

Warmte

---

6



## 6 Warmte

### 6.1 Verbrandingswarmte

Warmte kan op verschillende manieren verkregen worden. Eén van die manieren is het verbranden van stoffen, zoals de verbranding van steenkool, aardolie of aardgas. Bij de verbranding van stoffen komt niet evenveel energie vrij.

de totale hoeveelheid warmte die bij een volledige verbranding vrijkomt wordt de verbrandingswarmte genoemd.

Voor vaste en vloeibare stoffen is de standaardhoeveelheid die dan verbrand wordt 1 kg.

Voor gasvormige brandstoffen wordt gerekend met de normaal-kubieke meter,  $\text{nm}^3$ .

Dit is  $1 \text{ m}^3$  gas met een temperatuur van 273 K ( $0^\circ\text{C}$ ) en een druk van 1 bar.

De verbrandingswarmte voor vaste en vloeibare stoffen wordt aangegeven in de eenheid J/kg en voor gasvormige brandstoffen in  $\text{J/m}^3$ .

In onderstaande tabellen staan de verbrandingswarmte voor verschillende veel toegepaste brandstoffen:

soort stof	verbrandingswarmte (x 1000 kJ/kg)		soort stof	verbrandingswarmte (x 1000 kJ/ $\text{m}^3$ )
hout	17,5		aardgas	30
steenkool	30		waterstofgas	13
stookolie	40			
dieselolie	42			
benzine	44			

#### Opgaven.

1. De verbrandingswarmte van benzine is  $45000 \text{ J/kg}$ .  
De dichtheid van benzine bedraagt  $600 \text{ kg/m}^3$ .  
Hoeveel warmte komt vrij bij de volledige verbranding van 1 liter benzine?
2. In de winter wordt in een huishouden gemiddeld  $20 \text{ m}^3$  aardgas per dag verbruikt.  
Bereken de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij de verbranding van  $20 \text{ m}^3$  aardgas.

3. Veel moderne elektriciteitscentrales gebruiken steenkool als brandstof. Het gaat hier om aanzienlijke hoeveelheden, die meestal in tonnen worden uitgedrukt. (1 ton = 1000 kg). Bereken de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij de verbranding van 200 ton steenkool.



4. Een auto heeft bij een snelheid van 100 km/h een brandstofverbruik van 1:11. Dit betekent dat de auto 1 liter benzine verbruikt op 11 km. De verbrandingswarmte van benzine bedraagt 33 MJ/liter. Bereken hoeveel energie de automotor per kilometer opneemt.

## 6.2 Rendement

De totale energieomzet in Nederland in een jaar bedraagt ongeveer  $2,7 \cdot 10^{18}$  J. Deze hoeveelheid energie wordt omgezet in elektriciteitscentrales, bedrijven, huizen en in het verkeer. Bij al deze energieomzettingen geldt dat hoeveelheid energie die er aan de ene kant ingaan er aan de andere in gelijke hoeveelheden weer uitkomt.

Dit wordt de **wet van behoud van energie** genoemd.

Maar lang niet alle energie wordt omgezet in een nuttige vorm. Bij elke energieomzetting gaat een deel in een niet-buikbare vorm verloren.

Bij een gloeilamp wordt een gedeelte van de elektrische energie omgezet in warmte.

Dit is een vorm van energie die niet bruikbaar is voor dit proces, omdat een gloeilamp de opzet heeft ons licht te verschaffen.

Deze warmte moet meestal ongebruikt worden afgevoerd en levert dus energieverlies op.

De verhouding tussen nuttig gebruikte energie en toegevoerde energie noemen we het **rendement**  $\eta$  van het proces.

In formule:

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{toe}}} \cdot 100\%$$

hierin is

$\eta$	=	het rendement, in %;
$E_{\text{nuttig}}$	=	de hoeveelheid nuttig gebruikte energie, in J;
$E_{\text{toe}}$	=	de hoeveelheid toegevoerde energie, in J;

Het rendement wordt ook wel het **nuttig effect** van de omzetting genoemd.

# Warmte

Het rendement kan ook worden uitgedrukt in het quotiënt van nuttig vermogen en toegevoerd vermogen, omdat vermogen de hoeveelheid energie is die in één seconde wordt omgezet. De eenheid van vermogen is J/s of W. In formule kunnen we dus zeggen:

Voor het rendement geldt dan ook de formule:

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

hierin is:

$$\begin{aligned} \eta &= \text{het rendement, in \%}; \\ P_{\text{nuttig}} &= \text{het nuttig vermogen, in W}; \\ P_{\text{toe}} &= \text{het toegevoerde vermogen, in W}. \end{aligned}$$

Voorbeeld.

Op een winterdag wordt in een huis 15 m<sup>3</sup> aardgas verbruikt om het huis te verwarmen.

Van de geleverde warmte verdwijnt 20% door de schoorsteen.

Hoeveel warmte levert het aardgas aan het huis voor verwarming?

1 m<sup>3</sup> aardgas levert 30.000 kJ warmte.

15 m<sup>3</sup> aardgas levert aan warmte 15 x 30.000 = 450.000 kJ

Slechts 80% wordt als warmte aan het huis geleverd.

0,8 x 450.000 = 360.000 J

Of met de formule:

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{toe}}} \cdot 100\% \quad \rightarrow \quad E_{\text{nuttig}} = \eta \cdot E_{\text{toe}}$$

$$E_{\text{nuttig}} = 0,8 \cdot 450000 = 360000 \text{ J}$$

# Warmte

Voorbeelden van apparaten waarin energie wordt omgezet en het rendement van die omzetting:

energie-omzetter	rendement
gloeilamp	5%
spaarlamp	30%
TL-lamp	30%
CV-ketel	70-90%
automotor	30%
brommermotor	25%
gasfornuis	85%
elektrisch fornuis	90%
menselijk lichaam	20%

Het rendement van een gloeilamp is 5%. Dat wil zeggen dat 5% van de toegevoerde hoeveelheid elektrische energie wordt omgezet in licht. Gebruiken we de lamp als verwarmingsbron dan is het rendement van de lamp 95%, want 95% van alle toegevoerde elektrische energie wordt in warmte omgezet.

In een elektriciteitscentrale wordt fossiele brandstof, zoals steenkool, aardolie en aardgas verstoekt en omgezet in elektrische energie. Het rendement van zo'n centrale is maar 20%. De rest gaat verloren als afvalwarmte (warmwater dat vroeger geloosd werd).

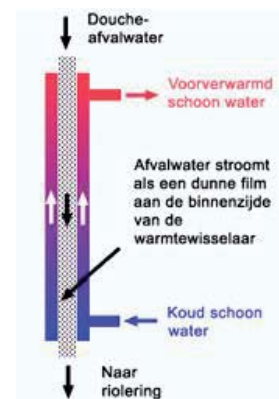
Tegenwoordig probeert men deze afvalwarmte nuttig te gebruiken. De warmte wordt dan gebruikt voor het verwarmen van huizen en andere gebouwen die dicht bij zo'n centrale staan. Dit wordt *warmtekrachtkoppeling* genoemd. Ook op kleine schaal, bv. in modern gebouwde woonhuizen, zijn dergelijke toepassingen mogelijk. Denk aan het terugwinnen van warmte uit douchewater.

We moeten dus zuinig zijn met de hoeveelheid energie die we op aarde hebben. Dat kan op verschillende manieren:

alleen energie gebruiken als het echt nodig is;  
apparaten die energie omzetten, gebruiken met een zo hoog mogelijk rendement.

Voorbeelden:

energiezuinige lampen gebruiken  
licht niet onnodig laten branden  
ramen en deuren in de winter niet open laten staan  
hoogrendementsketel bij de centrale verwarming gebruiken  
daken, vloeren en muren isoleren  
thermopane beglazing  
gordijnen in de winter op tijd dichtdoen



# Warmte

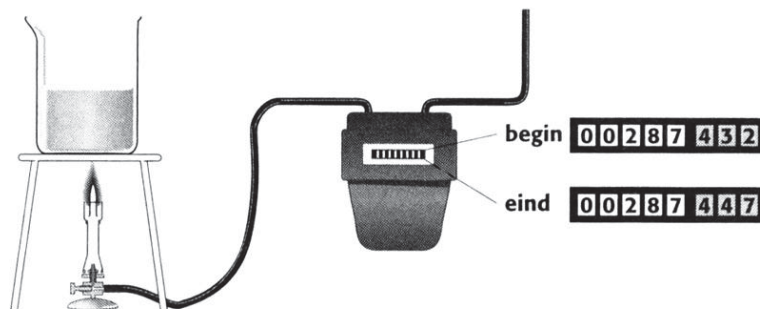
## Opgaven.

5. Om een kamer tot een gewenste temperatuur op te warmen is 110.000 kJ warmte nodig. Er moet om deze warmte te produceren 4 m<sup>3</sup> aardgas worden verbrand. Bereken het rendement van deze aardgasverbranding.
6. Sander is dol op chocoladerepen. De opgevouwen wikkel van een reep is hieronder afgebeeld. Om de energie die Sander naar binnen krijgt bij het eten van deze reep weer weg te werken gaat Sander touwtje springen. De energie uit de reep wordt voor 30% omgezet in energie om te springen. De energie die nodig is om een sprong te maken bedraagt 35 kJ.

Bereken de hoeveelheid sprongen die Sander moet maken om de energie van deze reep te verbruiken.

informatie		voedingswaarde gemiddeld per 100 g: energiewaarde	
C1000 Chocolade, melkchocolade met hazelnoot. ten minste houdbaar tot: Zie achterzijde.		2362 kJ	(567 kcal)
bewaaraadvies: Koel (max. 18°C) en droog bewaren.		eiwitten	7,0 g
Kan sporen van pinda's en gluten bevatten.		koolhydraten	48,0 g
INHOUD		waarvan suikers	46,1 g
75g e		vetten	38,1 g
		waarvan verzadigd	20,3 g
		enkelvoudig onverzadigd	16,7 g
		meervoudig onverzadigd	1,0 g
		cholesterol	15,0 mg
		voedingsvezel	3,0 g
		natrium	0,06 g

7. Tijdens een practicum krijgen twee studenten de opdracht om water aan de kook te brengen op een gasbrander. Ze moeten hiervan het rendement bepalen. De studenten hebben uitgerekend dat  $1,8 \cdot 10^5$  J nodig is om alleen de hoeveelheid water die ze gebruiken tot het kookpunt te verwarmen. Om het gasverbruik te meten, sluiten ze een gasmeter aan.



De gasmeter staat op 287,432 m<sup>3</sup> voordat de proef begint. Bereken het rendement bij het aan de kook brengen van het water.

## 6.3 Temperatuur

Wanneer een voorwerp verwarmd wordt, neemt de snelheid, waarmee de moleculen zich bewegen, toe, zodat het aantal botsingen toeneemt en de Vanderwaalskrachten niet kunnen beletten, dat de afstand tussen de moleculen vergroot wordt.

Men neemt dit waar als de uitzetting van het voorwerp. Deze uitzetting gaat voort totdat er tussen de Vanderwaalskrachten en de bewegingskrachten weer evenwicht is bereikt.

de snelheid van de moleculen is bepalend voor de temperatuur van een stof.

Als we over de temperatuur spreken dan gebruiken we de eenheid **Celsius**.

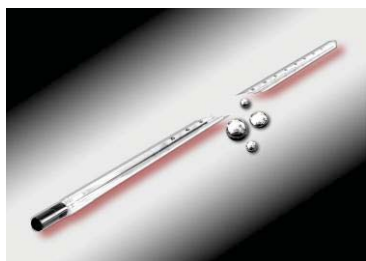
In 1742 heeft Celsius de thermometer ontwikkeld. Hij ontdekte dat een vloeistof uitzet als de temperatuur van de vloeistof hoger wordt. Van deze eigenschap maakte hij gebruik om de thermometer te maken. Hij nam een dunne glazen buis met aan een uiteinde een doorboorde kurk. Hij plaatste de buis op een kolf die met vloeistof gevuld was en zorgde ervoor dat er ook vloeistof in de buis stond.

De kolf werd eerst in een bak met smeltend ijs geplaatst en daarna in een bak met kokend water. De vloeistof kreeg daardoor verschillende standen in de buis, die hij aanstreepte.

Hij noemde het onderste streepje  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  en het bovenste  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De afstand verdeelde hij in 100 gelijke afstanden, die ieder een graad Celsius werden genoemd.

Toen de thermometer gebruikt werd, bleek al snel dat het bereik te klein was. De vloeistof in het buisje kon boven de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  uitgaan, maar ook onder de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  zakken.

Men heeft dit opgelost door boven de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  in gelijke afstanden streepjes bij te plaatsen en onder de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  een minteken te gebruiken.

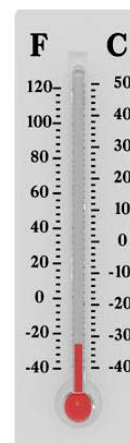


Voor algemeen gebruik zijn het meest bekend de vloeistofthermometers en in het bijzonder de **kwikthermometer**. Het voordeel van kwik is onder andere dat het snel de temperatuur van de omgeving aanneemt en onttrekt hieraan slecht weinig warmte. Kwik wordt vast bij  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Voor lagere temperaturen gebruik men **alcoholthermometers**, waaraan wat kleurstof wordt toegevoegd om de thermometer beter te kunnen aflezen.

We kunnen ons afvragen of het mogelijk is de temperatuur zo te verlagen dat de moleculen stil komen te staan. Lord Kelvin (1824-1907) heeft zich met deze vraag bezig gehouden en kwam tot de conclusie dat bij  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  alle moleculen stilstaan. Hij noemde daarom  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  het **absolute nulpunt**.

het absolute nulpunt is gelijk aan  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$



# Warmte

Er moest nu ook een nieuwe eenheid van temperatuur komen en men heeft voor de absolute temperatuur de eenheid **Kelvin (K)** gekozen.

Als we de nieuwe en de oude temperatuurschaal met elkaar vergelijken, dan is het verschil van 1 °C gelijk aan een temperatuursverschil van 1 K. De absolute temperatuur geven we aan met de letter T en de oude temperatuur met de letter t.

Zo is dus een absolute temperatuur van 0 Kelvin ( $T = 0 \text{ K}$ ) gelijk aan een temperatuur van -273 graden Celsius ( $t = -273 \text{ °C}$ ). Hieruit volgt dat  $t = 0 \text{ °C}$  gelijk is aan  $T = 273 \text{ K}$  en dat  $t = 100 \text{ °C}$  gelijk is aan 373 K.

In de natuurkunde probeert men om een verband dat tussen twee grootheden bestaat, vast te leggen in een formule waarin alleen symbolen en getallen staan.

Voor het verband tussen de oude en de nieuwe temperatuur wordt dat dan:

$$T = t + 273$$

Hierin is:

T = de absolute temperatuur, in K;  
t = de temperatuur, in °C.

Een bijzondere vloeistofthermometer is de koortsthermometer. Deze koortsthermometer wijkt op een aantal punten af van de gewone vloeistof thermometer. De koortsthermometer geeft alleen de temperaturen aan tussen 35 °C en 42 °C.

Het glazen buisje is zo nauw gemaakt dat de afstand van een temperatuursverschil van 1 °C groot is en het eenvoudig maakt een temperatuur af te lezen op 0,1 °C nauwkeurig.

Het kwik in de thermometer loopt niet terug als de temperatuur daalt. Het teruglopen van het kwik naar het reservoir wordt verhinderd door een capillair tussen het glazen buisje en het reservoir. Vandaar dat als je een koortsthermometer wilt gaan gebruiken, je deze eerst af moet slaan om het kwik weer in het reservoir te krijgen.



Tegenwoordig gebruikt men steeds meer de digitale koortsthermometer.

Toch is temperatuur een geheel ander begrip dan warmte. Twee blokjes ijzer hebben dezelfde temperatuur, maar een verschillende massa, d.w.z. een verschillend aantal moleculen. Gelijke temperatuur betekent dat de gemiddelde snelheid van de moleculen in beide blokjes hetzelfde is. De gemiddelde hoeveelheid energie per molecuul is dus in beide blokjes ook gelijk, maar de totale energie (warmtehoeveelheid) niet.

Een warmtehoeveelheid is een hoeveelheid energie.  
Temperatuur is een grootheid die bepaald wordt door de gemiddelde hoeveelheid energie per



# Warmte

Het is dus mogelijk, dat een grote tank koud water meer warmte bevat dan een klein bakje heet water.

In veel Engelssprekende landen gebruikt men tot op heden de thermometer van Fahrenheit. Fahrenheit plaatste zijn thermometer, gevuld met alcohol, in een mengsel van sneeuw, ijs en salmiak. Bij de stand van de alcohol in zijn thermometer, geplaatst in dit koudmakende mengsel, plaatste hij het nulpunt (0 °F).

Zijn nulpunt komt een stuk lager te liggen dan het nulpunt bij Celsius.

Bij de temperatuur van het menselijk bloed (ongeveer 37 °C) plaatste Fahrenheit 100 °F.

Voor het omrekenen van Celsius naar Fahrenheit, moet het aantal graden Celsius met 1,8 vermenigvuldigd worden en dan nog eens 32 er bij optellen.

In formule:

$$F = 1,8C + 32$$

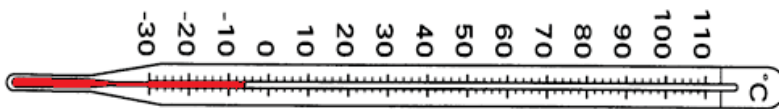
Voorbeeld.

Hoeveel graden Celsius is gelijk aan 92 °F?

$$F = 1,8C + 32 \quad \Rightarrow \quad C = \frac{F - 32}{1,8} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{92 - 32}{1,8} = 33,3 \text{ °C}$$

## Opgaven.

8. Een thermometer heeft de afleesschaal uit de figuur.



Welke temperatuur wijst de thermometer aan?

9. Bij een ziek persoon wordt met behulp van een koortsthermometer de lichaamstemperatuur gemeten. Deze koortsthermometer bevat kwik. De aanwijzing van de thermometer verandert niet als hij in de veel koudere lucht van de kamer is gebracht om hem af te lezen.  
Waarom zakt het kwik in de koortsthermometer dan niet?
10. Reken 77 °C en -77 °C om in K.
11. De temperatuur in een ruimte loopt op van 12 °C tot 27 °C.  
Hoe groot is het temperatuursverschil in K?

12. Hoeveel °C is gelijk aan 372 K?
13. Van de onderstaande blokjes zijn de temperaturen gegeven.



Welke blokjes hebben dezelfde temperatuur?

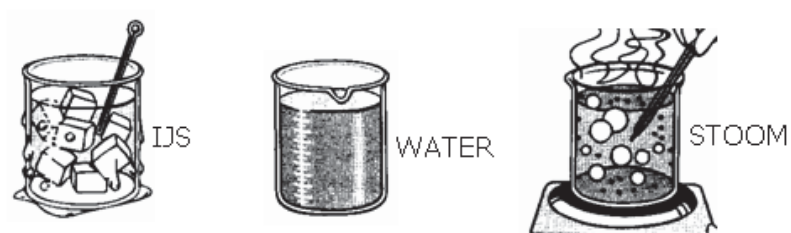
14. Vul de ontbrekende waarden in onderstaande tabel:

Celsius (°C)	Kelvin (K)	Fahrenheit (°F)
0		
40		
	40	
		100

## 6.4 Fasen

We onderscheiden drie **aggregatietoestanden** of **fasen**:

- de vaste fase
- de vloeibare fase
- de gasvormige fase



In welke fase een stof verkeert, hangt af van de kracht die de sterkste invloed heeft op de moleculen. Wanneer we bij een temperatuur van -273 °C (het absolute nulpunt) beginnen, dan zal bij alle stoffen de Vanderwaalskracht zeer sterk zijn en de bewegingskracht gelijk aan nul, omdat bij deze temperatuur alle moleculen stilstaan.

Hoe hoger de temperatuur van een stof wordt, des te groter zal de bewegingskracht worden tussen de moleculen.

# Warmte

De Vanderwaalskracht zal gewoon blijven werken, maar hij zal steeds sterker worden tegengewerkt door de bewegingskracht. Dit betekent dat de moleculen steeds verder uit elkaar gaan, waardoor de Vanderwaalskracht afneemt. De stof zal hierdoor gaan uitzetten.

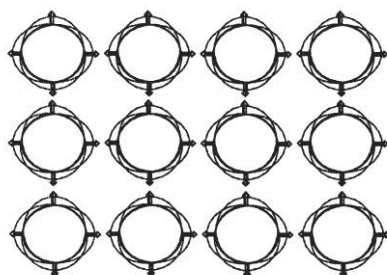
Als de temperatuur steeds hoger wordt zal de bewegingskracht zo groot worden, dat de moleculen hun vaste plaats in het rooster, waarin ze in de vaste fase zitten, verlaten en de stof zal vloeibaar worden.

De Vanderwaalskracht wordt hierdoor ook kleiner, omdat de moleculen geen vaste afstand meer tot elkaar hebben, maar vrij kunnen bewegen. Wordt de temperatuur van een vloeistof verhoogd, dan zullen de moleculen zoveel snelheid krijgen, dat ze de mogelijkheid hebben om over te gaan naar de gasvormige fase. In de gasvormige fase zijn de moleculen zover uit elkaar dat de Vanderwaalskracht zeer klein wordt.

Wanneer we de temperatuur steeds verder laten afnemen, gebeurt het omgekeerde. De bewegingskrachten worden steeds zwakker en de Vanderwaalskracht krijgt weer meer invloed op de moleculen, zodat deze dichter bij elkaar kruipen totdat ze uiteindelijk weer in een vast rooster zitten en zelfs tot stilstand komen.

## 6.4.1 de vaste fase

Bij een vaste fase zitten de moleculen in een vast rooster op hun plaats heen en weer te trillen. Doordat de moleculen in een vast rooster zitten, kan een vaste stof niet worden samengeperst.



Hoe hoger de temperatuur is, des te groter is de uitwijking ten opzichte van de evenwichtstand bij het trillen. Daarom zal een vaste stof uitzetten wanneer hij verwarmd wordt.

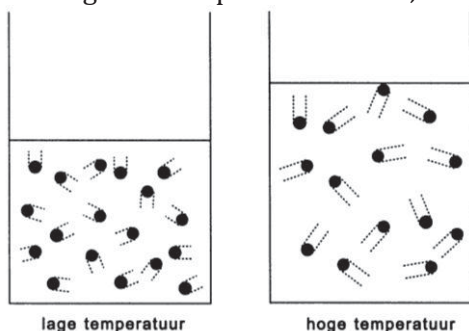
We kunnen dit vergelijken met een rij mensen, die eerst rustig tegen elkaar staan en daarna heen en weer gaan bewegen. Iedere persoon in die rij zal dan meer ruimte nodig hebben en de rij wordt daardoor langer.

op een bepaald moment zullen de moleculen zo ver uit elkaar zijn, dat ze uit het rooster springen en overgaan naar de vloeibare fase, we noemen dit moment het smeltpunt van de vaste stof.

Iedere stof blijkt zijn eigen smeltemperatuur te hebben. We kunnen dus de stoffen herkennen aan hun smeltpunt.

## 6.4.2 de vloeibare fase

In de vloeibare fase zitten de moleculen niet meer in een vast rooster, zij zwerven vrij rond binnen de vloeistof. Een vloeistof is niet samen te persen. Hij neemt de vorm aan van het voorwerp, waar hij in zit. Ook vloeistoffen zetten uit bij verwarming. Hoe hoger de temperatuur wordt, hoe sneller de moleculen gaan bewegen.



Uiteindelijk bewegen de moleculen zo snel dat de bewegingskracht het wint van de Vanderwaalskracht. De moleculen verlaten dan de vloeistof en gaan over in de gasvormige fase. De temperatuur waarbij dit gebeurt, heet het **kookpunt** van de vloeistof.

het kookpunt van een vloeistof is dus die temperatuur waarop alle moleculen zoveel snelheid hebben dat ze overgaan in de gasvormige fase, iedere stof heeft zijn eigen kookpunt.

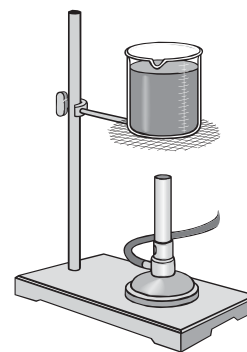
Wanneer we een bekersglas met koud water op een driepoot zetten en er een brander onder aansteken, dan kunnen we het volgende waarnemen.

Zodra de vlam aangestoken is, treedt er condensvorming op aan de buitenkant van het glas. Dit komt doordat bij de verbranding van aardgas o.a. water vrijkomt. De waterdamp die ontstaat bij deze verbranding wordt afgekoeld door de koude buitenkant van het glas en condenseert daar, zodat dat waar te nemen is als vorming van waterdruppeltjes aan de buitenkant van het bekersglas. Na een tijdje verdwijnt dit water weer, omdat het glas door vlam zo warm wordt dat waterdamp hier niet meer voldoende wordt afgekoeld om te condenseren.

In het bekersglas kunnen we waarnemen, dat vrijwel direct vanaf het begin gasbelletjes ontstaan. Dit zijn belletjes zuurstof, die in het water zijn opgelost en er bij verhitting uitkomen. Na enige tijd is de zuurstof uit het water verdreven en zien we geen gasbelletjes meer.

Als de vlam geruime tijd aanstaat, zal zich op de bodem van het bekersglas een dampbel vormen, die omhoog stijgt. De eerste dampbellen zullen de oppervlakte niet bereiken, maar in elkaar klappen door de druk van het water en de luchtdruk en ook doordat de temperatuur van de dampbel afneemt, waardoor hij bij het opstijgen aan kracht verliest.

Wel is het zo, dat de dampbellen hun energie afstaan aan het omringende water, waardoor dit water in temperatuur zal stijgen. Na verloop van tijd zal het omringende water zo warm zijn, dat



# Warmte

de dampbellen de oppervlakte bereiken zonder in elkaar te klappen. Alle moleculen in het water zullen dan genoeg snelheid bezitten om over te gaan in de gasvormige fase en we noemen daarom de temperatuur waarbij dit zich afspeelt het kookpunt van de stof.

Doordat de luchtdruk invloed heeft op het in elkaar klappen van de dampbellen, zal de luchtdruk dus ook invloed hebben op het kookpunt van een stof. Hoe hoger de luchtdruk is, hoe groter de temperatuur van een dampbel zal moeten zijn om genoeg kracht te hebben om de oppervlakte te bereiken. Het kookpunt komt dus hoger te liggen.

In de praktijk maken we van deze eigenschap gebruik bij een snelkookpan. Een snelkookpan is een gesloten pan waarin water dat verdampt, niet kan verdwijnen, maar zich ophoopt boven de vloeistof. Hierdoor zal de druk op het oppervlak groter worden en dus het kookpunt van de vloeistof hoger liggen.

Aardappels worden eetbaar door ze ongeveer 20 minuten bij 100 °C te koken. Bakken we de aardappel in de vorm van frieten in olie van 180 °C dan zijn de aardappels veel sneller gaar.

In een snelkookpan ligt het kookpunt van water bij ongeveer 120 °C en zal de aardappel dus minder lang hoeven te koken dan bij 100 °C.



Wanneer we een berg beklimmen, merken we dat de luchtdruk lager wordt. Willen we op grote hoogte aardappels koken in water, dan komen we tot de ontdekking dat de kooktemperatuur van water lager ligt dan 100 °C, waardoor we de aardappels niet gaar krijgen.

Zetten we een glas water van 30 °C onder een glazen stolp en zuigen we daarna de lucht weg uit de stolp, dan kunnen we het water laten koken bij een temperatuur van 30 °C, omdat er niet genoeg lucht meer boven het water is om de dampbellen in elkaar te drukken.

## 6.4.3 de gasvormige fase

In de gasvormige fase zitten de moleculen zeer ver uit elkaar en heeft de Vanderwaalskracht geen merkbare invloed meer op de moleculen, omdat de afstand te groot is geworden. Een gas neemt elke ruimte in en verspreidt zich zeer spontaan. Dit noemen we **diffusie**.

diffusie is een spontane vermenging van stoffen en dit komt in elke fase voor.

In de gasvormige fase is de diffusie zeer snel een feit. In de vloeibare fase gaat diffusie veel langzamer, omdat de deeltjes minder snel bewegen dan in de gasvormige fase en omdat de ruimte tussen de moleculen kleiner is. In de vaste fase komt diffusie nauwelijks voor omdat de deeltjes in vast rooster zitten.

Een gas kunnen we samenpersen tot een vloeistof. Een heel bekend voorbeeld is LPG, een vloeibaar gemaakt gas, dat gebruikt wordt als brandstof voor auto's.

Wanneer een gasdeeltje tegen een wand botst, zal het een kracht op die wand uitoefenen. Deze kracht is zeer klein en de botsing heeft een zeer korte duur, maar door het grote aantal deeltjes, dat voortdurend tussen de wand heen en weer beweegt, zal de wand toch steeds onder druk staan.

Wordt er aan het gas een hoeveelheid warmte toegevoegd dan zal de snelheid van de gasdeeltjes vergroot worden. Dit heeft tot gevolg dat er meer botsingen tegen de wand zullen plaatsvinden, waardoor de druk op de wand vergroot wordt.

## 6.5 Faseovergangen

Als we water afkoelen beneden 0 °C wordt het ijs, als we ijs vervolgens verwarmen tot boven 0 °C smelt het en hebben we het water weer terug. Dit noemen we een **faseovergang**.

bij een faseovergang kan men de oorspronkelijke stof altijd weer terugkrijgen door afkoelen of door verwarmen.

Het volgende overzicht geeft alle faseovergangen tussen de drie aggregatietoestanden weer.





# Warmte

We noemen deze faseovergangen als volgt:

- van vast naar vloeibaar      smelten
- van vloeibaar naar vast      stollen
- van vloeibaar naar gas      verdampen
- van gas naar vloeibaar      condenseren
- van vast naar gas      sublimeren
- van gas naar vast      rijpen

De meeste faseovergangen zijn wel bekend, omdat ze in het dagelijks leven veel genoemd worden.

Het **sublimeren** of **vervluchtigen** is waarschijnlijk niet voor iedereen een bekend verschijnsel. Vervluchtigen kunnen we waarnemen bij mottenballen en kamfer. Mottenballen worden gebruikt om kleren die langere tijd bewaard moeten worden bijvoorbeeld in een kist, te conserveren.

De mottenbal is gemaakt van een vaste stof die rechtstreeks overgaat in een gas met een doordringende geur die de motten op afstand houdt.

Toiletverfrisser in de vorm van een vaste stof gaan ook van de vaste fase rechtstreeks over naar de gasvormige fase.



Ook **rijpen** zal voor sommigen niet zo bekend zijn. We kennen waarschijnlijk wel de ijsvorming, die optreedt wanneer waterdamp in de vorm van wolken zo ver naar beneden daalt, dat deze in aanraking komt met zeer koude ondergrond, zoals bomen in de winter. We zien dan op de takken van de bomen witte, langgerekte ijskristallen verschijnen die we 'rijp' noemen. In een diepvrieskist treedt ook rijpvorming op, als bij het openen lucht naar binnen gaat die waterdamp bevat.



De faseovergang van vloeistof naar gas hoeft niet altijd bij het kookpunt plaats te vinden.

Wanneer wij de was buiten ophangen om te drogen, hoeft de buitentemperatuur niet 100 °C te zijn.

Ook bij een temperatuur van 10 °C zal het water uit de was verdampen.

Verdamping vindt eigenlijk bij elke temperatuur plaats.

Was kan zelfs gedroogd worden bij temperaturen onder het vriespunt.



De moleculen bewegen in een vloeistof vrij rond en botsen tegen elkaar. Als een molecuul op een bepaald moment met meer moleculen die eenzelfde richting hebben botst, zal deze molecuul een versnelling krijgen en daardoor genoeg snelheid hebben om de vloeistof vroegtijdig te verlaten.

# Warmte

Als de snelheid van de molecuul niet al te groot is, is de kans dat de molecuul terugvalt in de vloeistof zeer groot.

Wordt een molecuul door bijvoorbeeld de wind meegenomen als deze uit de vloeistof komt, dan zal die vloeistof sneller verdampen. Hoe hoger de temperatuur van een vloeistof is, hoe hoger de snelheid van de moleculen. Dat betekent dat de moleculen door het botsen eerder een snelheid hebben om te ontsnappen aan de Vanderwaalskracht in de vloeistof. De was zal dus bij windiger en warm weer het snelste droog zijn.

## Opgaven.

15. In warme en droge landen vindt men soms waterkruiken langs de kant van de weg. Hieruit kunnen voorbijgangers drinken. Deze kruiken zijn poreus, dat wil zeggen dat de wand niet helemaal waterdicht is. Hierdoor voelt zo'n kruik van buiten vochtig aan. Het water in deze kruik blijft koel.

Hieronder staan twee uitspraken over deze kruik:

- I het water in de kruik blijft koel omdat het water aan de buitenkant verdampt, waardoor warmte aan de kruik wordt onttrokken.
- II net als een thermoskan is zo'n poreuze kruik ook geschikt om warm water te houden.

Welke van deze uitspraken is juist?

- a. zowel I als II
  - b. alleen I
  - c. alleen II
  - d. geen van beide
16. In een sigarettenaansteker zit "vloeibaar gas". Hoewel het gevaarlijk kan zijn, kun je het gas eruit laten stromen zonder het aan te steken. De aansteker koelt dan af. Leg uit waarom de aansteker afkoelt.
17. De familie van Oorschot heeft een nieuw huis gekocht. Ze hebben pech, want op een dag springt de watermeter kapot. Zelfs na veel dweilen is de vloer nog steeds erg nat. Om de vloer sneller droog te krijgen, huren ze een vochtvreter. Dit elektrisch apparaat haalt de waterdamp uit de lucht. De vochtige lucht wordt het apparaat ingezogen, waarna de lucht wordt afgekoeld, waardoor de waterdamp vloeibaar wordt. Het water wordt dan een in reservoir opgevangen. Hoe heet de faseverandering waarbij waterdamp vloeibaar wordt en komt er bij deze faseverandering warmte vrij of moet er warmte worden toegevoegd?



18. Uit een tabellenboekje zijn de volgende gegevens overgenomen:

nr	naam van de stof	smeltpunt K	kookpunt K
1	aceton	178	329
2	ammoniak	195	240
3	chloor	172	239
4	glycerol	292	563
5	helium		4
6	koolstofdioxide	95	216
7	kwik	234	630
8	messing	1170	
9	paraffine	325	
10	water	273	373
11	wolfraam	3650	5800

De gegevens uit de tabel zijn bepaald bij een druk van  $10^5$  Pa (normale omstandigheden). Ga voor de in bovenstaande tabel genoemde stoffen na in welke fase(n) deze zich bevinden bij kamertemperatuur ( $T = 292$  K) en normale druk ( $p = 10^5$  Pa). Geef je antwoord door in onderstaande tabel achter iedere stof in de goede kolom(men) een kruisje te zetten. Maak een tabelletje met de antwoorden.

nr	naam van de stof	vast	vloeibaar	gas
1	aceton			
2	ammoniak			
3	chloor			
4	glycerol			
5	helium			
6	koolstofdioxide			
7	kwik			
8	messing			
9	paraffine			
10	water			
11	wolfraam			

## 6.6 Warmtetransport

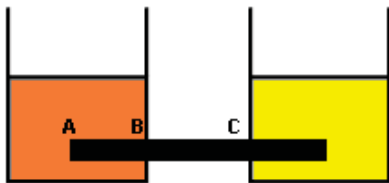
Er zijn drie manieren, waarop warmte getransporteerd kan worden nl.:

- geleiding
- stroming
- straling

### 6.6.1 geleiding

Wanneer van een metalen staaf het ene uiteinde verwarmd wordt, zal na enige tijd ook het andere eind warm worden.

Wordt de staaf bijvoorbeeld in een bakje met heet water gestoken, dan neemt het gedeelte AB de temperatuur hiervan aan, zodat de moleculen in snellere beweging komen.



Maar dan is het onmogelijk dat de deeltjes vlak naast B aan de rechterzijde een gemiddelde snelheid hebben, die veel kleiner is. Ze worden door botsingen met hun burens zelf ook op grotere snelheid gebracht en zullen de moleculen aan hun rechterkant ook weer sneller doen bewegen. Eerst geleidelijk neemt de snelheid van de deeltjes af. Geleidelijk zal dus ook de temperatuur van B tot C afnemen.

Denkt men zich C verbonden met een tweede bakje water van lagere temperatuur, dan kan hieraan warmte worden afgegeven. De warmte van het eerste bakje is dan door geleiding aan het andere overgedragen.

Deze vorm van warmtetransport vindt dus plaats in vaste stoffen. Niet alle stoffen geleiden de warmte even snel.

Stoffen die de warmte goed geleiden noemt men **goede warmtegeleiders** (bijvoorbeeld koper, ijzer, lood en aluminium).

Stoffen die de warmte slecht geleiden noemt men **slechte warmtegeleiders** of **isolatoren** (bijvoorbeeld hout, glas en steen).

De warmtegeleidingcoëfficiënt is een maat voor het vermogen van een materiaal om warmte te geleiden. Een metalen deurknop voelt, bij dezelfde temperatuur, kouder aan dan de houten deur. Het metaal van de deurknop is een goede warmtegeleider en voert de warmte van de hand weg. Het hout van de deur daarentegen is een relatief slechte warmtegeleider.

Hoe hoger de warmtegeleidingcoëfficiënt, hoe beter de warmte wordt weggevoerd.

In alle vaste stoffen en vloeistoffen vindt warmtegeleiding plaats door het overdragen van trillingsenergie van atomen. In metalen zijn er ook een groot aantal zgn. vrije elektronen aanwezig. Vrije elektronen kunnen snel en gemakkelijk binnen het object bewegen. Zij verklaren het snelle warmtetransport in metalen.

## 6.6.2 stroming

Bij gassen en vloeistoffen kan zich echter nog een ander verschijnsel voordoen. Door de verwarming ontstaat verschil in dichtheid en hierdoor kunnen weer stromingen ontstaan, die bevorderlijk zijn om de gehele massa sneller te verwarmen.

Boven een kachel zal bijvoorbeeld de lucht opstijgen en aan andere deeltjes warmte afstaan. Langs de wanden en vooral langs de ramen, daalt daarentegen koude lucht neer.

Men spreekt in zulke gevallen van verwarming door **stroming** of **convectie**.

Het opstijgen van warme lucht noemen we **thermie**.

In onze atmosfeer zijn grote convectiestromen aanwezig. Zweefvliegtuigen en vogels maken gebruik van opstijgende warme lucht om hoogte te winnen. Warmte-isolatie door stilstaande lucht in een raam met dubbel glas berust ook op convectiestromen tussen de twee ruiten.



## 6.6.3 straling

Er bestaat echter nog een geheel andere manier, waarop warmte van het ene voorwerp op het andere kan worden overgebracht.

Op enige afstand van een brandende open haard voelt men de warmte daarvan. Dat dit niet door geleiding van de lucht is, blijkt daaruit, dat wanneer een ijzeren scherm (een betere warmtegeleider dan lucht) voor de open haard geplaatst wordt, de warmte veel minder sterk gevoeld wordt.

Een ander voorbeeld is de warmte van de zon, welke de aarde bereikt. Ook hier is geleiding door de lucht niet mogelijk, daar deze slechts een betrekkelijk dunne laag om de aarde vormt en bij lange na niet tot de zon reikt.

Men spreekt in zulke gevallen van **warmtestraling** of **radiatie**.

Wanneer een voorwerp door een warmtestraal getroffen wordt, zal de uitwerking driedig kunnen zijn. Gedeeltelijk zal de warmte worden opgenomen of geabsorbeerd, een ander gedeelte wordt teruggekaatst en de rest wordt doorgelaten.

Nu is gebleken, dat de uitstraling niet alleen afhangt van de temperatuur en van de grootte van het oppervlak, maar ook van de toestand daarvan. Donkere voorwerpen stralen de meeste warmte uit, wit gepolijste daarentegen de kleinste hoeveelheid.

Verder is gebleken, dat voorwerpen, die gemakkelijk warmte uitstralen, ook gemakkelijk warmte opnemen en omgekeerd. Een metalen kogel, in de zonnestralen geplaatst, zal veel meer warmte opnemen, wanneer hij met roet bedekt is, dan wanneer hij gepolijst is.

Bij de isolatie van een woonhuis is het belangrijk te weten hoe warmte verloren gaat en welke vorm van warmtetransport er van toepassing is. Bij een radiator vindt warmtestraling plaats naar alle kanten.



De straling die vanaf de radiator in de richting van de muur plaatsvindt, zal de muur verwarmen. De muur die in verbinding staat met de spouw zal de warmte aan de lucht in de spouw door geleiding afgeven.

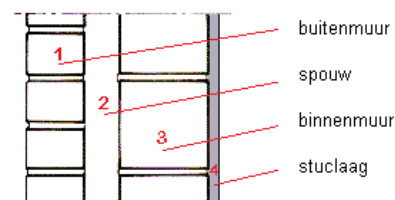
Om dit verlies aan warmte tegen te gaan, kunnen we gebruik maken van het feit dat glimmende voorwerpen straling terugkaatsen. We kunnen aluminiumfolie tegen de muur plakken met de glimmende zijde naar de radiator gekeerd.

We moeten daarbij goed opletten dat de folie de radiator niet raakt, omdat dan het isolatie-effect verdwenen is door de warmtegeleiding die optreedt. Aluminium is namelijk een goede warmtegeleider.

Een kwart van alle warmte in huis gaat door ongeïsoleerde muren naar buiten. Isolatie van buitenmuren is dan ook de moeite waard.

Er zijn verschillende manieren om een muur te isoleren:

- aan de buitenkant,
- de binnenkant en,
- als het een spouwmuur is, in de spouw.

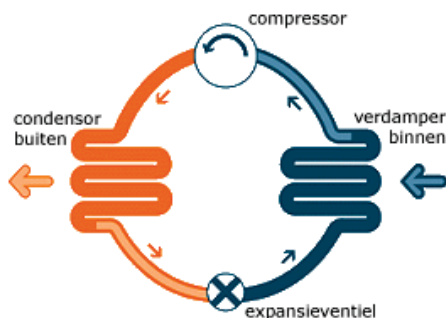


Elk systeem heeft bepaalde voordelen. Bovendien kunnen de kosten flink verschillen. Spouwmuurisolatie is van de verschillende mogelijkheden de voordeligste oplossing. Maar: oudere huizen hebben vaak geen spouw. Ook kan een spouw te smal zijn of vervuild. Men kan dan overwegen de muur aan de buitenzijde of de binnenzijde te isoleren. De spouw is de ruimte tussen de binnen- en de buitenmuur. Door de spouw te vullen met isolatiemateriaal verliest het huis aanzienlijk minder warmte. Spouwmuurvulling is goedkoop.

Men verdient deze maatregel dan ook binnen ongeveer drie jaar terug met de besparing op de energierekening. Bovendien is spouwmuurvulling onzichtbaar. Voor de isolatie van een spouw zijn verschillende materialen in de handel. De bekendste zijn minerale wolvlokken (glaswol of steenwol), polyurethaanschuim (PUR-schuim) en latex-gebonden kunststofkorrels. De isolatiewaarde van deze materialen is praktisch gelijk. Ze leveren dus evenveel energiebesparing op. Spouwmuurisolatie is werk voor een erkend isolatiebedrijf.

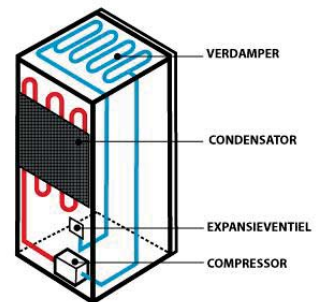
## Koelkast

Door de compressor van een koelkast wordt het gas, tot voor een aantal jaren gebruikte men ammoniak en freon, in de compressor samengeperst, waardoor het gas overgaat in een vloeistof en in temperatuur stijgt. De vloeistof wordt nu door een koeler gestuurd, waar het af kan koelen tot de omgevingstemperatuur. Deze koeler is meestal achter de koelkast geplaatst. De lucht moet vrij langs de koeler kunnen stromen. De warmte



wordt dus afgevoerd naar de omgeving. De afgekoelde vloeistof gaat nu door een verdamper, die in de kast is geplaatst. Hier gaat de koelvloeistof weer verdampen.

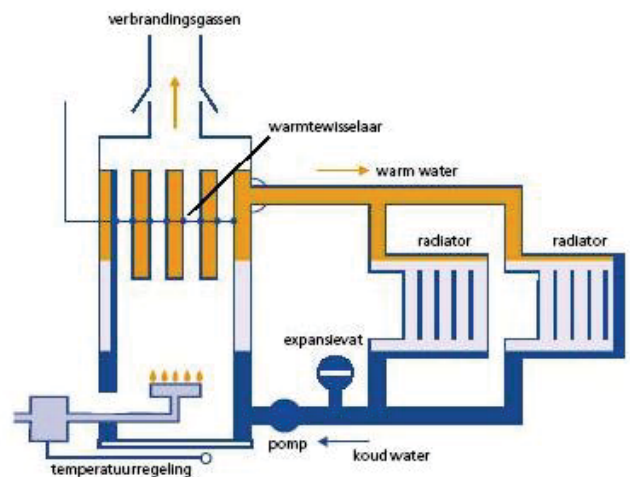
Voor deze verdamping is warmte nodig. De benodigde warmte wordt aan de inhoud van de koelkast onttrokken, waardoor de temperatuur in de kast daalt. Met behulp van de thermostaat in de koelkast, kan men de temperatuur in de koelkast instellen.



## Verwarming

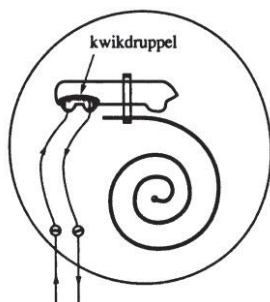
De meeste energie die een gezin verbruikt wordt gebruikt voor de verwarming. In de meeste centrale verwarmingsinstallaties wordt olie of aardgas verbrand. Met deze warmte wordt water verwarmd, dat door een circulatiepomp door de installatie wordt gepompt. Voor de veiligheid zijn er een aantal voorzieningen aangebracht, zoals een ketelthermostaat, die ervoor zorg draagt, dat het water in de ketel niet te warm wordt. Er is een waakvlambeveiliging, die de gastoevoer afsluit, zodra de gasvlam door wat voor reden ook uitgaat.

In de leiding is een expansievat aangebracht zodat de druk in de leidingen niet te hoog wordt.



## Kamerthermostaat

Het in- en uitschakelen van de branders van de verwarmingsketel wordt geregeld door een kamerthermostaat. Als de temperatuur in de kamer te laag wordt, geeft de thermostaat een signaal naar de ketel om de gastoevoer te openen. In de tekening is schematisch een kamerthermostaat weergegeven. Deze thermostaat bestaat uit een bimetaal in spiraalvorm, waarop een glazen buisje met twee elektrische contacten zijn aangebracht. Het glazen buisje bevat een druppel kwik.

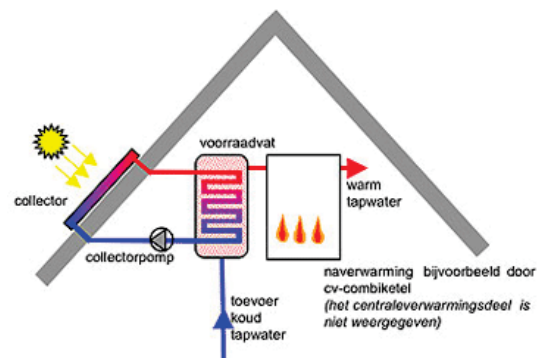


Bij stijging van de temperatuur, zal het bimetaal zich ontrollen en bij het bereiken van de ingestelde temperatuur kantelt de kwikschakelaar zodanig, dat de elektrische stroom naar de ketel verbroken wordt en de gastoevoer afgesloten wordt. Is de temperatuur te laag, dan zal het bimetaal zich oprollen waardoor de kwikschakelaar contact maakt.

# Warmte

## Zonnecollector

De warmte van de zon kan ook gebruikt worden om water te verwarmen. Dit wordt gedaan met behulp van zonnecollectoren. Een zonnecollector zet de energievorm licht om in de energievorm warmte. De zonnecollector bestaat uit een buizenstelsel, waardoor water stroomt. Dit buizenstelsel is gemonteerd op een zwarte plaat. Deze plaat absorbeert het zonlicht en de plaat wordt warm. De temperatuur van het water dat door de buis stroomt, wordt ook hoger. In de tekening is een combinatie getekend van een zonnecollector met een klassieke warmwatervoorziening zoals een boiler.



## Toekomstige energiebronnen

Door de groeiende industrialisering zal de behoefte aan energie steeds groter worden. Maar de voorraden aan steenkool, aardolie en aardgas zijn niet onuitputtelijk. Wil men in de toekomst aan deze behoefte voldoen, zal er naar nieuwe energiebronnen gezocht moeten worden. Hiervoor zijn een aantal mogelijkheden voor handen:

- zonne-energie
- windenergie
- getijdenenergie
- kernenergie
- kernfusie



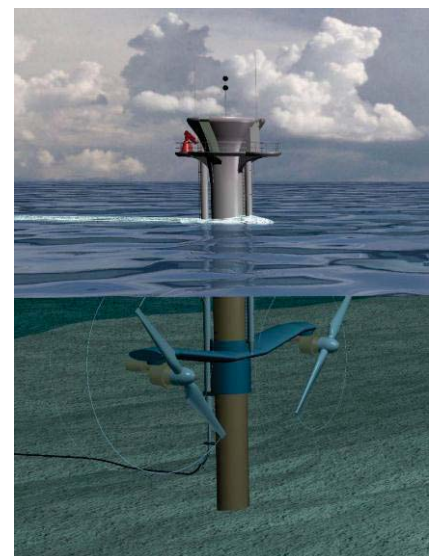
De experimenten met de eerste drie genoemde energiebronnen zijn al gedaan, maar de opbrengst van deze energiebronnen is niet zo groot, dat men in de toekomst aan deze bronnen genoeg heeft om de energiebehoefte te kunnen dekken.

Met doet al proeven met windmolens en windturbines. De zonne-energie heeft het nadeel dat men deze energie alleen maar krijgt als de zon schijnt.

De getijdencentrale wordt alleen daar toegepast, waar het verschil tussen eb en vloed groot is, zoals in Frankrijk aan de Normandische kust.

Kernenergie heeft het grote nadeel dat men een grote hoeveelheid radioactief afval krijgt uit de centrale, waar op het ogenblik nog geen methode voor handen is, om het weg te werken.

Kernfusie is een techniek waarbij men atoomkernen laat samensmelten. Bij deze samensmelting komt een ontzettende hoeveelheid warmte vrij. Er bestaat echter op aarde geen materiaal dat bestand is tegen de hoge temperaturen die bij dit proces een rol speelt. Men moet dan denken aan temperaturen van 100 miljoen graden Celsius.

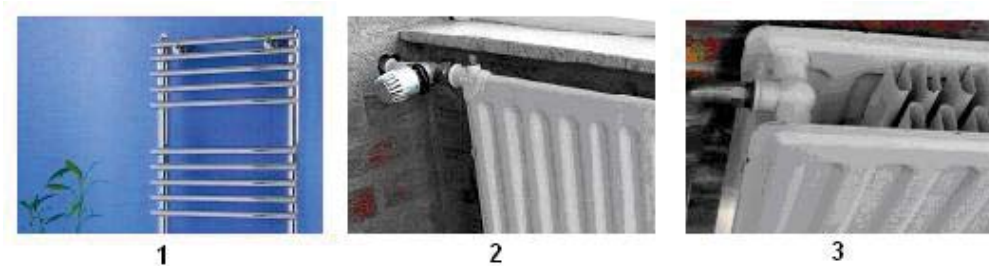




# Warmte

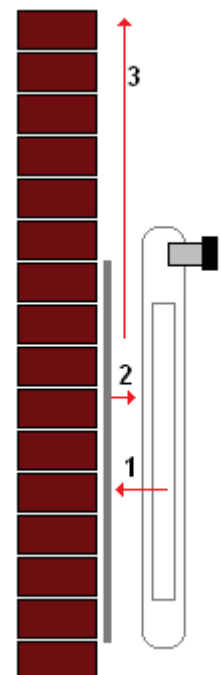
## Opgaven.

19. In de figuur staan drie typen radiatoren van een centrale verwarming. De radiatoren zijn even lang en even hoog. Ze zijn alle gevuld met water van dezelfde temperatuur. Ook de omgevingstemperatuur in de ruimte is gelijk.



Welke radiator zal per tijdseenheid de meeste warmte afstaan?

- a. de design radiator  
 b. de enkelplaats radiator  
 c. de dubbelplaats radiator  
 d. alle drie geven evenveel warmte
20. De muur achter een radiator neemt ook warmte op. Om dit zoveel mogelijk tegen te gaan, wordt radiatorfolie achter de radiator gedaan. In de figuur is deze situatie getekend. De pijltjes 1, 2 en 3 geven het warmtetransport aan. Daarbij geeft pijltje 2 dat warmtetransport aan na weerkaatsing door de folie. Welke vormen van warmtetransport vinden vooral plaats in de richting van de pijltjes?



	pijltje 1	pijltje 2	pijltje 3
A	straling	straling	straling
B	straling	straling	stroming
C	stroming	straling	straling
D	stroming	straling	stroming
E	stroming	stroming	straling
F	stroming	stroming	stroming

21. Op huizen brengt men als alternatieve energiebron ook in ons land wel eens een zonnecollector aan. In de tekening zijn aan het huis vier mogelijke plaatsen aangegeven.



Tegen welk vlak (A, B, C of D) kan het beste een zonnecollector aangebracht worden? Licht je antwoord toe.

22. Een magnetron is een onmisbaar huishoudelijk apparaat geworden. Met behulp van dit systeem kan snel voedsel of een drank verwarmd worden door toepassing van microgolven. De microgolven beïnvloeden de aanwezige watermoleculen, waardoor het voedsel of de drank opwarmt. Welke invloed hebben de microgolven op de watermoleculen waardoor een drank opwarmt?



- a. de watermoleculen gaan langzamer bewegen
  - b. de watermoleculen gaan sneller bewegen
  - c. de watermoleculen zetten uit
23. Iemand zet een kan met melk in de magnetron. De microgolven dringen slechts enkele cm diep in de melk door. Toch wordt alle melk warm. Door welke manier van warmtetransport gebeurt dat vooral?
- a. door geleiding
  - b. door straling
  - c. door stroming



# Warmte

24. Iemand haalt een kan met hete melk uit de magnetron en merkt op dat het handvat van de kan niet warm aanvoelt. Terwijl hij de kan melk wegbrengt, voelt hij dat het handvat van de kan ook warm wordt.  
Door welke manier van warmtetransport wordt het handvat vooral door de rest van de kan verwarmd?
- a. door geleiding
  - b. door straling
  - c. door stroming

25. Hieronder staat een aantal voorbeelden van energiebronnen:

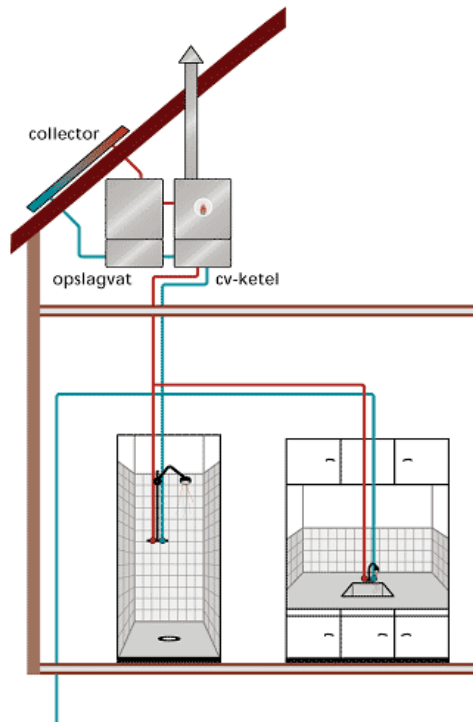
1	aardgas	6	steenkool
2	aardolie	7	uranium
3	aardwarmte	8	waterkracht
4	biogas	9	wind
5	getijden	10	zon

Welke van deze bronnen worden als delfstoffen gewonnen?

Welke van deze bronnen behoren tot de fossiele brandstoffen?

Welke van deze bronnen bezitten bewegingsenergie (= kinetische energie)?

26. In een zonnehuis levert de zon een deel van de warmte die in het huishouden nodig is. De zonne-energie wordt opgenomen door de zonnecollector. De collector bestaat uit een stelsel van buizen waardoor water stroomt. Het water wordt warmer en staat deze energie weer af aan het leidingwater in opslagvat. Het water dat zo verwarmd is, wordt gebruikt in het huishouden. Zonodig wordt bij verwarmd door ketelverwarming.



Het water wordt getransporteerd door leidingen. In de leidingen verliest het energie op plaatsen waar we het niet willen. We willen dat energieverlies verminderen. We vragen ons af of we daarvoor:

de leidingen *wel of niet* met schuimplastic moeten omgeven

de leidingen moeten maken van een materiaal dat de warmte *goed of slecht* geleidt

moeten proberen de temperatuur van het water *zo hoog mogelijk of zo laag mogelijk* te maken

Hoe moet elk bovenstaande vraag beantwoord worden om het energieverlies zo klein mogelijk te houden?

Licht elk antwoord één voor één toe.

27. Lees het artikel over aardwarmte.

## **Aardwarmte voorziet in 90% van de energiebehoefte**

HEERENVEEN - In de warmtebehoefte in de nieuwe wijk Skoatterwâld in Heerenveen kan voor 90 procent worden voorzien met aardwarmte. Uit berekeningen van energiebedrijf NUON blijkt dat de resterende 10 procent – vooral nodig tijdens piekuren – gehaald moet worden uit gasgestookte ketels. Voor de energie die nodig is voor grondwaterwinning zal “groene

stroom” gebruikt worden, afkomstig van bijvoorbeeld windmolens of waterkrachtcentrales elders in het land. Volgens NUON levert aardwarmte een grote bijdrage aan de besparing van de uitstoot van koolstofdioxide. Dat is een schadelijke stof die bij conventionele warmteopwekkingen het milieu terech



*Artikel ontleend aan de Leeuwarden Courant*

In het artikel blijkt een voordeel van het gebruik van aardwarmte en een nadeel van het project in Heerenveen. Noem dit voordeel en dat nadeel.

28. In het artikel worden twee manieren genoemd om “groene stroom” op te wekken. Noem nog een andere manier om “groene stroom” te produceren. Geef ook een voorbeeld van conventionele warmteopwekking.
29. De bodem van een pan die je op een elektrische kookplaat gebruikt, moet overal goed contact maken met die kookplaat. De pan neemt dan de warmte optimaal op. Om welke manier van warmtetransport gaat het hier vooral?

# *Warmte*