5 P</math> <math>P_2=0,25 P</math></p>
<p>D</p>		<p>Olie en water</p>