

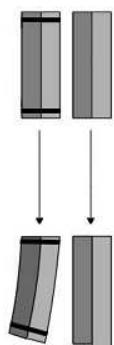
## Theorie: Temperatuur meten (Herhaling klas 2)

### Objectief meten

Bij het meten van een grootte mag je meting niet afhangen van toevallige omstandigheden. De temperatuur die je ervaart als je een ruimte binnenkomt, zal afhangen van de temperatuur in de ruimte waar je daarvoor was. Zelf ben je dus geen geschikt instrument om de temperatuur te meten. Een thermometer zal onder alle omstandigheden dezelfde temperatuur aangeven. Een thermometer is een objectief meetinstrument.

### Soorten thermometers

Fokke Tuinstra, een professor van de Technische Universiteit van Delft, zei ooit: "Alles is een thermometer". Hij bedoelde daarmee dat aan bijna alle voorwerpen wel iets verandert als de temperatuur verandert. Er zijn dan ook veel verschillende soorten thermometers:



- Vloeistof thermometers: dit zijn de bekendste thermometers. Ze bestaan uit een reservoir en een capillair. Wanneer de temperatuur stijgt zal de vloeistof uitzetten en stijgt het vloeistofniveau in de capillair. De thermometer zal dan een hogere waarde aangeven. Vroeger werd als vloeistof meestal kwik gebruikt. Omdat kwikdamp giftig is, wordt er tegenwoordig gebruik gemaakt van gekleurde alcohol.
- Thermokoppels: deze thermometers bestaan uit twee draden van een verschillend metaal. Op het contactpunt ontstaat een spanning die afhankelijk is van de temperatuur. Thermokoppels zijn bijzonder geschikt voor hele hoge temperaturen.
- Infrarood thermometers: deze thermometers meten de infrarode straling die een voorwerp uitzendt. Oorthermometers meten bijvoorbeeld de straling van het trommelvlies.
- Bimetaalthermometers: een bimetaal bestaat uit twee verschillende stripjes metaal die op elkaar zijn gelast. Wanneer de temperatuur verandert zullen beide stripjes een beetje uitzetten. Omdat verschillende metalen niet evenveel uitzetten, zal het bimetaal kromtrekken (zie het plaatje hiernaast). Bimetalen worden bijvoorbeeld gebruikt in kamerthermostaten.
- Elektrische thermometers: deze thermometers bevatten een weerstand gemaakt van een halfgeleidermateriaal. De waarde van deze weerstand verandert als de temperatuur verandert. De thermometer zal daardoor een andere spanning afgeven. Deze thermometers worden veel gebruikt in elektrische apparaten, zoals bijvoorbeeld de voeding van je computer.



### Soorten schalen

Aan een meetinstrument waar alleen maar iets aan verandert heb je niets. Een thermometer zal daarom ook altijd een schaalverdeling hebben. Deze schaalverdeling krijg je door de thermometer te *ijken*. Tijdens het practicum heb je zelf een thermometer geïjkt op de manier die Celsius ook gebruikt heeft: smeltend ijs noemde hij 0 °C en kokend water noemde hij 100° C. Tussen deze twee streepjes zette hij nog 99 streepjes, één streepje voor iedere graad temperatuurstijging. Naast Celsius zijn er ook anderen geweest die een thermometer ontworpen hebben:

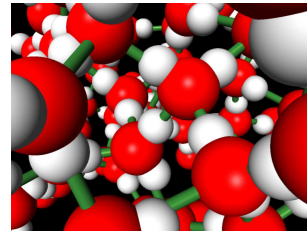
- Gabriel Fahrenheit noemde het smeltpunt van zout zeewater 0 °F en de gemiddelde menselijke temperatuur 100 °F. Deze schaalverdeling wordt in de Verenigde Staten nog steeds gebruikt.
- Lord Kelvin introduceerde in de negentiende eeuw een absolute temperatuurschaal. 0 K is het absolute nulpunt, ofwel de laagst mogelijke temperatuur. 0 K is gelijk aan -273 °C. Sinds 1967 is de kelvin (let op: het is niet *graden* kelvin, zoals bij celsius en fahrenheit) de officiële eenheid van temperatuur.

$T_{\text{celsius}} = (T_{\text{fahrenheit}} - 32) \cdot \frac{5}{9}$	$T_{\text{fahrenheit}} = T_{\text{celsius}} \cdot \frac{9}{5} + 32$
$T_{\text{celsius}} = T_{\text{kelvin}} - 273$	$T_{\text{kelvin}} = T_{\text{celsius}} + 273$

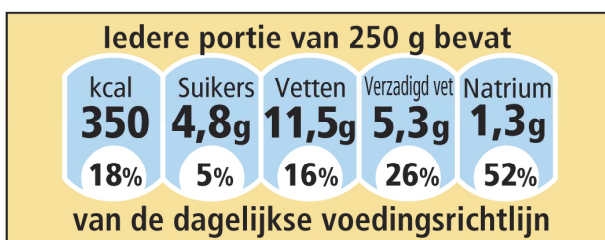
## Temperatuur en warmte

Temperatuur en warmte zijn twee begrippen die vaak door elkaar gehaald worden. Dat is ook niet verwonderlijk, want ze hebben veel met elkaar te maken. Om het verschil tussen en temperatuur en warmte te kunnen begrijpen moeten we eerst iets meer weten van stoffen.

Stoffen bestaan uit zeer kleine deeltjes. Bij vaste stoffen (ijzer, hout, glas) hebben deze deeltjes een vaste plaats. Op hun eigen plaats kunnen deze deeltjes een beetje heen en weer bewegen. Bij vloeistoffen (water, kwik) en gassen (lucht, aardgas) bewegen deze deeltjes kriskras door elkaar. De gemiddelde snelheid waarmee de deeltjes in een stof bewegen, is een maat voor de temperatuur van de stof: hoe sneller de deeltjes, hoe hoger de temperatuur.



Om deeltjes in een stof sneller te laten bewegen moet je extra energie in de stof stoppen. Dat kan je doen in de vorm van warmte. Warmte is het stromen van energie van een stof met een hoge temperatuur naar een stof met een lage temperatuur. Omdat warmte bewegende energie is, heeft het dezelfde eenheid als elektrische energie, namelijk joule (J).



Vroeger werd als eenheid voor energie de calorie (cal) gebruikt. Op voedingsmiddelen kom je deze eenheid nog steeds tegen.

1 kcal (kilocalorie) komt overeen met 4184 J.

## Theorie: Eigenschappen van stoffen (Herhaling klas 2)

### Vast, vloeibaar en gasvormig

De eigenschappen van een stof worden voor een deel bepaald door de fase waarin een stof zich bevindt. De fase van een stof hangt af van de temperatuur: bij een temperatuur lager dan het smeltpunt is een stof een vaste stof en bij een temperatuur hoger dan het kookpunt is een stof een gas. Daartussen is een stof een vloeistof. In de onderstaande tabel worden van een aantal stoffen beide temperaturen gegeven.

stof	smeltpunt (°C)	kookpunt (°C)
water	0	100
ijzer	1530	3000
paraffine	54	218
kwik	-39	357
wolfraam	3410	5660
zuurstof	-219	-183
stikstof	-210	-196
alcohol	-114	78

### Het molecuulmodel

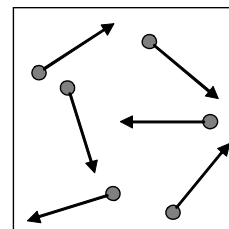
Om de eigenschappen van stoffen in verschillende fasen beter te begrijpen maken we gebruik van een model. Met een model wordt bedoeld *een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid*. Het model dat we hier gebruiken heet het molecuulmodel. Dit model heeft een aantal kenmerken die in iedere fase gelden:

- Een stof bestaat uit kleine deeltjes die we moleculen noemen. Iedere stof heeft zijn eigen soort moleculen.
- Moleculen hebben een massa.

Daarnaast zijn er binnen het model ook een aantal kenmerken die per fase anders zijn:

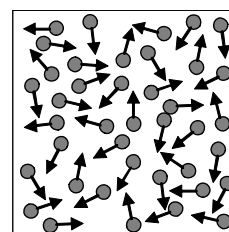
#### gas

- Er zit veel ruimte tussen de moleculen.
- De moleculen bewegen voortdurend door elkaar.
- De moleculen botsen tegen elkaar en tegen de wand van de ruimte waar het gas in zit.
- De snelheid van de moleculen neemt toe als de temperatuur toeneemt.
- Er is geen aantrekkingskracht tussen de moleculen



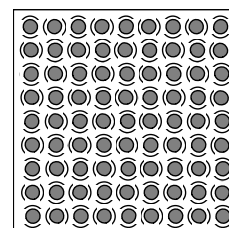
#### vloeistof

- Er zit weinig ruimte tussen de moleculen.
- De moleculen bewegen voortdurend langs elkaar.
- De moleculen botsen tegen elkaar en tegen de wand.
- De snelheid van de moleculen neemt toe als de temperatuur toeneemt.
- Er is een kleine aantrekkingskracht tussen de moleculen.



#### Vaste stof

- De moleculen zitten dicht op elkaar.
- De moleculen hebben een vaste plaats in een rooster.
- De moleculen maken een trillende beweging rond hun vaste plaats.
- De moleculen gaan harder trillen als de temperatuur toeneemt.
- De aantrekkingskracht tussen de moleculen is groot.



Omdat moleculen te klein zijn om met het blote oog waar te nemen, moet er een ander soort model gebruikt worden om de verschillende fasen toch zichtbaar te maken. Een motortje laat een aantal knikkers in een afgesloten trillen. Door het motortje steeds harder te laten draaien gedragen de knikkers zich achtereenvolgens als de moleculen in een vaste stof, een vloeistof en een gas.



### **Eigenschappen verklaren**

Met het molecuulmodel zijn niet alle eigenschappen van stoffen te verklaren. Kleur, elektrische geleiding, magnetisme en chemische eigenschappen hebben bijvoorbeeld een uitgebreider model nodig. Hier worden echter een aantal eigenschappen besproken die wel met het molecuulmodel te verklaren zijn:

#### *Een stof heeft een massa.*

Stoffen bestaan uit moleculen. Omdat de moleculen een massa hebben, hebben stoffen ook een massa.

#### *Een vaste stof heeft een vaste vorm, vloeistoffen en gassen niet.*

Bij vaste stoffen hebben de moleculen een vaste plaats in een rooster en bij gassen en vloeistoffen bewegen de moleculen door elkaar.

#### *Wanneer je een stof verwarmt zet hij uit (Dit heb je in het practicum een aantal maal gezien).*

Als de temperatuur toeneemt, neemt ook de snelheid van de moleculen toe. Moleculen zullen daardoor harder tegen elkaar boten en meer ruimte nodig hebben.

#### *Een gas is goed samendrukbaar, vloeistoffen en vaste stoffen niet.*

Bij een gas zit er veel ruimte tussen de moleculen, waardoor de moleculen naar elkaar toe te drukken zijn. Bij vloeistoffen en vaste stoffen ontbreekt deze ruimte.

#### *Een vaste stof is moeilijk in meerdere stukken te delen.*

De aantrekkingskracht tussen de moleculen in een vaste stof is heel erg groot. Om deze krachten te verbreken moet je zelf ook een grote kracht uitoefenen.

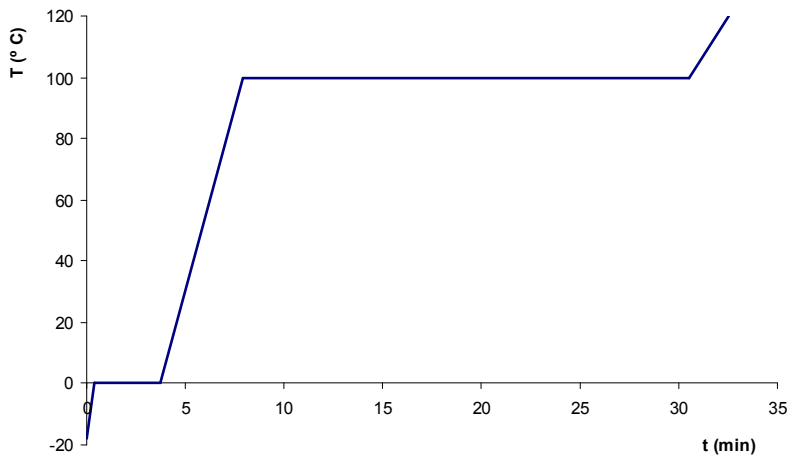
### **faseovergangen**

Zoals je tijdens het practicum hebt gezien gebeurt er tijdens de overgang van de ene naar de andere fase iets bijzonders: de temperatuur blijft constant. Dit is ook te verklaren met het molecuulmodel.

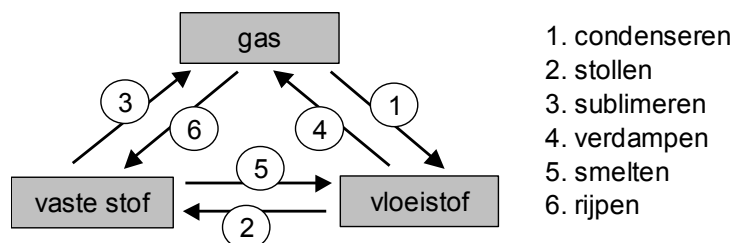
In het diagram hieronder zie je wat er met de temperatuur gebeurt wanneer je ijs met een temperatuur van  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  gaat verwarmen.

- Tot  $0^{\circ}\text{C}$  wordt de toegevoerde energie gebruikt om de moleculen harder te laten trillen: Het ijs zet uit en de temperatuur neemt toe.
- Vervolgens blijft de temperatuur tijdens een paar minuten constant. De toegevoerde energie wordt gebruikt om het sterke rooster, waar de moleculen in zitten, af te breken.

- Wanneer het rooster helemaal afgebroken is, is de vaste stof (ijs) een vloeistof (water) geworden. Tot 100 °C wordt de toegevoerde energie weer gebruikt om de moleculen in het water sneller te laten bewegen.
- Bij een temperatuur van 100 °C vindt de volgende faseovergang plaats: van vloeibaar (water) naar gasvormig (waterdamp). De toegevoerde energie wordt nu gebruikt om de afstand tussen de moleculen te vergroten.
- Wanneer het water volledig waterdamp is geworden, wordt de energie weer gebruikt om de snelheid van de moleculen te verhogen.



Tussen elke combinatie van twee fasen is een faseovergang mogelijk. In het voorgaande stuk werden smelten en verdampen al beschreven, twee faseovergangen waar energie voor nodig is. De derde faseovergang waar energie voor nodig is, is sublimeren. Bij sublimeren gaat een vaste stof direct over in een gas, zonder tussendoor een vloeistof te worden. Dat is bijvoorbeeld het geval bij luchtverfrissers die van een vaste stof gemaakt zijn.



1. condenseren
2. stollen
3. sublimeren
4. verdampen
5. smelten
6. rijpen

Er zijn ook faseovergangen waarbij juist energie vrijkomt: condenseren, stollen en rijpen. Bij rijpen gaat een gas direct over in een vaste stof. Denk bijvoorbeeld waterdamp die 's nachts bij vorst direct als ijs op het gras wordt afgezet.

### Conclusie

Bij het verwarmen van een stof kunnen er dus twee dingen gebeuren:

1. De temperatuur van de stof neemt toe. De toegevoerde energie wordt gebruikt om de moleculen sneller te laten bewegen. De stof zal hierbij een beetje uitzetten.
2. Er vindt een faseverandering plaats. De toegevoerde energie wordt gebruikt om de manier waarop de moleculen bij elkaar zitten te veranderen.

# Theorie: Warmtetransport (Herhaling klas 2)

## Geleiding, stroming en straling

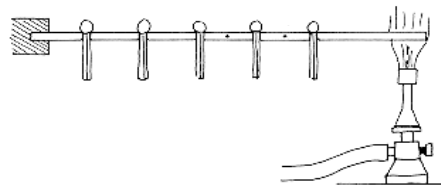
In het practicum heb je drie verschillende vormen van warmtetransport gezien:

- Geleiding: bij deze vorm van warmtetransport beweegt de energie door de stof, terwijl de stof op zijn plaats blijft.
- Stroming: bij deze vorm van warmtetransport beweegt de stof en beweegt de energie met de stof mee.
- Straling: voor deze vorm van warmtetransport is helemaal geen stof tussen de bron en de ontvanger nodig. Het transport van energie wordt verzorgd door *elektromagnetische* straling, vergelijkbaar met zichtbaar licht.

Eigenlijk is warmtetransport een verkeerde naam. Warmte is bewegende energie en het is dus niet de warmte die getransporteerd wordt, maar de energie.

## Warmtetransport en het molecuulmodel

Straling is niet met behulp van het molecuulmodel te verklaren. Geleiding en stroming zijn dat wel. Bij geleiding wordt de warmte op één plaats toegevoerd. Bij een vaste stof zullen op die plaats de moleculen sneller gaan trillen en daardoor harder botsen tegen de naastgelegen moleculen. Deze moleculen trillen en botsen vervolgens ook weer harder waardoor er in de stof een soort domino-



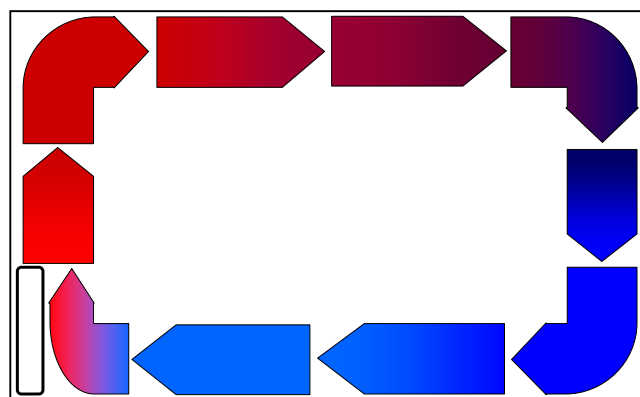
effect ontstaat. Uiteindelijk zal de temperatuur in heel het materiaal toenemen omdat alle moleculen sneller bewegen. Voor vloeistoffen geldt hetzelfde, met als enige verschil dat de moleculen sneller door elkaar heen gaan bewegen. In gassen is nauwelijks sprake van geleiding omdat de afstand tussen de moleculen te groot is om de botsingen goed door te geven.

Bij stroming zullen de moleculen op de plaats waar de warmte wordt toegevoerd ook sneller gaan bewegen. De afstand tussen de moleculen zal dan groter worden. Een bepaald volume zal daardoor een kleinere massa krijgen dan hetzelfde volume in de koudere omgeving. De warme vloeistof of het warme gas zal daardoor opstijgen (vergelijkbaar met een heteluchtballon) en plaats maken voor nieuwe koude stof. In vaste stoffen treedt geen stroming op omdat de moleculen een vaste plaats hebben.



## Circulatie

In het practicum zag je dat het water in de buis uiteindelijk rondjes ging draaien, ging *circuleren*. Van deze eigenschap wordt bijvoorbeeld bij het verwarmen van ruimtes handig gebruik gemaakt. Door een radiator laag op te hangen zal de verwarmde lucht vanzelf gaan circuleren. Tijdens de circulatie zal de energie van de warme lucht worden overgedragen aan de koude lucht in de ruimte. Op deze manier zal heel de ruimte verwarmd worden.



## Isolatie

Warmte-isolatie betekent niets anders dan warmtetransport verhinderen. Daarbij moet je altijd goed bedenken hoe het transport van energie plaatsvindt. Geleiding is te verminderen door een isolator (bijvoorbeeld plastic) te gebruiken in plaats van een geleider (bijvoorbeeld aluminium). Isolatoren kunnen de trillingen van moleculen minder goed doorgeven. Stroming is te voorkomen door een vloeistof of een gas op te sluiten, zoals dat bijvoorbeeld bij dubbel glas gebeurt. Warmtetransport door straling is tenslotte te beperken met bijvoorbeeld een glimmend oppervlak dat de straling zal weerkaatsen, zoals radiatorfolie.