



# Blok 8

## INHOUD

### BASISSTOF

- T1 Verwarmen van huizen 236**
- W1 238**
- T2 De temperatuur in huis 238**
- W2 241**
- T3 Temperatuur meten 242**
- W3 243**
- T4 Temperatuur en warmte 243**
- W4 244**
- T5 Warmtetransport 245**
- W5 248**
- T6 Even warm met minder energie 249**
- W6 252**

### HERHAALSTOF

- H1 Begrippen uit dit blok 253**
- H2 Waar hangt warmtetransport vanaf? 254**

### EXTRASTOF

- E1 Warm water maken 256**
- E2 Rekenen aan de centrale verwarming 257**
- E3 Oefenvragen en opgaven 259**

## LEERDOELEN

- 1** Je moet weten uit welke onderdelen de centrale verwarming bestaat en hoe deze onderdelen samenwerken om het huis te verwarmen. [P1, T1, W1]
- 2** Je moet drie beveiligingen kennen die in de centrale verwarming zijn opgenomen en je moet weten hoe ze werken. [T1, W1]
- 3** Je moet het verloop van de temperatuur in huis kunnen schetsen 's ochtends tijdens het opwarmen, overdag en 's nachts tijdens het afkoelen. Je moet het verloop kunnen verklaren. [P2, T2, W2]
- 4** Je moet weten hoe je de temperatuur van een voorwerp meet en de eenheid van temperatuur kennen. [P3, T3, W3]
- 5** Je moet uit kunnen leggen hoe een thermometer werkt. [P3, T3, W3]
- 6** Je moet weten hoe de Celsius-schaal gemaakt is. [T3, W3]
- 7** Je moet weten dat warmte een energiesoort is. [P4, T4, W4]
- 8** Je moet de eenheid van warmte kennen. [T4, W4]

# Verwarmen



- 9 Je moet weten waar de hoeveelheid warmte van afhangt die je moet toevoeren bij verwarmen. [P4, T4, W4]
- 10 Je moet twee manieren van warmtetransport kennen en kunnen uitleggen hoe het warmtetransport plaatsvindt. [P5, T5, W5]
- 11 Je moet weten wat de verschillen en overeenkomsten zijn tussen warmtetransport door geleiding en stroming. [P5, T5, W5]
- 12 Je moet minstens drie stoffen kunnen noemen die warmte goed geleiden en minstens drie stoffen die warmte slecht geleiden. [P5, T5, W5]
- 13 Je moet weten dat warmte vanzelf van hoge temperatuur naar lage temperatuur gaat. [P5, T5, W5]
- 14 Je moet kunnen verklaren waarom sommige stoffen koud aanvoelen en andere niet (of minder). [P5, T5, W5]
- 15 Je moet weten hoe bij een thermosfles het warmteverlies zoveel mogelijk beperkt wordt. [P5, T5, W5]
- 16 Je moet toepassingen kennen van warmte-isolatie door stilstaande lucht. [P6, T6, W6]
- 17 Je moet weten waar het gasverbruik voor verwarming van afhangt en op welke manieren het gasverbruik beperkt kan worden [P6, T6, W6]

## T1 Verwarmen van huizen

Dit blok gaat over het verwarmen van huizen. In de meeste huizen zit tegenwoordig een *centrale verwarming*. De centrale verwarming bestaat uit een verwarmingsketel en een leidingnet met radiatoren. In de ketel wordt meestal aardgas verbrand. De warmte wordt overgedragen aan water. Het water brengt de warmte via leidingen en radiatoren naar de verschillende kamers.



### GESCHIEDENIS VAN DE CENTRALE VERWARMING

Vroeger hadden alleen grote gebouwen als hotels, ziekenhuizen, warenhuizen en kantoren een centrale-verwarmingsinstallatie. Rond 1900 waren er nauwelijks huizen met zo'n installatie. De ketel werd toen meestal gestookt op steenkool. Sindsdien is het aantal huizen met een c.v.-installatie langzaam gestegen. Na steenkool werd aardolie de energiebron. In oudere verwarmingsinstallaties wordt tegenwoordig nog wel 'huisbrandolie' gestookt. Na de aardgasvondsten in het begin van de jaren zestig heeft aardgas huisbrandolie als energiebron verdrongen. Dankzij deze goedkope energiebron is het aantal c.v.-installaties in woningen sterk toegenomen.

Water is vanouds het transportmiddel van warmte in de c.v.-installaties. Heel vroeger bouwden de Romeinen verwarmingsinstallaties waarbij lucht werd verwarmd. De warme lucht werd via kanalen onder de vloer naar de verschillende vertrekken geleid (figuur 1). In sommige moderne installaties wordt ook weer lucht gebruikt. We hebben het dan over *luchtverwarming*.

### De verwarmingsketel

Een normale verwarmingsketel bestaat uit een gasblok, een aantal branders, een warmtewisselaar en een circulatiepomp (figuur 2).

De *circulatiepomp* pompt water door de warmtewisselaar en de radiatoren.



FIG. 1 Romeinse luchtverwarming.

Het *gasblok* regelt de toevoer van het gas. Als er warmte gevraagd wordt, gaat de gasklep open. Er stroomt dan gas uit de branders. Een waakvlam ontsteekt dit gas.

De *branders* en de *warmtewisselaar* zitten bij elkaar in de verbrandingsruimte. De hete verbrandingsgassen stijgen op en stromen door de warmtewisselaar naar de schoorsteen. Daarbij verwarmen deze gassen het water in de buizen van de warmtewisselaar. Met dit warme water worden de kamers verwarmd.

Door het uitstromen van de verbrandingsgassen wordt verse lucht aangezogen. Er is voldoende lucht nodig om te zorgen voor volledige verbranding. In de ruimte waar de ketel staat, moet die lucht aangevoerd kunnen worden.

### Veilig verwarmen

In de verwarmingsketel zit een aantal beveiligingen. Deze beveiligingen moeten gevaarlijke situaties voorkomen.

De waakvlam moet het gas dat uit de branders stroomt ontsteken. Als de waakvlam uit is, mag er geen gas uit de branders kunnen stromen. De waakvlam verwarmt een *thermokoppel*. Als de waakvlam uitgaat, koelt het thermokoppel af. De gasklep wordt dan automatisch gesloten.

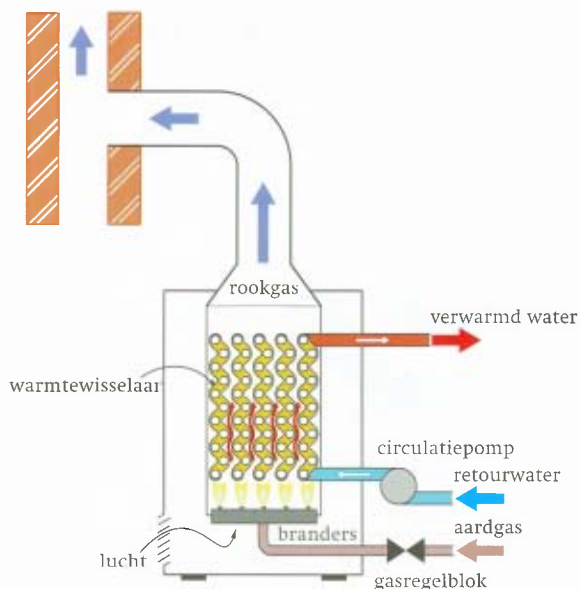


FIG. 2 Een normale verwarmingsketel.

Het is belangrijk dat er steeds voldoende water in de installatie zit. Anders kan de ketel droogkoken en zo uit elkaar springen. Op de *drukmeter* is te zien hoe hoog de druk in de installatie is. Als de druk te laag is, moet er water bijgevuld worden.

Er zijn ook beveiligingen die moeten voorkomen dat de *druk* in de ketel te *hoog* wordt of dat het *water* in de ketel gaat *koken*.

Voor een goede en veilige werking moet de centrale verwarming ieder jaar gecontroleerd worden. Een verwarmingsmonteur maakt dan de branders schoon. Hij controleert bovendien de installatie op lekkage en kijkt of de beveiligingen nog werken.

## Leidingen en radiatoren

Het warme water stroomt vanuit de warmtewisselaar door een buizenstelsel naar de verschillende kamers. In iedere kamer hangen een of meer *radiatoren* (figuur 3). Via de radiatoren geeft het warme water zijn warmte af aan de omringende lucht. Iedere radiator is voorzien van een kraan waarmee deze kan worden afgesloten. In de meeste moderne installaties zijn

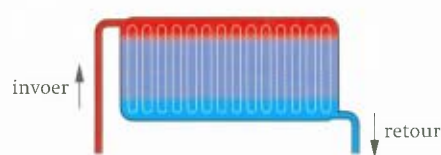


FIG. 3 Leidingen en radiatoren.

dit *thermostaatkranen*. Deze kranen openen en sluiten zich vanzelf als er wel of geen warmte nodig is in de kamer.

De circulatiepomp zit in de leiding die het water terugvoert naar de ketel. In figuur 3 is met rood (warm) en blauw (koud) de temperatuur van het water in de leidingen aangegeven.

In het leidingnet is ook een *expansievat* opgenomen (figuur 4). Als het water warm wordt, zet het uit. Het expansievat voorkomt dat de druk in de leidingen te hoog wordt.

## Samenvatting

Een *centrale verwarming* bestaat uit een *verwarmingsketel*, een *leidingnet* en *radiatoren*.

In de verwarmingsketel zit een *gasblok*, een aantal *branders*, een *warmtewisselaar* en een *circulatiepomp*. In de ketel zit ook een aantal *beveiligingen*. Deze beveiligingen moeten gevaarlijke situaties voorkomen.

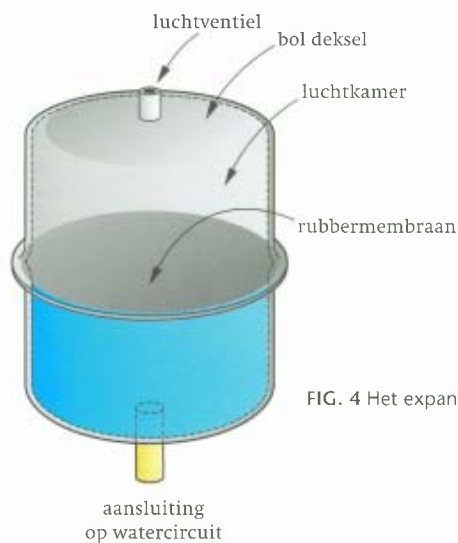


FIG. 4 Het expansievat.

- 1 **a** Noem de vier belangrijkste onderdelen van de verwarmingsketel.  
**b** Leg uit waarvoor ze dienen.
- 2 Welke onderdelen zorgen voor het transport van warmte van de ketel naar de kamer?
- 3 Welke drie beveiligingen zitten in een verwarmingsketel?
- 4 Wat is het verschil tussen een thermostaatkraan en een gewone radiatorkraan?
- 5 Leg uit waarvoor het expansievat dient.
- 6 Waarom moet de verwarmingsketel in een goed geventileerde ruimte staan?

## T2 De temperatuur in huis

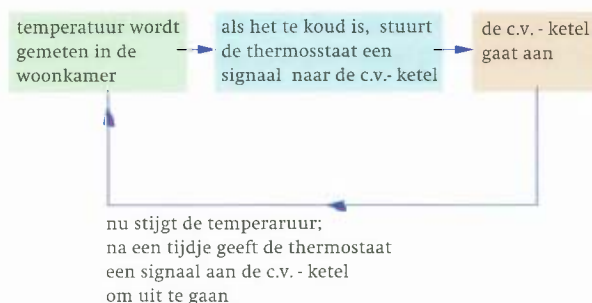


FIG. 5 Een eenvoudige kamerthermostaat.

### Normaal verwarmen

Voor het in- en uitschakelen van de ketel zorgt de *thermostaat*. Die zit meestal in de woonkamer (figuur 5). Op de thermostaat kan de gewenste kamertemperatuur ingesteld worden. De thermostaat meet de kamertemperatuur. Hij vergelijkt deze temperatuur met de gewenste waarde. Komt de gemeten temperatuur onder de gewenste waarde, dan wordt de gasklep geopend. De ketel gaat dan warmte leveren. Wordt de gemeten temperatuur hoger dan de gewenste waarde, dan gaat de gasklep weer dicht. Het verwarmde water blijft dan nog enige tijd warmte afgeven. In figuur 6 is de werking van de verwarmingsinstallatie schematisch weergegeven.

FIG. 6 Schema van de werking van een verwarmingsinstallatie.





## KAMERTHERMOSTAAT

Een eenvoudige kamerthermostaat bestaat uit een bimetaal en een kwikschakelaar (figuur 7). Als de kamertemperatuur stijgt, trekt het bimetaal krom. Bij een bepaalde temperatuur gaat de kwikschakelaar open (figuur 8). Dan wordt de gasklep gesloten.

In een moderne elektronische thermostaat zit een temperatuursensor die een elektrisch signaal afgeeft. Op zo'n thermostaat kunnen verschillende dag- en nachtprogramma's ingesteld worden.

FIG. 7

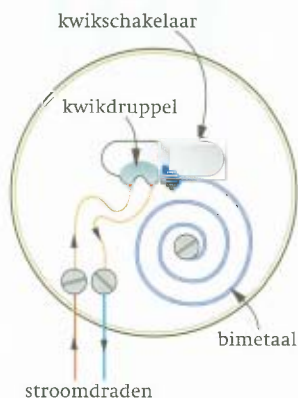
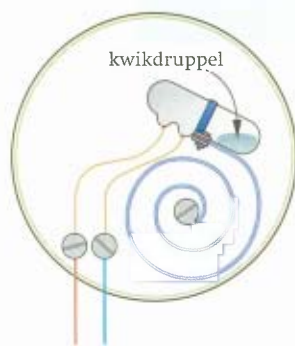
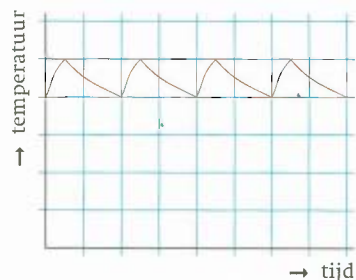


FIG. 8



De ketel zal dus voortdurend in- en uitschakelen. Daardoor zal de kamertemperatuur rond de gewenste waarde schommelen (figuur 9).

FIG. 9 Het verloop van de kamertemperatuur.



## Opwarmen en afkoelen

In de meeste woningen staat de verwarming 's nachts op een lage temperatuur. De ketel brandt dan niet. 's Morgens gaat de ketel aan. De woning moet dan eerst opwarmen. Er gaat dan (per seconde) meer warmte de kamer in dan er uitgaat. De warmtetoevoer is groter dan de warmteafvoer. De temperatuur stijgt. Als de ingestelde temperatuur bereikt is, is toegevoerde warmte gelijk aan de afgevoerde warmte. Als de ketel uit is, daalt de temperatuur. Er verdwijnt warmte uit de kamer.

In figuur 10 zie je hoe de temperatuur 's morgens toeneemt.

De grafiek is geen rechte lijn. Bij een hoge temperatuur in de kamer is het moeilijker om de temperatuur verder te verhogen. Dat komt doordat er bij een hoge temperatuur binnen, meer warmte (per seconde) naar buiten verdwijnt.

Wordt het verschil tussen de temperatuur binnen en buiten groter, dan neemt de afvoer van warmte (per seconde) toe. De toevoer van warmte is constant. Het verschil tussen de toevoer en de afvoer wordt dus steeds kleiner. Als de toegevoerde warmte gelijk is aan de afvoer, is de temperatuur in huis constant en gelijk aan de gewenste temperatuur.

In figuur 10 zie je dat bij een lagere buitentemperatuur het huis langzamer opwarmt. Door het grotere temperatuurverschil is er meer warmteverlies.

FIG. 10 Het verloop van de temperatuur bij het opwarmen; buiten niet zo koud (a) en buiten erg koud (b).

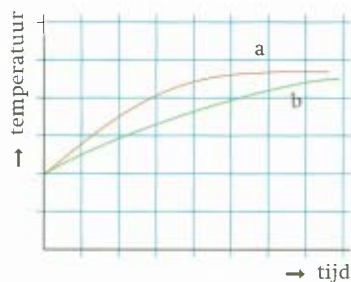




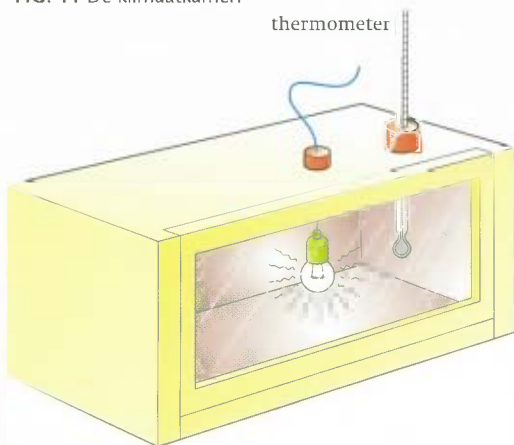
FIG. 12 Verschillende soorten radiatoren: paneelradiator (a), dubbele paneelradiator met lamellen (b), ledenradiator (c).



#### KLIMAATKAMER

Je kunt het verloop van de temperatuur in huis onderzoeken met een eenvoudig model: de *klimaatkamer* (figuur 11). De warmtebron is een gloeilamp. Alle wanden op één na zijn goed geïsoleerd. De ongeïsoleerde wand is verwisselbaar. Deze wand kan van piepschuim, hardboard, zachtboard, enkel glas of dubbelglas zijn. De temperatuur in de klimaatkamer wordt met een computer gemeten.

FIG. 11 De klimaatkamer.



### Ontwerpen van de centrale verwarming

De centrale verwarming wordt ontworpen door een installatiebedrijf. Dit bedrijf moet berekenen hoeveel warmte er nodig is voor het hele huis en in iedere kamer. Bij de berekening van de 'warmtevraag' gaat men uit van een buitentemperatuur van  $-25^{\circ}\text{C}$  en veel wind. De vraag naar warmte hangt onder meer af van de glasoppervlakte, het materiaal van de wanden, de kwaliteit van de isolatie, de ligging van de kamer en waarvoor de kamer gebruikt wordt. Als de warmtevraag berekend is, kan de radiatoroppervlakte, het aantal radiatoren en de soort radiatoren bepaald worden (figuur 12). De vraag van alle vertrekken samen bepaalt het vermogen van de verwarmingsketel.

### Samenvatting

De *thermostaat* zorgt voor het *in- en uitschakelen* van de verwarmingsketel.

Als de ketel *aanslaat*, stijgt de *temperatuur* in de kamer *eerst snel* en daarna *steeds langzamer*. Dat komt doordat er steeds *meer* warmte naar *buiten* verdwijnt.

Als de *toevoer* van warmte *gelijk* is aan de *afvoer* naar buiten, blijft de temperatuur *constant*.

Je kunt het verloop van de temperatuur in huis onderzoeken met een *klimaatkamer*.

- 1 Schets in een diagram het verloop van de temperatuur in huis tijdens het opwarmen in de ochtend. Zet de temperatuur verticaal en de tijd horizontaal.
- 2 Schets in een diagram de temperatuur tijdens het afkoelen 's nachts.
- 3 Verklaar het verloop van de grafieken van figuur 13. Gebruik de begrippen warmtetoevoer en warmteafvoer.
- 4 We zetten een fles cola in de koelkast. De cola wordt geleidelijk kouder.
  - a Schets het verloop van de temperatuur tijdens het afkoelen.
  - b Wat is er waar voor de cola in de koelkast tijdens het afkoelen?
    - 1 Er wordt meer warmte aan de cola toegevoerd dan er wordt afgevoerd.
    - 2 Er wordt evenveel warmte aan de cola toegevoerd als er wordt afgevoerd.
    - 3 Er wordt meer warmte uit de cola afgevoerd dan er wordt toegevoerd.

Geef een toelichting op je antwoord.

- c Wanneer geldt bewering 2?

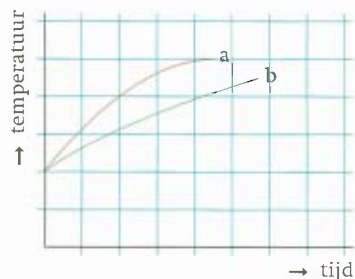


FIG. 13 Het verloop van de temperatuur in een woonkamer onder verschillende omstandigheden (a en b).

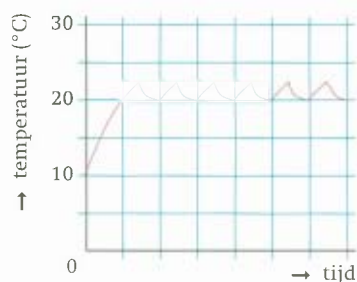


FIG. 14 Het verloop van de temperatuur overdag in huis.

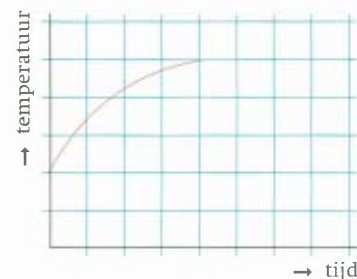


FIG. 15 Het verloop van de temperatuur in een slecht geïsoleerd huis.

- 5 In figuur 14 zie je het verloop van de temperatuur in huis overdag.
  - a Lees uit de figuur af op welke temperatuur de thermostaat ingesteld staat.
  - b Waarom neemt de temperatuur nog toe als de ketel niet meer brandt?
  - c Leg uit waarom de temperatuur niet meteen stijgt als de ketel inschakelt.
  - d Neem (een deel van) de grafiek over en schets in hetzelfde diagram het verloop van de temperatuur als de temperatuur van het ketelwater lager is.
- 6 In figuur 15 zie je het verloop van de temperatuur in een slecht geïsoleerd huis. Neem de grafiek over. Schets in hetzelfde diagram het verloop van de temperatuur als het huis beter geïsoleerd is.
- 7 Bij het berekenen van een centrale verwarming moet men rekening houden met allerlei factoren.
  - a Leg uit waarom bij de berekening de windsnelheid van belang is.
  - b Waarom is de ligging van een kamer belangrijk?
  - c Waarom zal er in een slaapkamer minder warmte nodig zijn dan in de woonkamer?

## T3 Temperatuur meten

### De thermometer

De temperatuur meet je met een *thermometer*. Er zijn verschillende soorten thermometers. De meest gebruikte is de *vloeistofthermometer* (figuur 16). De vloeistofthermometer bestaat uit een vloeistof-reservoir met stijgbuis en een temperatuurschaal. Als de temperatuur stijgt, zet de vloeistof in het reservoir uit. De vloeistof stijgt dan in de stijgbuis.

Je moet een vloeistofthermometer op de juiste manier aflezen. Houd je oog op dezelfde hoogte als het vloeistofpeil. Verkeerd aflezen kan wel 1 °C schelen.

### Graden Celsius

De eenheid van temperatuur is de *graad Celsius* (°C). Celsius ging bij het maken van zijn temperatuurschaal uit van twee vaste waarden (figuur 17). Hij nam als nulpunt de temperatuur van smeltend ijs. De temperatuur van kokend water stelde hij op 100. Het gebied daartussen verdeelde hij in 100 gelijke delen: de graad Celsius.



#### GRADEN FAHRENHEIT

In Engeland en de Verenigde Staten wordt de temperatuur gemeten in *graden Fahrenheit* (°F). De Duitser Daniel Fahrenheit (1686-1736) maakte in 1714 de eerste thermometer die goed af te lezen was. Hij nam als nulpunt de temperatuur van een 'koudmakend' mengsel van ijs, keukenzout en water. Dat was toen de laagste temperatuur die men in een laboratorium kon bereiken. Als tweede vaste punt nam hij de menselijke lichaamstemperatuur. Die stelde hij op 96 °F. Je kunt de temperatuur in graden Celsius omrekenen in graden Fahrenheit en omgekeerd. Er geldt:

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T + 32 (^{\circ}\text{C})$$



FIG. 16 Een vloeistofthermometer.

### Samenvatting

De *temperatuur* meet je met een *thermometer*.

Bij een *vloeistofthermometer* verandert de aanwijzing door *uitzetting* of *inkrimping* van de vloeistof.

De *eenheid* van temperatuur is de graad Celsius: °C.

Celsius ging bij het maken van zijn temperatuurschaal uit van de temperatuur van *smeltend ijs* (0 °C) en *kokend water* (100 °C).

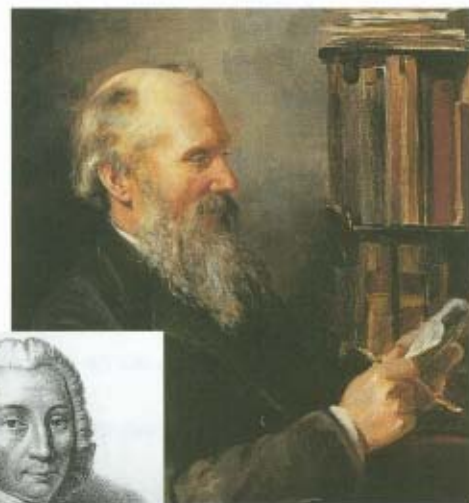


FIG. 18 Lord Kelvin.



FIG. 17 De Zweed Anders Celsius (1701-1744).



#### KELVINSCHAAL

De Engelsman William Thompson (1824-1907) werd in 1892 vanwege zijn bijdrage aan de natuurkunde in de adelstand verheven. Sindsdien werd hij Lord Kelvin genoemd (figuur 18). Kelvin ontwikkelde onder meer een nieuwe temperatuurschaal. Hij ging uit van de schaal van Celsius maar nam een ander nulpunt. Hij nam als nulpunt de *laagst mogelijke temperatuur*. Dat is -273 °C. In de natuur- en scheikunde wordt de temperatuur vaak gegeven in Kelvin. Voor de omrekening naar graden Celsius geldt:

$$T(\text{K}) = T + 273 (^{\circ}\text{C})$$

- 1 **a** Met welk instrument meet je de temperatuur?  
**b** Uit welke onderdelen bestaat dat instrument?  
**c** Leg uit hoe zo'n instrument werkt.
- 2 **a** Welke eenheid van temperatuur gebruiken wij?  
**b** Hoe is deze temperatuurschaal gemaakt?
- 3 **a** Waar vind je bij je thuis thermometers?  
**b** Waarom zijn die daar nodig?
- 4 In figuur 19 zie je een koortsthermometer.  
**a** Wat is het verschil tussen de schaal van een koortsthermometer en de schaal van een gewone thermometer?  
**b** Waarom heeft een koortsthermometer een andere schaal?
- 5 De volgende paragraaf gaat over warmte en temperatuur. Probeer de volgende vragen nu al te beantwoorden.  
**a** Wat is warmte?  
**b** Wat is de eenheid van warmte?  
**c** Neem de volgende zinnen over en vul de ontbrekende woorden in.  
 Als je de .... in je kamer wilt verhogen, moet je .... toevoeren. Door de hogere .... verdwijnt er meer .... naar buiten.



FIG. 19 Een koortsthermometer.

## T4 Temperatuur en warmte

### Warmte

Bij de verbranding van stoffen komt warmte vrij. Een gloeilamp geeft licht en warmte. Ook door wrijving ontstaat warmte. Warmte is een energiesoort. De eenheid van warmte is dus joule (J).

Bij veel processen ontstaat warmte. Vaak is dat de energiesoort die we niet willen hebben.

### Temperatuur en warmte

Temperatuur en warmte zijn niet hetzelfde. Ze hebben wel veel met elkaar te maken. Een pan met een bodempje kokend water heeft dezelfde temperatuur als een pan vol met kokend water. (Beide pannen zijn even warm!). Maar er is meer warmte nodig om een pan vol water aan de kook te brengen dan een pan met een bodempje water. Dat laatste gaat veel sneller. Je moet meer warmte in de volle pan stoppen. In een pan vol met kokend water zit dus meer energie dan in een pan met een bodempje kokend water.



FIG. 20 Sfeervolle kerststerretjes.

Als je de temperatuur van een voorwerp wilt verhogen, moet je warmte toevoeren. Hoeveel warmte er nodig is hangt af van:

- hoeveel je de temperatuur wilt verhogen;
- hoeveel stof je hebt;
- om welke stof het gaat.

De vonken van kerststerretjes zijn ongeveer 800 °C (figuur 20). Toch noemen we dat 'koud vuur'. De vonken hebben wel een hoge temperatuur. Maar ze hebben maar weinig energie, omdat ze zo klein zijn. Ze kunnen dus niet veel warmte afgeven. De kans dat je je brandt is erg klein. Aan een kopje kokend water van 100 °C kun je je wel aardig branden. Daar zit dus veel meer energie in. Ook al is de temperatuur veel lager.

### Samenvatting

*Warmte en temperatuur zijn niet hetzelfde.*

Warmte is *energie*; de *eenheid* van warmte is joule (J).

*Hoeveel warmte* nodig is om iets te verwarmen, hangt af van

- hoeveel je de temperatuur wilt verhogen;
- hoeveel stof je hebt;
- de soort stof.

- 1 a Wat gebeurt er als je een voorwerp verwarmt?  
b Wat gebeurt er als een voorwerp afkoelt?

- 2 Je hebt twee kogels van ijzer; een kleine en een grote. Aan beide kogels voer je evenveel warmte toe.

a Welke kogel krijgt de hoogste temperatuur?

b Licht je antwoord toe.

- 3 Je hebt twee glazen vol met heet water van 70 °C; een klein en een groot glas.

a In welke glas zit de meeste energie?

b Licht je antwoord toe.

- 4 De zonneboiler

Pierre legt een zonnecollector op zijn dak (figuur 21). Hij wil er zonnewarmte mee opvangen. De warmte wil hij gebruiken om water te verwarmen. Het warme water wordt bewaard in een opslagvat. Pierre kan kiezen tussen een opslagvat met veel en een opslagvat met weinig water.

a In welk vat zal de temperatuur na een zonnige dag het hoogst zijn? Licht je antwoord toe.

b Wat is het voordeel van een hoge temperatuur?

c Wat is het nadeel?

FIG. 21 Zonnecollectoren op het dak van een huis.



## 5 Water koken

Water koken kost energie. Hoeveel energie hangt af van de hoeveelheid water en de temperatuurstijging.

Er is 4,2 J nodig om 1 g water 1 °C in temperatuur te verhogen.

**a** Hoeveel energie is er nodig om 100 g 1 °C te verwarmen?

**b** Hoeveel energie is er nodig om 100 g 10 °C te verwarmen?

Je tapt 500 g water van 10 °C uit de kraan.

**c** Bereken de energie die nodig is om dat water aan de kook te brengen.

## BLOK 8 BASISSTOF

# T5 Warmtetransport

## Energie in beweging

Een hete kop koffie wordt vanzelf koud. Blijkbaar verdwijnt de energie uit de kop koffie. De energie gaat naar de kamer. Dat is de omgeving van de koffie. Net zolang tot de temperatuur van de koffie en de omgeving gelijk zijn. Energie kan dus van het ene voorwerp naar het andere gaan; van de ene plaats naar de andere. 'Warmte' is dus een vorm van energie op transport. Warmte gaat immers vanzelf van een voorwerp met een hoge temperatuur naar een voorwerp met een lage temperatuur. Net zolang tot beide voorwerpen dezelfde temperatuur hebben.

Als je een koud voorwerp vastpakt, gaat er warmte van je hand naar het voorwerp. Het voorwerp voelt koud aan. Het onttrekt energie aan je hand. Is het voorwerp warmer dan je hand, dan voelt het warm aan. Er gaat warmte van het voorwerp naar je hand.

Energie kan op verschillende manieren van de ene plaats naar de andere gaan. Je moet twee manieren van 'warmtetransport' kennen:

- geleiding;
- stroming.



### TE VEEL GEZEGD

Eigenlijk is 'warmtetransport' dubbel op. Warmte is al een vorm van energie op transport.

## Geleiding

We houden een metalen pook met één kant in het vuur. De andere kant wordt dan na enige tijd ook gloeiend heet. Er is sprake van warmtetransport door *geleiding*.

Een vaste stof kan energie doorgeven. Bij geleiding spelen molekulen een rol. De molekulen geven de energie aan elkaar door. De molekulen zitten op vaste plaatsen. Ze verplaatsen zich niet. Alleen de energie verplaatst zich (figuur 22).

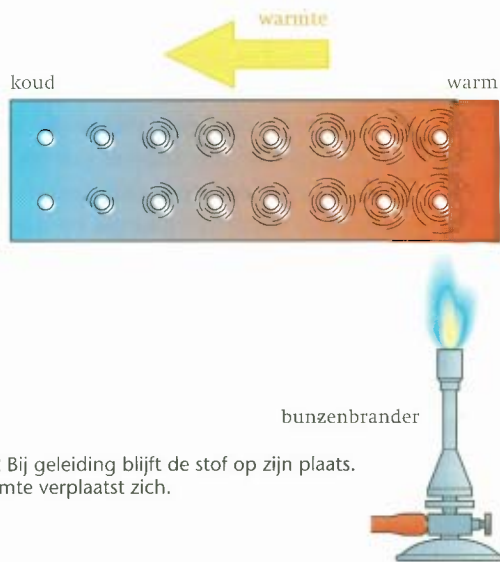


FIG. 22 Bij geleiding blijft de stof op zijn plaats. De warmte verplaatst zich.

Hoe snel de warmte zich verplaatst, hangt af van het temperatuurverschil en de soort stof. Als het temperatuurverschil groter is, zal er meer en sneller energie opgenomen of afgestaan worden. In de winter verliest een huis 's nachts meer energie dan overdag. Er zijn stoffen, die warmte goed geleiden. Deze stoffen noemen we *warmtegeleiders*. Voorbeelden zijn metalen zoals ijzer, messing, koper, goud, zilver, enzovoort. Andere stoffen geleiden de warmte slecht. Dit zijn *isolatoren*. Voorbeelden van isolatoren zijn lucht, hout, papier, textiel, kunststoffen, enzovoort.

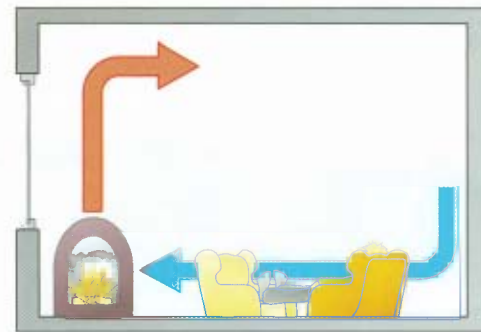


FIG. 23 Bij stroming neemt de stof de energie mee.

## Stroming

De warme lucht boven een radiator van de centrale verwarming stijgt op. Zo wordt het ook boven in de kamer warm. Er is dan sprake van warmtetransport door *stroming*. De energie gaat met de stof mee. Stroming kan dus alleen optreden in gassen en in vloeistoffen.

De warme lucht boven de radiator stijgt vanzelf op. Lucht die verwarmd wordt, zet uit. De lucht wordt lichter (figuur 23).



## STRALING

Er is nog een derde manier van warmtetransport: *straling*.

Als je je hand boven de radiator houdt, voel je de warme lucht opstijgen. Als je je hand vóór de verwarming houdt, voel je ook warmte. Dat kan niet door stroming zijn. De warme lucht stijgt op. Het kan ook niet door geleiding zijn. Lucht is een slechte geleider! Blijkbaar kan warmte nog op een andere manier doorgegeven worden.

De energie van de zon komt door het heelal bij ons. In het heelal zit geen stof die de warmte kan doorgeven. De zon straalt warmte uit net als licht. Voor straling is geen tussenstof nodig. Straling gaat, net als het licht, door de lege ruimte (figuur 24).

## De thermosfles

Hete koffie blijft in een thermosfles lang warm. Een thermosfles is zo gemaakt dat de warmte maar langzaam ontsnapt (figuur 25).

De dop op de fles voorkomt stroming. De lucht boven de koffie kan niet weg.

De fles is dubbelwandig. Tussen de wanden is het bijna luchtledig. De warmte kan dus moeilijk via de wanden verdwijnen. Er is bijna geen geleiding door en ook weinig stroming tussen de wanden.

## Samenvatting

Warmte kan van de ene naar de andere plaats; warmte kan *bewegen*.

Dat kan door *geleiding* en door *stroming*.

Bij geleiding *beweegt* de warmte *door de stof*, terwijl de stof op zijn plaats blijft.

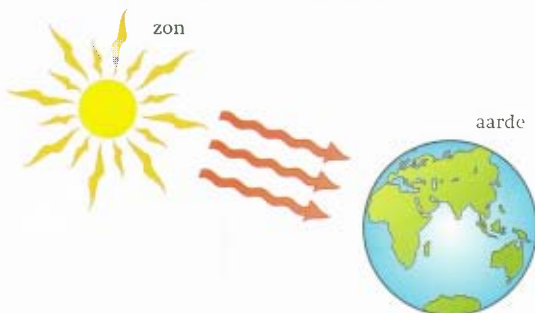
Er zijn stoffen die de warmte goed geleiden (*geleiders*) en stoffen die de warmte slecht geleiden (*isolatoren*).

Bij stroming *beweegt de stof* en neemt zo de warmte mee.

Stroming kan dus optreden in *vloeistoffen* en *gassen*.

Bij een *thermosfles* kan de warmte niet naar buiten en niet naar binnen. Hij is zo gemaakt dat er geen geleiding en stroming van warmte is.

FIG. 24 Door straling komt energie van de zon op aarde.

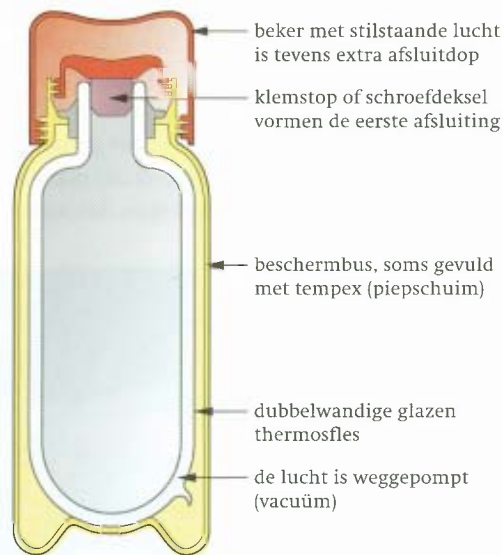


## THERMOSFLES VOOR ZEER KOUDE VLOEISTOFFEN

Als je in een thermosfles hete koffie wilt bewaren, dan moet er een deksel op de fles zitten. De warme lucht boven de koffie stijgt immers op en neemt zo de warmte van de koffie mee.

Om koude vloeistoffen te bewaren heb je geen deksel nodig. De koude lucht boven de vloeistof zelf isoleert prima. Het is zelfs gevaarlijk om een thermosfles met een koude vloeistof af te sluiten. De vloeistof in de fles verdampt immers. Daardoor zou de druk onder het deksel zo groot kunnen worden dat de fles uit elkaar spat. Vloeibare stikstof ( $-77\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) wordt daarom altijd in een open thermosfles vervoerd.

FIG. 25 Een thermosfles.



- 1 **a** Welke twee manieren van warmtetransport ken je?  
**b** Leg voor iedere manier uit hoe de warmte zich verplaatst.  
**c** Geef van iedere manier een voorbeeld.
- 2 Een stuk hout en een stuk messing liggen beide lange tijd op een hete radiator.  
**a** Wat weet je van de temperatuur van beide voorwerpen?  
 Je pakt beide voorwerpen op.  
**b** Welk stuk voelt het heetst aan?  
**c** Leg uit hoe dat komt.
- 3 Als het koud is voelt het stuur kouder aan dan de handvatten.  
**a** Van welk materiaal is het stuur gemaakt? Van welk materiaal zijn de handvatten gemaakt?  
**b** Bedenk twee redenen waarom dat zo gekozen is.



FIG. 26 Warmbloedige dieren met een vacht.

- 4 Warmbloedige dieren hebben veren of een vacht (figuur 26).

**a** Waarom hebben deze dieren een vacht nodig?

**b** Leg uit welke manieren van warmtetransport door veren of een vacht worden beperkt?

- 5 Als je een bekglas verwarmt met een bunzenbrander, moet je het glas op een koperen gaasje zetten (figuur 27).

**a** Waarom springt het bekglas als je het zonder gaasje verwarmt?

**b** Door welke eigenschap van het gaasje kun je het bekglas op een gaasje wél verwarmen?

FIG. 27 Water verwarmen in een bekglas hoort op een koper-gaasje.



FIG. 28 Een radiator in de woonkamer.

## T6 Even warm met minder energie

- 6 Vaak wordt in huis de radiator onder het raam geplaatst (figuur 28).
- a** Waarom zou men dit doen?
- b** Neem figuur 28 over. Teken in de figuur een vensterbank en gordijnen zó dat de warmte van de radiator zo goed mogelijk benut wordt.
- c** Waarom is het in een verwarmde kamer bij het plafond altijd warmer dan bij de grond?
- 7 Frisdrank blijft in een thermosfles langer koud. Leg uit hoe dat komt.
- 8 Warmte gaat vanzelf van een voorwerp met een hoge temperatuur naar een voorwerp met een lage temperatuur.
- a** Welke apparaten in huis maken daar gebruik van?
- Soms wil je juist warmte van lage naar hoge temperatuur brengen.
- b** Welk apparaat in huis doet dat?
- c** Gaat dat vanzelf? Licht je antwoord toe.

Het verwarmen van woningen kost veel energie. In figuur 29 zie je dat driekwart van het energiegebruik thuis nodig is voor ruimteverwarming.

FIG. 29 De verdeling van het energiegebruik thuis.

toepassing	aandeel in %
ruimteverwarming	75
warmwaterbereiding	8
koken	4
verlichting	4
huishoudelijke apparaten	7
audio/video-apparatuur	2

Aan energiegebruik zitten veel nadelen.

Energie is duur. Veel energie gebruiken kost dus veel geld.

De voorraad fossiele brandstoffen is beperkt. Door veel energie te gebruiken raken de voorraden sneller uitgeput.

Bij de verbranding komen stoffen vrij die slecht zijn voor het milieu. Het milieu wordt vervuild.

Er zijn dus genoeg redenen om zuinig te zijn met energie. Gelukkig zijn er veel mogelijkheden om dat te doen.

### Andere gewoonten

Als je in de winter vanuit de koude naar binnen gaat, vind je het binnen al snel warm. Omgekeerd als je van de warmte binnen naar buiten gaat, lijkt het buiten soms erg koud. Je went aan de temperatuur. Sommige mensen leven bij een temperatuur van 25 °C in huis. Anderen hebben de thermostaat op 18 °C staan. Door de thermostaat een graad (of meer) lager in te stellen kan veel energie bespaard worden. Bij een lagere binnentemperatuur verdwijnt er minder warmte naar buiten. Een temperatuur van 20 °C is voor veel mensen prima.

Als je het te warm hebt, zet dan geen ramen open maar stel de thermostaat een graadje lager in. Heb je het te koud, trek dan een trui aan.

Draai de kranen van de radiatoren (bijna) dicht in ruimtes waar je toch niet komt.

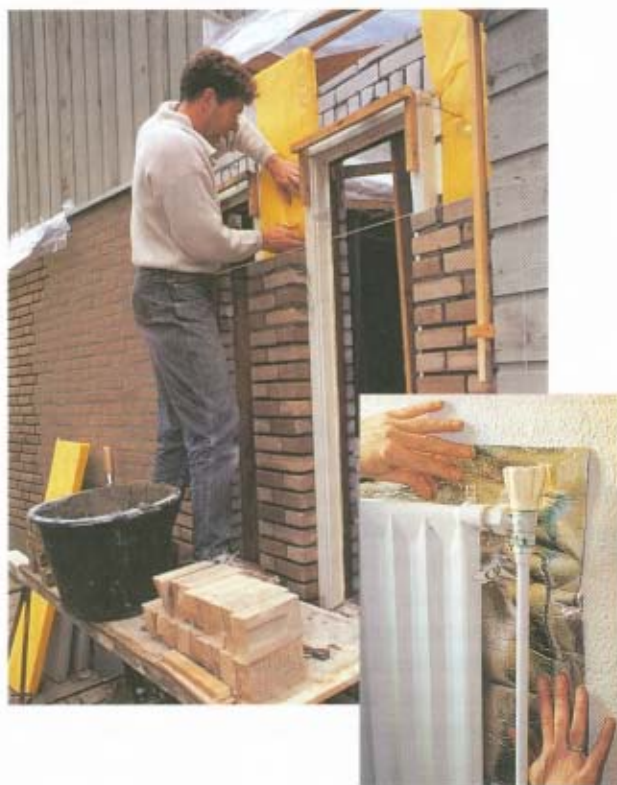
Draai de thermostaat omlaag als je geen warmte nodig hebt. Bijvoorbeeld 's nachts als iedereen naar bed is. Maar ook als er niemand thuis is.

Het voordeel van al deze maatregelen is dat ze geen geld kosten en toch energie (= geld) besparen!

## Isoleren

Je kunt ook energie besparen door het huis te isoleren. Daardoor is er minder warmtetransport naar buiten. Er is dan minder energie nodig om het huis op temperatuur te houden.

FIG. 30 Isolatiemateriaal in de spouw.



Door het dichten van kieren met PUR-schuim en het aanbrengen van tochtstrippen is er minder stroming. Isolatiemateriaal in de spouw, op dakplaten en onder de vloer heeft hetzelfde effect (figuur 30). De meeste isolerende materialen als glaswol, steenwol, PUR-schuim en polystyreen isoleren, omdat ze lucht in kleine ruimtes vasthouden. De lucht kan niet bewegen. Er is dus geen stroming.



## GEÏSOLEERDE SPOUWMUREN

Vroeger bouwde men huizen met eensteensmuren. Deze muren isoleerden slecht. Steen is een slechte geleider. Maar steen is wel poreus. De warmte verdween door stroming van binnen naar buiten. Nog vervelender was dat het water door de muur van buiten naar binnen kwam. Bij regenachtig weer was de binnenzijde van de muur aan de kant waar de wind vandaan kwam vaak kletsnat. Door het aanbrengen van een luchtspouw tussen twee halfsteensmuren kon de vochtigheid in huis beperkt worden. Een bijkomend voordeel was dat er ook minder warmte naar buiten verdween. Het opnemen van isolatiemateriaal in de spouw zorgt voor extra isolatie. Door het isolatiemateriaal wordt stroming van de lucht in de spouw voorkomen.

De isolerende werking van dubbelglas is te vergelijken met die van de spouwmuur. Glas op zich is al een slechte geleider. Door de luchtlaag tussen de glasplaten is er bijna geen warmtetransport door geleiding. Alleen door stroming kan de warmte van de ene glasplaat naar de andere.

Aluminiumfolie tegen de wand achter een radiator kaatst de warmte weer terug de kamer in. Een laagje isolatiemateriaal achter het folie voorkomt dat het aluminium zelf warmte naar buiten brengt (figuur 31).

FIG. 31 Radiatorfolie.

## Zuiniger stoken

Een verwarmingsketel zet chemische energie, aanwezig in de brandstof, door verbranding om in warmte. Een deel van die warmte wordt overgedragen aan het water. De rest verdwijnt met de hete verbrandingsgassen door de schoorsteen naar buiten. Een ouderwetse verwarmingsketel geeft 70% van de warmte aan het water. Moderne ketels hebben een verhoogd of een hoog *rendement*. Deze ketels gaan zuiniger om met energie. Ze zijn zo gemaakt dat er meer warmte wordt overgedragen aan het water. Een *HR-ketel* geeft 90% van de warmte aan het water.



### HR-KETEL

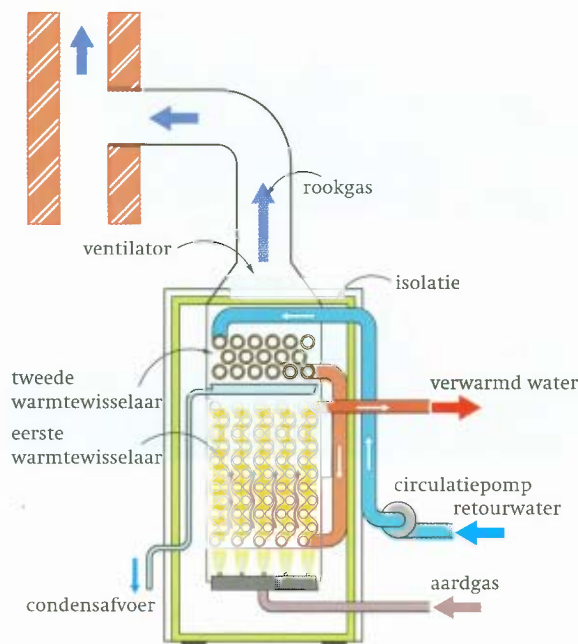
Bij een HR-ketel worden de verbrandingsgassen door een tweede warmtewisselaar gestuurd (figuur 32). De verbrandingsgassen koelen daardoor zó sterk af dat de waterdamp in de verbrandingsgassen condenseert. Zo komt er extra warmte vrij. De verbrandingsgassen zijn nu zó koud geworden dat ze niet meer vanzelf naar buiten stromen. Er is een ventilator nodig om de gassen naar buiten te blazen. Ook moet het condenswater afgevoerd worden.

Door het installeren van een HR-ketel kan het gasverbruik flink verlaagd worden. Ook andere technische middelen kunnen daaraan bijdragen. Denk aan een elektronische kamerthermostaat en thermostaatkranen op alle radiatoren. Met thermostaatkranen kun je de gewenste (lage) temperatuur in alle kamers nauwkeurig instellen.

FIG. 33 Het jaarlijks gasverbruik voor de verwarming van een hoekwoning bij verschillende energiebesparende maatregelen.

energiebesparende maatregelen	gasverbruik voor verwarmen in m <sup>3</sup>
niet-geïsoleerd en met ouderwetse ketel	3300
na isolatie en tochtwering	1500
na isolatie, tochtwering en verbeterde ketel	1250
na isolatie, tochtwering en HR-ketel	1100
nieuwbouw met goede isolatie, HR-ketel en warmte-terugwinning	850

FIG. 32 Een schematische tekening van een HR-ketel.



In de tabel van figuur 33 zie je dat door het aanbrengen van isolatie en het installeren van een HR-ketel het energiegebruik voor verwarming tot ongeveer één-derde deel teruggebracht kan worden.

Bij nieuwbouw kan het gasverbruik verder beperkt worden door slim te bouwen (figuur 34). Denk aan kleine ramen op het zuiden die wel de zonnewarmte binnenlaten (passieve zonne-energie) maar weinig warmte doorgeven naar buiten. Denk ook aan de indeling van het huis en de grootte van de kamers.

*Warmteterugwinning* is mogelijk als er in huis een ventilatiesysteem is aangebracht. De (warme) lucht die naar buiten wordt afgevoerd, wordt gebruikt om de (koude) lucht die het huis ingaat vóór te verwarmen. Energiebesparing door aanbrengen van isolatie en technische hulpmiddelen kost geld. Als bekend is hoe groot de besparing is, kan berekend worden in hoeveel jaar de investering wordt terugverdiend.

FIG. 34 Een energiezuinig huis.



### Samenvatting

Voor het *verwarmen* van huizen en gebouwen is *veel energie* nodig.

Veel energie gebruiken is *slecht* voor het *milieu*.

Energievoorraden raken snel op (uitputting); er komen veel verontreinigende stoffen in het milieu (vervuiling).

We kunnen het *energiegebruik* voor verwarmen *beperken* door andere stookgewoonten, isoleren en zuiniger stoken.



FIG. 35 Energiebesparing, bah! Geef mij maar de zuidpool!

- 1
  - a Noem drie redenen waarom je zuinig moet zijn met energie.
  - b Hoe zou jij energie kunnen besparen?
  - c Doe je dat ook? Zo nee, waarom niet?
- 2 Geef voor onderstaande maatregelen aan welke vorm (of vormen) van warmtetransport voorkomen wordt(en).
  - a dubbele beglazing;
  - b spouwmuur-isolatie;
  - c vloer-isolatie;
  - d radiatorfolie achter de verwarming;
  - e voorzetramen;
  - f tochtstrip.
- 3 Maatregelen om het gasverbruik te beperken zijn in te delen in drie groepen.
  - a Welke drie groepen zijn dat?
  - b Welke maatregelen (uit welke groep) vind jij het best en waarom?
  - c Leg uit waarom glaswol en piepschuim goed isoleren.

# H1 Begrippen uit dit blok

Deze herhaalstof gaat over de belangrijkste begrippen uit dit blok. Bij ieder begrip staat aangegeven in welke paragraaf je het bent tegengekomen.

1 Neem de begrippen over. Leg voor elk begrip uit wat ermee bedoeld wordt.

- 1 centrale verwarming (PTW1 en PTW6) .....
- 2 thermostaat (PTW1 en PTW6) .....
- 3 radiator (PTW1 en PTW6) .....
- 4 HR-ketel (PTW6) .....
- 5 temperatuur (PTW3 en PTW4) .....
- 6 thermometer (PTW3 en PTW4) .....
- 7 warmte (PTW4) .....
- 8 warmtetransport (PTW5) .....
- 9 geleiding (PTW5) .....
- 10 stroming (PTW5) .....
- 11 isolatie (PTW5 en PTW6) .....
- 12 thermosfles (PTW5) .....

Probeer onderstaande vragen te beantwoorden. Als je de antwoorden niet weet, lees dan de desbetreffende paragraaf nog eens door.

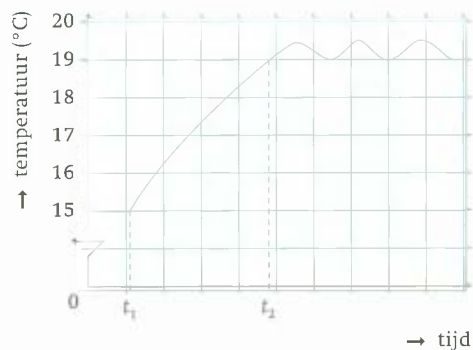
- 2 a Uit welke onderdelen bestaat de centrale verwarming?  
b Geef voor elk onderdeel aan waar het voor dient.  
c Waarom moeten radiatoren heet zijn tijdens het verwarmen?  
d Waarom moeten radiatoren van metaal zijn?  
e Waarom hebben radiatoren zo'n grote oppervlakte?  
f Waarom kun je de verwarmingsbuizen in ruimtes die niet verwarmd hoeven te worden, het best isoleren?

- 4 Uit de tabel van figuur 33 blijkt dat alleen al door het isoleren van de woning het jaarlijks gasverbruik daalt met 1800 m<sup>3</sup>. De prijs van 1 m<sup>3</sup> aardgas is 50 cent.  
a Bereken hoeveel geld er zó ieder jaar op het gasverbruik bespaard wordt.  
Het isoleren van de woning heeft 12 000 gulden gekost.  
b Bereken in hoeveel jaar deze investering wordt terugverdiend.
- 5 Een HR-ketel geeft 90% van de warmte aan het water.  
a Welke energie-omzetting heeft er plaats in een verwarmingsketel?  
b Waarom kan een ketel nooit alle warmte aan het water afgeven?  
c Leg uit waarom een HR-ketel meer warmte afgeeft aan het water dan een gewone ketel.
- 6 De familie Koot heeft een ouderwetse verwarmingsketel. De ketel geeft 70% van de warmte af aan het water. De familie verbruikt per jaar 3000 m<sup>3</sup> aardgas voor verwarming.  
a Bereken het gasverbruik van de familie Koot als de ketel alle warmte af zou geven aan het water.  
b Laat door berekening zien dat het gasverbruik van de familie Koot daalt tot 2333 m<sup>3</sup> als de ketel wordt vervangen door een HR-ketel. De HR-ketel geeft 90% van de warmte aan het water.  
Een HR-ketel is 1500 gulden duurder dan een gewone ketel. De prijs van 1 m<sup>3</sup> aardgas is 50 cent.  
c Bereken in hoeveel jaar de extra investering wordt terugverdiend.  
Minder gas verbruiken kost minder geld.  
d Noem twee andere voordelen van een lager gasverbruik.

## H2 Waar hangt warmte-transport vanaf?

- 3 In figuur 36 zie je dat op  $t_1$  de verwarming aangaat. Op  $t_2$  schakelt de thermostaat de verwarming uit.
- Op welke temperatuur staat de thermostaat ingesteld?
  - Waarom wordt het na  $t_1$  niet meteen warmer in de kamer?
  - Waarom wordt het na  $t_2$  eerst nog warmer in de kamer?
  - Waarom loopt de grafiek tussen  $t_1$  en  $t_2$  krom? Neem het diagram over in je schrift.
  - Teken in het diagram het verloop van de temperatuur bij een lagere buitentemperatuur.
  - Teken in het diagram met een andere kleur het verloop van de temperatuur als het huis beter geïsoleerd wordt.

FIG. 36 Het verloop van de temperatuur.



- Leg uit dat je door isoleren minder warmte nodig hebt om het huis op een behaaglijke temperatuur te houden.
  - Leg uit dat minder warmte nodig is om een huis te verwarmen als de kamerthermostaat een graadje lager staat.
  - Leg uit dat door isolatie het energiegebruik afneemt.
- Welke manier van isoleren beperkt warmte-verlies door geleiding?
  - Door welke manier van isoleren wordt warmte-verlies door stroming tegengegaan?

Warmte is energie die zich verplaatst. Warmte gaat vanzelf van een plaats met een hoge temperatuur naar een plaats met een lage temperatuur.

- Welke twee manieren van warmtetransport ken je?
  - Wat is de overeenkomst tussen beide manieren van warmtetransport?
  - Wat is het verschil tussen beide manieren?
  - Waarom kan er in een vaste stof geen sprake zijn van stroming?
  - Dieren met een vacht kunnen goed tegen de kou. Hoe komt dat?
  - Dieren met een vacht zullen zoveel mogelijk uit de wind gaan staan. Waarom doen ze dat?

Figuur 37 geeft een overzicht van de manieren van warmtetransport. Controleer of de antwoorden op de vragen 1a tot en met 1f goed zijn.

### Geleiding

Geleiding treedt op in vaste stoffen. Er zijn stoffen die de warmte goed geleiden (geleiders) en stoffen die de warmte slecht geleiden (isolatoren).

Met een klimaatkamer kun je onderzoeken of een stof goed of slecht geleidt (figuur 38).

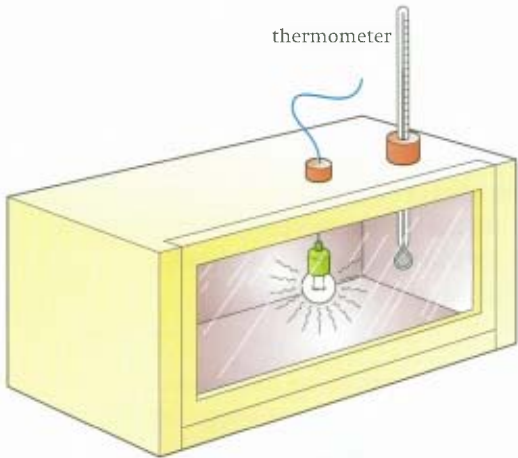
In de tabel van figuur 39 is voor verschillende materialen aangegeven hoeveel de temperatuur in 5 minuten daalt.

- Beschrijf een experiment met de klimaatkamer waarbij je de isolerende werking van verschillende materialen eerlijk vergelijkt.
  - Welke materialen uit de tabel zijn isolatoren en welke zijn geleiders?
  - Waarom zijn glaswol en tempex zulke goede isolatoren?
  - Van welke factoren hangt de temperatuurdaling in de klimaatkamer af?

FIG. 37 Overzicht van de manieren van warmtetransport.

warmtetransport door	geleiding	stroming
wat doen de molekulen?	de molekulen geven energie door	de molekulen verplaatsen zich
gebeurt in	vaste stof	vloeistof en gas
afhankelijk van	soort stof, afstand, temperatuurverschil	soort stof, temperatuurverschil

FIG. 38 De klimaatkamer. De lamp brengt de kamer op temperatuur. Met de thermometer wordt de temperatuur gemeten. In de voorwand kunnen wanden van verschillend materiaal geplaatst worden.



**Stroming**

Bij stroming beweegt de stof. De stof neemt de warmte mee. Stroming kan alleen in gasen en vloeistoffen. Bij verwarming van gasen en vloeistoffen ontstaat vanzelf stroming. Een stof die verwarmd wordt, zet uit. Daardoor wordt de dichtheid kleiner. De warme stof stijgt op. Er komt koude stof voor in de plaats.

In figuur 40 zie je een kamer met radiator.

- 3 a Neem figuur 40 over en geef in je tekening de stroming van de lucht in de kamer aan.
- b Schets een grafiek die het verloop de temperatuur weergeeft vanaf de vloer tot het plafond.

FIG. 39 Metingen met de klimaatkamer.

materiaal	temperatuurdaling (°C)
baksteen	2
beton	5
enkel glas	3,5
dubbelglas	0,5
hout	2
ijzer	12
glaswol	0,7
koper	15
tempex	0,8
zink	13

FIG. 40 De plaats van de radiator in een kamer.



- In figuur 41 zie je een aquarium met de verwarming op de verkeerde plaats.
- c Neem figuur 41 over en geef in je tekening de stroming aan.
  - d Waarom zal het water op de bodem niet warm worden?
  - e Waarom moet in een aquarium het verwarmings-element onderaan geplaatst worden?

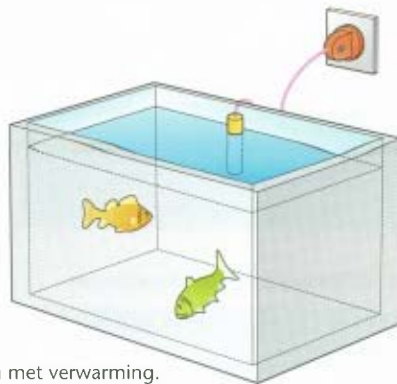


FIG. 41 Een aquarium met verwarming.

Als je koffie in een thermosfles een tijdje laat staan, dan is het eerste kopje dat je schenkt nog verrassend heet. Het tweede kopje dat je meteen daarna schenkt is een stuk koeler.

**4 a** Hoe zou dat komen?

Doe je koude koffiemelk in hete koffie, dan zinkt de koffiemelk naar de bodem.

**b** Leg uit hoe dat komt.

**c** Hoe kun je er (zonder te roeren) voor zorgen dat de koffiemelk overal komt?

In de winter, met de verwarming aan, is het bovenin de kamer warmer dan bij de vloer.

**5 a** Leg uit hoe dat komt.

Bij vloerverwarming heb je daar veel minder last van.

**b** Leg uit waarom een kamer met vloerverwarming gelijkmatiger verwarmd wordt.

In de zomer wordt een diep meer verwarmd door de zon.

**6 a** Leg uit dat het water op de bodem altijd koud zal blijven.

**b** Leg uit dat niet alleen het water aan het oppervlak van het meer verwarmd wordt, maar ook het water daaronder.

**c** Waarom wordt aan het strand het bovenste zand wel heel heet en het zand daaronder niet?

## BLOK 8 EXTRASTOF

### E1 Warm water maken

Peter is arts in Kenya. Hij heeft een tekort aan brandstof en vraagt om raad. Hier volgt een fragment uit zijn brief.

Er is hier een groot tekort aan brandstof. Er is bijna geen gas of benzine te krijgen. Brandhout moet te voet en van ver gehaald worden (figuur 42). We moeten hier dus zuinig zijn met energie. Nu vraag ik me af hoe we het best warm water kunnen maken.

Moeten we het water dat we nodig hebben op het vuur zetten en warm laten worden? Of kunnen we beter minder water nemen, dat aan de kook brengen en dan koud water toevoegen? Waar is de minste energie voor nodig? Kun je me een advies geven?

FIG. 42 Brandhout moet van ver aangevoerd worden.



Jij moet Peter dat advies geven. Je moet gaan onderzoeken hoe je met zo min mogelijk energie warm water van 50 °C kunt krijgen.

**1** Beredeneer eerst of 1 liter water van 100 °C gemengd met 1 liter water van 20 °C 2 liter water van 60 °C oplevert.

## E2 Rekenen aan de centrale verwarming

- 2 Wanneer zal de meeste energie verloren gaan; is dat bij het aan de kook brengen van 1 liter water of bij het verwarmen van 2 liter water tot 60 °C? Waar hangt het warmteverlies van af?
- 3 Bedenk een proef waarmee je de antwoorden op beide vragen kunt controleren. Wat heb je nodig en hoe pak je het onderzoek aan?

Je hoeft de toegevoerde warmte niet te berekenen. Je kunt ook meten hoe lang je iets verwarmt en de tijden vergelijken. Hoe langer je verwarmt, hoe meer energie je erin stopt.

- 4 Maak een onderzoeksplan. Bespreek dit met je docent.
- 5 Voer de metingen uit.
- 6 Maak een duidelijk verslag van je bevindingen. In het verslag moet komen:
  - een korte beschrijving van je proef;
  - het resultaat van je metingen;
  - de conclusie uit je proef.
- 7 Schrijf een brief waarin je antwoord geeft op de vraag van Peter. Geef in je brief ook een aantal tips om met zo min mogelijk energie warm water te maken.

Een ander fragment uit de brief van Peter:

\*\*\*\*  
 Trouwens, af en toe gebruiken we ook een jiko. Dat is een houtskoolvuurtje. Daarmee besparen we gas en het werkt heel aardig.  
 \*\*\*\*

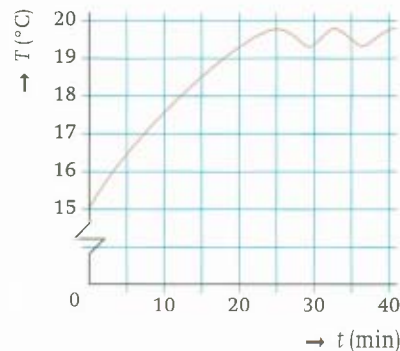
Het bedrijf dat een centrale-verwarmingsinstallatie aanlegt, moet de installatie eerst berekenen. De warmte die de verwarmingsketel moet leveren, hangt af van de indeling, de ligging en de isolatie van het huis.

In het ideale geval verdwijnt er geen warmte uit het huis. De centrale verwarming hoeft het huis dan alleen op temperatuur te brengen. De warmte die daarvoor nodig is, hangt af van het volume van het huis en de spullen die erin staan. Met de *warmtecapaciteit* van een huis bedoelen we de warmte die nodig is om het huis 1 °C op te warmen. We hebben het dan over het huis met alles erop en eraan. We kunnen ook praten over de warmtecapaciteit van een kamer met of zonder meubelen.

- 1 a Wat wordt er zoal verwarmd in een lege kamer?  
 b Beredeneer dat er meer energie nodig om een gemeubileerde kamer te verwarmen dan een lege kamer.  
 c Wat zal de eenheid van warmtecapaciteit zijn?

De grafiek in figuur 43 toont het verloop van de temperatuur bij het opwarmen van een huis.

FIG. 43 Het verloop van de temperatuur bij het opwarmen van een huis.



- 2 **a** Hoe komt het dat de grafiek krom loopt?  
**b** Hoe zou de grafiek lopen als er geen warmte uit het huis verdween?  
**c** Bepaal uit figuur 43 de temperatuurstijging per minuut als er geen warmteverlies zou zijn.

De verwarmingsketel leverde tijdens het opwarmen een vermogen van 15 kW.

- 3 **a** Bereken de warmte die de ketel per minuut levert.  
**b** Bepaal uit de toegevoerde warmte per minuut en de temperatuurstijging per minuut de warmtecapaciteit van het huis.
- 4 Bepaal de warmtecapaciteit van de klimaatkamer uit P1 uit het verloop van de temperatuur (zie figuur 3 van P1).

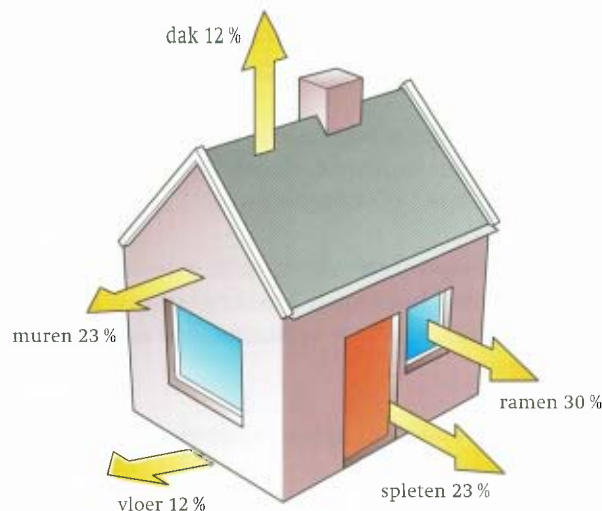
De warmtecapaciteit van het huis speelt bij het bepalen van het vermogen van de centrale verwarming (ketel en radiatoren) maar een kleine rol. Het warmteverlies is van veel groter belang.

- 5 Neem figuur 43 over en schets hierin de grafiek van een huis met:  
**a** dezelfde centrale verwarming maar met een grotere warmtecapaciteit;  
**b** dezelfde centrale verwarming maar slechter geïsoleerd.

De warmte die een huis per seconde verliest, hangt af van:

- het temperatuurverschil tussen binnen en buiten;
- de totale oppervlakte aan buitenmuren, ramen, dak en vloer;
- de warmte die 1 m<sup>2</sup> oppervlak doorlaat per °C temperatuurverschil.

FIG. 44 Warmteverliezen in procenten van het totaal.



In figuur 44 zie je via welke wegen de warmte een huis kan verlaten. Voor elke weg is het warmteverlies uitgedrukt in procenten van het totale verlies.

Door iedere vierkante meter enkel glas verdwijnt per seconde 6 J als het temperatuurverschil tussen binnen en buiten 1 °C is. Bij dubbelglas is dat maar 3 J.

In de tabel van figuur 46 vind je het warmteverlies per seconde voor verschillende materialen; steeds voor 1 m<sup>2</sup> oppervlak bij een temperatuurverschil van 1 °C tussen binnen en buiten.

FIG. 45 Het warmteverlies in J per s voor verschillende materialen (voor 1 m<sup>2</sup> oppervlakte bij een temperatuurverschil van 1 °C).

materiaal	warmteverlies in J per s
enkel glas	6,0
dubbelglas	3,0
spouwmuur (niet geïsoleerd)	1,8
spouwmuur (geïsoleerd)	0,8
pannendak (niet geïsoleerd)	2,0
pannendak (geïsoleerd)	0,6
betonvloer (niet geïsoleerd)	1,5
betonvloer (geïsoleerd)	0,9

## Oefenvragen en opgaven

Het uitrekenen van het totale warmteverlies per seconde van een huis gaat in stappen.  
Bepaal eerst welke materialen gebruikt zijn voor de ramen, de buitenmuren, het dak en de vloer. In de tabel vind je dan hoe groot het warmteverlies per seconde is voor  $1 \text{ m}^2$  van dat materiaal bij een temperatuurverschil van  $1^\circ\text{C}$ .  
Bepaal daarna de totale oppervlakte aan ramen, buitenmuren, dak en vloer.  
Je kunt dan uitrekenen hoeveel warmte er door de ramen, de buitenmuren, het dak en de vloer naar buiten verdwijnt bij een temperatuurverschil van  $1^\circ\text{C}$ .  
Tenslotte bereken je het totale warmteverlies per seconde bij een temperatuurverschil van  $45^\circ\text{C}$  (binnen  $20^\circ\text{C}$  en buiten  $-25^\circ\text{C}$ ).

- 6 a** Bereken het warmteverlies per seconde van een vrijstaand huis met:
- $17 \text{ m}^2$  dubbelglas;
  - $110 \text{ m}^2$  geïsoleerde spouwmuur;
  - $100 \text{ m}^2$  geïsoleerd pannendak;
  - $70 \text{ m}^2$  geïsoleerde betonvloer.
- b** Hoe groot zou jij het vermogen van de te installeren verwarmingsketel minstens kiezen? Licht je antwoord toe.

### 1 Verwarmen

's Ochtends om half acht schakelt de verwarmingsketel in. Tijdens het opwarmen wordt de temperatuur in de kamer gemeten. De gemeten waarden staan in de tabel van figuur 46.

- a** Teken een grafiek van het verloop van de temperatuur.  
**b** Geef een verklaring voor het verloop van de temperatuur.  
**c** Schets in hetzelfde diagram het verloop van de temperatuur bij een lagere temperatuur van het ketelwater.

FIG. 46 Gemeten waarden in de kamer.

tijd (min)	temperatuur ( $^\circ\text{C}$ )
0	15
5	17,5
10	19,5
15	21
20	22
25	20,5
30	21
35	21

### 2 Water koken

In een ketel wordt  $0,6 \text{ l}$  koud water van  $10^\circ\text{C}$  gedaan. De ketel met water wordt aan de kook gebracht. Daarvoor wordt  $0,015 \text{ m}^3$  aardgas verbrand. Bij verbranding levert  $1 \text{ m}^3$  aardgas  $33 \text{ MJ}$  aan warmte.

- a** Hoeveel stijgt de temperatuur van de ketel met water?  
**b** Bereken hoeveel warmte er vrijkomt bij het verbranden van het aardgas.  
Van de warmte die vrijkomt, komt de helft ten goede aan de ketel met water.  
**c** Waar blijft de rest van de warmte?  
**d** Bereken hoeveel warmte er nodig is om de ketel met water  $1^\circ\text{C}$  te verwarmen.



FIG. 47 Een elektriciteitscentrale aan de rivier.



FIG. 48 Een koelbox.

### 3 De elektriciteitscentrale

In een elektriciteitscentrale wordt aardgas verbrand om elektriciteit op te wekken. De centrale heeft een elektrisch vermogen van 500 MW. Daarvoor wordt iedere seconde  $40 \text{ m}^3$  aardgas verbrand.

**a** Welke energie-omzetting vindt er plaats in de centrale?

**b** Bereken de warmte die iedere seconde ontstaat door de verbranding van het aardgas.

**c** Bereken welk deel van de warmte de centrale omzet in elektrische energie.

Voor de koeling van de centrale gebruikt men water uit een rivier. Iedere seconde is daar  $40 \text{ m}^3$  water voor nodig (figuur 47). Dat water wordt verwarmd van  $20$  naar  $25^\circ\text{C}$ .

**d** Bereken hoeveel warmte het koelwater per seconde opneemt.

Voor het verwarmen van een normaal geïsoleerd huis is een verwarmingsketel nodig met een vermogen van  $20 \text{ kW}$ .

**e** Hoeveel huizen kunnen met het koelwater van de centrale verwarmd worden?

**f** Leg uit waarom stadsverwarming in de buurt van een elektriciteitscentrale goed is voor het milieu. Geef daarvoor verschillende motieven.

### 4 De koelbox

Een koelbox is bedoeld om eten en drinken koel te houden (figuur 48).

**a** Op welke manieren zorgt men er bij een koelbox voor dat er geen geleiding of stroming plaatsvindt? Met een koelelement kan men de inhoud van een koelbox langer koel houden. In het koelelement zit een vloeistof die in een diepvrieskist wordt bevroren. In de koelbox smelt de vloeistof weer.

**a** Hoe kan men eenvoudig nagaan dat er geen zuiver water in het koelelement zit?

**b** Waarom is het zo handig dat de vloeistof in het koelelement een fase-overgang ondergaat?

### 5 Een vierde manier van warmtetransport

Als je een vloeistof verwarmt, gaat de vloeistof op den duur verdampen. Daar is veel warmte voor nodig. Deze warmte komt weer vrij als de damp condenseert.

Op een mooie zomerse dag ontstaat er thermiek (figuur 49). De lucht aan de grond stijgt op.

**a** Leg uit hoe thermiek ontstaat.

**b** Welke vorm van warmtetransport vindt er plaats bij thermiek?

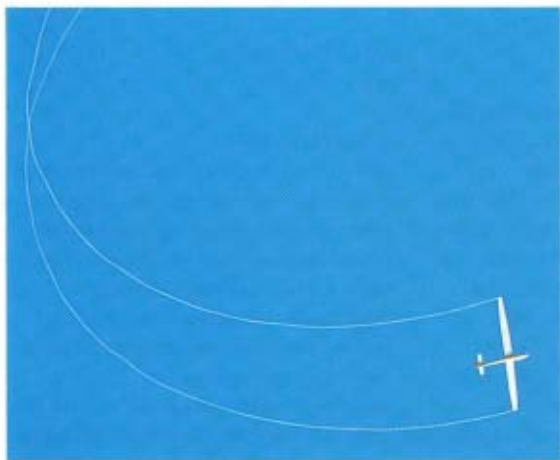


FIG. 49 Zweefvliegtuigen maken gebruik van thermiek.

Als de opstijgende lucht vochtig is, kunnen er wolken ontstaan.

**c** Leg uit hoe dat komt.

**d** Leg uit dat daarbij óók warmte getransporteerd wordt.

**6** Nogmaals water koken

Om 1 l water  $1^{\circ}\text{C}$  te verwarmen is 4200 J warmte nodig.

**a** Bereken hoeveel warmte er nodig is om 1,5 l water van  $20^{\circ}\text{C}$  aan de kook te brengen.

**b** Bereken hoe lang dat duurt met een dompelaar van 900 W als er geen warmte verloren gaat.

**c** Bereken hoe lang dat duurt met een gasvlam van 3300 W als de helft van de warmte ten goede komt aan het water.

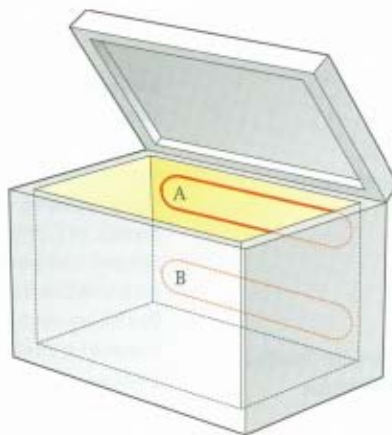


FIG. 50 Een diepvrieskist.

**7** Een diepvrieskist

In een diepvrieskist moet een koelelement geplaatst worden (figuur 50).

**a** Welk voordeel heeft een element op plaats A?

**b** Wat is het voordeel van een element op plaats B?

**c** Waarom is een diepvrieskist die van boven sluit, beter dan een diepvrieskast met een deur?