



Blok 7

INHOUD

BASISSTOF

- T1 Verwarmen van huizen 232**
- W1 237**
- T2 Temperatuur en warmte 238**
- W2 240**
- T3 Warmtetransport 241**
- W3 244**
- T4 Even warm met minder energie 246**
- W4 249**

HERHAALSTOF

- H1 Begrippen uit dit blok 250**
- H2 Waar hangt het warmtetransport vanaf? 252**
- H3 Verbrandingswarmte en rendement 255**

EXTRASTOF

- E1 Warm water in Kenya 256**
- E2 Rekenen aan de c.v.-installatie 257**
- E3 Oefenvragen en opgaven 259**

LEERDOELEN

- 1** Je moet weten uit welke onderdelen de centrale-verwarmingsinstallatie bestaat en hoe deze onderdelen samenwerken om het huis te verwarmen. [P1, T1, W1]
- 2** Je moet drie beveiligingen kennen die in een c.v.-installatie zijn opgenomen en je moet weten hoe ze werken. [T1]
- 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. [P1, T1, W1]
- 4** Je moet weten hoe je de temperatuur van een voorwerp meet. [P2, T2, W2]
- 5** Je moet weten dat warmte een energiesoort is. [T2, W2]
- 6** Je moet de eenheden van temperatuur en warmte kennen. [T2, W2]
- 7** Je moet weten hoe de Celsius-schaal ontstaan is. [T2]
- 8** Je moet weten wat de temperatuur van een voorwerp te maken heeft met de snelheid van de moleculen. [T2, W2]

Verwarmen



- 9 Je moet weten waar de inwendige energie van een voorwerp van afhangt. [T2, W2]
- 10 Je moet drie manieren van warmtetransport kennen en kunnen uitleggen hoe het warmtetransport plaatsvindt. [P3, T3, W3]
- 11 Je moet weten wat de verschillen en overeenkomsten zijn tussen warmtetransport door geleiding, stroming en straling. [P3, T3, W3]
- 12 Je moet minstens drie stoffen kunnen noemen die warmte goed geleiden en minstens drie stoffen die warmte slecht geleiden. [P3, T3, W3]
- 13 Je moet weten dat warmte vanzelf van hoge temperatuur naar lage temperatuur gaat. [T3, W3]
- 14 Je moet kunnen verklaren waarom sommige stoffen koud aanvoelen en andere niet (of minder). [P3, T3, W3]
- 15 Je moet weten hoe bij een thermosfles het warmteverlies zoveel mogelijk beperkt wordt. [T3, W3]
- 16 Je moet toepassingen kennen van warmte-isolatie door stilstaande lucht. [P4, T4, W4]
- 17 Je moet weten wat met de verbrandingswarmte van een stof bedoeld wordt en ermee kunnen rekenen. [T4, W4]
- 18 Je moet weten wat met het rendement van een apparaat bedoeld wordt en hoe je het rendement kunt berekenen. [T4, W4]
- 19 Je moet weten hoe een HR-ketel aan zijn verbeterde rendement komt. [T4]
- 20 Je moet weten waar het gasverbruik voor verwarming van afhangt en op welke manieren het gasverbruik beperkt kan worden. [P4, T4, W4]

T1 Verwarmen van huizen

Dit blok gaat over verwarmen. In het bijzonder over het verwarmen van huizen. Je maakt kennis met de natuurkundige begrippen en processen die daarbij een rol spelen. In 2mhv Scheikunde heb je in blok 5 'In vuur en vlam' al gekeken naar de scheikundige kant van verwarmen.

Meer dan 50% van de woningen wordt tegenwoordig verwarmd met een *centrale-verwarmingsinstallatie*. Zo'n c.v.-installatie bestaat uit een *centrale warmtebron* en een *transportnet*.

De centrale warmtebron is de verwarmingsketel. In de ketel wordt meestal aardgas verbrand. De warmte die daarbij vrijkomt, wordt overgedragen aan water. Het water brengt de warmte via het transportnet naar de verschillende vertrekken.



HISTORIE VAN DE C.V.

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' of steenkool gestookt. Na de aardgasvondsten in de jaren vijftig en zestig heeft aardgas de huisbrandolie en steenkool als energiebron grotendeels verdrongen. Dank zij de 'goedkope' energiebron aardgas 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 (figuur 1). De warme lucht werd via kanalen onder de vloer naar de verschillende vertrekken geleid. In sommige moderne installaties wordt ook weer lucht gebruikt. We hebben het dan over *luchtverwarming*.

FIG. 1 Vloer- en wandverwarming van een Romeinse villa in de oudheid.



De verwarmingsketel

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

De *circulatiepomp* pompt water door de warmtewisselaar en het transportnet.

Het *gasregelblok* 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.

De *warmtewisselaar* bestaat uit een systeem van ijzeren buizen. De hete verbrandingsgassen verwarmen het water in die buizen. 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 een volledige verbranding. In de ruimte waar de ketel staat moet die lucht aangevoerd kunnen worden.

FIG. 3 Het transportnet.

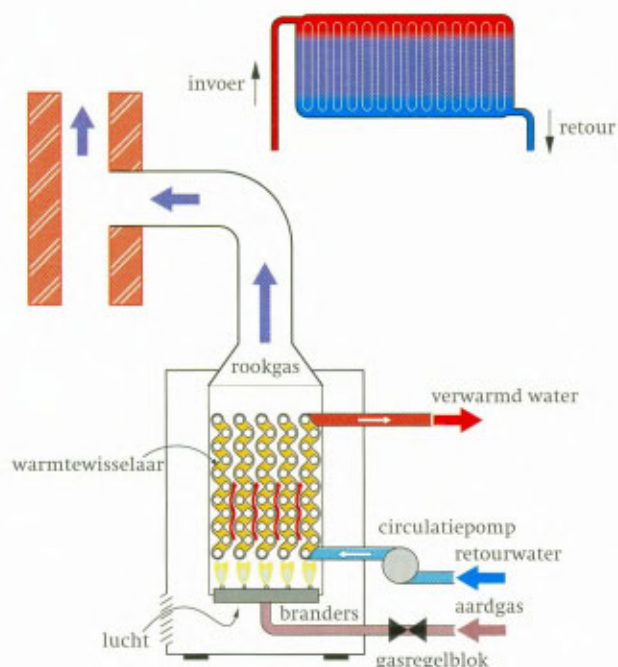


FIG. 2 Een normale verwarmingsketel.

Het transportnet

Het warme water stroomt vanuit de warmtewisselaar door een buizenstelsel naar de verschillende kamers. In iedere kamer bevinden zich 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 veel moderne installaties zijn dit *thermostaatkranen*. Deze kranen openen en sluiten zich afhankelijk van de vraag naar warmte in de desbetreffende kamer.

De circulatiepomp zit in de retourleiding, 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.

FIG. 4 Het expansievat.



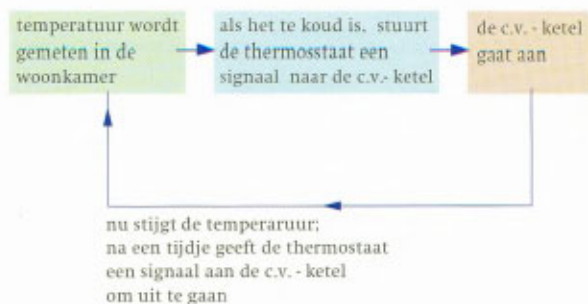
FIG. 5 Een eenvoudige kamerthermostaat.

In het transportnet is ook een *expansievat* opgenomen. In het expansievat zit lucht boven een membraan (een vlies) van rubber (figuur 4). Als het water warm wordt, zet het membraan uit. Door de toename van het volume van het water wordt de lucht boven het membraan samengedrukt. Het expansievat voorkomt zó dat de druk in de installatie te hoog wordt.

Het temperatuurverloop bij normaal verwarmen

Voor het in- en uitschakelen van de ketel zorgt de *thermostaat* 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.

FIG. 6 Schema van de werking van een verwarmingsinstallatie.



In figuur 6 is de werking van de verwarmingsinstallatie schematisch weergegeven.



DE 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. Dan wordt de gasklep gesloten (figuur 8).

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.

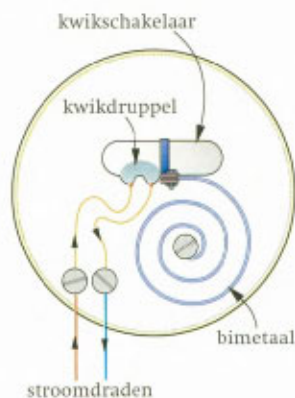


FIG. 7 Een eenvoudige kamerthermostaat van binnen bekeken.

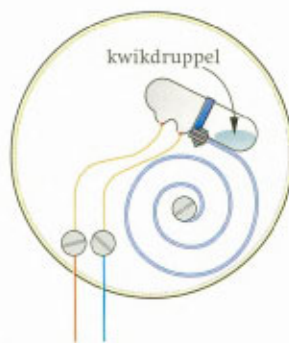


FIG. 8 De kamertemperatuur stijgt, de kwikschakelaar gaat open en de gasklep wordt gesloten.

Door het proces van opeenvolgend branden en niet-branden van de ketel zal de kamertemperatuur om de gewenste waarde schommelen (figuur 9).

In de meeste woningen staat de verwarming 's nachts ingesteld op een lage temperatuur. De ketel brandt dan weinig of niet. 's Morgens gaat de ketel aan. De woning moet dan eerst opwarmen. Er komt dan (per seconde) meer warmte de kamer in dan er uitgaat. De warmtetoevoer is groter dan de warmte-afvoer. De temperatuur stijgt.

Als de ingestelde temperatuur bereikt is, is de 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.

FIG. 9 Het verloop van de kamertemperatuur.

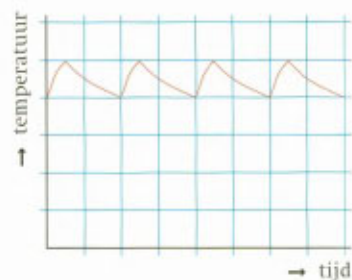
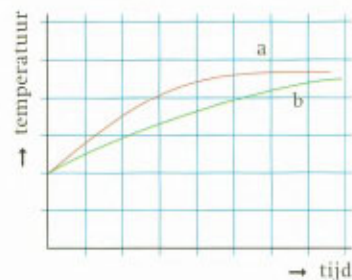


FIG. 10 Het verloop van de temperatuur bij het opwarmen; buiten niet zo koud (a) en buiten erg koud (b).



Beide grafieken zijn geen rechte lijnen. Hoe hoger de temperatuur in de kamer, hoe moeilijker het is om de temperatuur verder te verhogen. Als het verschil tussen de temperatuur binnen en buiten groter wordt, neemt de afvoer van warmte (per seconde) toe. De toevoer van warmte is echter constant. Het verschil tussen de (eerst duidelijk grotere) toevoer en de afvoer van warmte wordt dus steeds kleiner. Als de toevoer van warmte gelijk is aan de afvoer, dan is de temperatuur in huis constant en gelijk aan de gevraagde temperatuur.

Grafiek b toont het verloop van de temperatuur als het buiten kouder is dan bij grafiek a. De temperatuur in huis stijgt dan langzamer. Door het grotere temperatuurverschil is er meer warmteverlies.



ONDERZOEK MET EEN 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. In deze wand kunnen verschillende materialen geplaatst worden. De temperatuur in de klimaatkamer kan met een computer gemeten en geregistreerd worden.

FIG. 11 Een klimaatkamer.

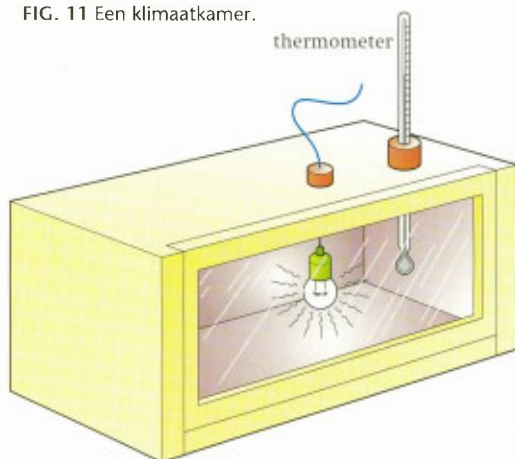
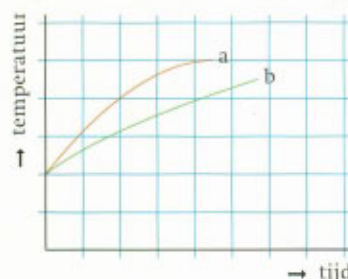


FIG. 12 Het verloop van de temperatuur bij het opwarmen; hoge ketelwatertemperatuur (a) en lage ketelwatertemperatuur (b).



De ketelwatertemperatuur

Bij het verwarmen speelt ook de temperatuur van het water in de ketel een rol. De maximale temperatuur van het ketelwater kan op het gasregelblok ingesteld worden. Als het water boven deze temperatuur komt, wordt de gasklep gesloten en dooft de brander.

De warmte die per seconde wordt toegevoerd, hangt af van de watertemperatuur. Hoe hoger die temperatuur, hoe meer warmte er wordt toegevoerd. Bij een niet te lage buitentemperatuur (voor- en najaar) stook je voordeig met een ketelwatertemperatuur van ongeveer 60 °C. In de winter wordt de temperatuur van het ketelwater op een hogere waarde ingesteld. Ook als het buiten erg koud is (veel warmteverlies) kan het binnen toch lekker warm gestookt worden. Bij een hogere ketelwatertemperatuur warmt het huis ook sneller op (figuur 12).

Het ontwerpen van een c.v.-installatie

Bij het ontwerpen van een c.v.-installatie moet het installatiebedrijf de warmtebehoefte voor ieder vertrek apart berekenen. Daarbij wordt uitgegaan van een maximale behoefte bij een buitentemperatuur van - 25 °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 het vertrek en de functie van het vertrek. Is het alleen een slaapkamer of ook een werkvertrek?

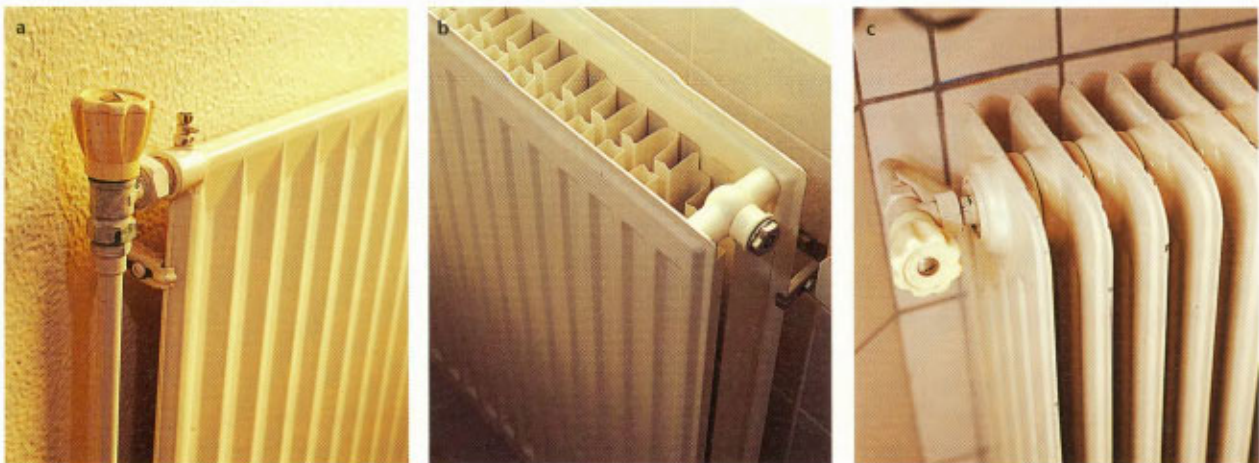


FIG. 13 Verschillende soorten radiatoren: paneelradiator (a), dubbele paneelradiator met lamellen (b), ledenradiator (c).

Als de warmtevraag berekend is, kan de radiatoroppervlakte, het aantal radiatoren en de soort bepaald worden (figuur 13). De vraag van alle vertrekken samen bepaalt het vereiste vermogen van de verwarmingsketel.

Veiligheid (bij verwarmingsketels)

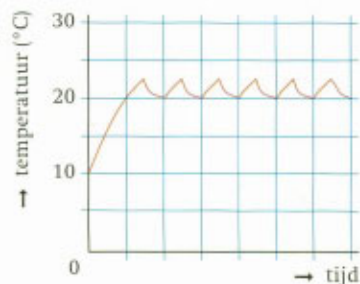
In de verwarmingsketel zit een aantal beveiligingen. Deze beveiligingen moeten gevaarlijke situaties voorkomen.

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 kan dan niet opengaan.

Het is belangrijk dat er steeds voldoende water in de installatie zit. Anders kan de ketel droogkoken en zo uit elkaar springen. Op de *waterdrukmeter* bij de ketel is te zien hoe hoog de druk in de installatie moet zijn. Als de druk te laag is moet er water bijgevuld worden. Er is ook een beveiliging aangebracht, het *overstortventiel*, dat moet 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-verwarmingsinstallatie ieder jaar gecontroleerd worden. Een verwarmingsmonteur maakt dan de branders schoon, controleert de installatie op lekkage en bekijkt de werking van de beveiligingen.

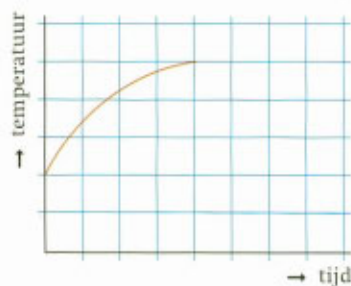
- 1 **a** Noem de vier belangrijkste onderdelen van de verwarmingsketel en leg uit waarvoor ze dienen.
b Welke andere onderdelen van de centrale verwarmingsinstallatie ken je? Waarvoor dienen die?
- 2 Schets in één temperatuur-tijddiagram ((T, t) -diagram) het verloop van de temperatuur in huis tijdens:
 - a** het opwarmen 's ochtends;
 - b** het afkoelen 's nachts.
 - c** Verklaar het verloop van de grafiek. Gebruik daarbij de begrippen warmte-toevoer en warmte-afvoer.
- 3 We zetten een fles cola in de koelkast. De cola wordt geleidelijk kouder.
 - a** Teken de temperatuur-tijdgrafiek van het afkoelen.
 - b** Wat is waar of onwaar voor de cola in de koelkast? Geef een korte toelichting.
 - 1 Er wordt meer warmte aan de cola toegevoerd dan afgevoerd.
 - 2 Er wordt evenveel warmte aan de cola toegevoerd als er wordt afgevoerd.
 - 3 Er wordt meer warmte uit de cola afgevoerd dan toegevoerd.
 - c** Leg uit in welke situaties de beide andere beweringen waar zijn.

FIG. 14 Het verloop van de temperatuur in huis in een (T, t) -diagram.



- 4 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.
- 5 **a** Welke mogelijkheden heeft een elektronische thermostaat, die een gewone thermostaat niet heeft?
b Waarom is dit belangrijk?
- 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 de capaciteit van een c.v.-installatie moet men rekening houden met allerlei factoren.
 - a** Leg uit waarom bij de berekening van de maximale capaciteit de windsnelheid van belang is.
 - b** Waarom zijn de ligging en het gebruik van een vertrek belangrijk?

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



T2 Temperatuur en warmte

- 8 De hoogste temperatuur overdag wordt niet bereikt bij de hoogste zonnestand om 12 uur, maar meestal een paar uur later.
- a Leg uit hoe dat komt. Gebruik daarbij de begrippen warmte-toevoer en warmte-afvoer.
 - b Wanneer wordt meestal de laagste temperatuur bereikt? Licht je antwoord toe.
- 9 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 Wat is de eenheid van temperatuur?
 - d 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.

Temperatuur

De temperatuur van een voorwerp meet je met een *thermometer* (figuur 16). De werking van de thermometer is gebaseerd op 'uitzetting'. Als de temperatuur stijgt, zet de vloeistof in het reservoir uit. De vloeistof stijgt in het stijgbuisje (capillair).

Als eenheid van temperatuur gebruiken wij de *graad Celsius* ($^{\circ}\text{C}$). 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.

In de natuur- en scheikunde wordt de temperatuur vaak gegeven in Kelvin.



GRADEN FAHRENHEIT

In Engeland en de Verenigde Staten wordt de temperatuur gemeten in *graden Fahrenheit* ($^{\circ}\text{F}$). 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 . Hiermee komen het vriespunt en het kookpunt van water op 32°F en 212°F .

Je kunt de temperatuur in graden Celsius (T_C) omrekenen in graden Fahrenheit (T_F) en omgekeerd. Er geldt:

$$T_F = \left(\frac{9}{5} \cdot T_C + 32 \right) ^{\circ}\text{F}$$

$$\text{en: } T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32) ^{\circ}\text{C}$$



FIG. 16 Een vloeistofthermometer (kamerthermometer).

FIG. 18 Lord Kelvin.

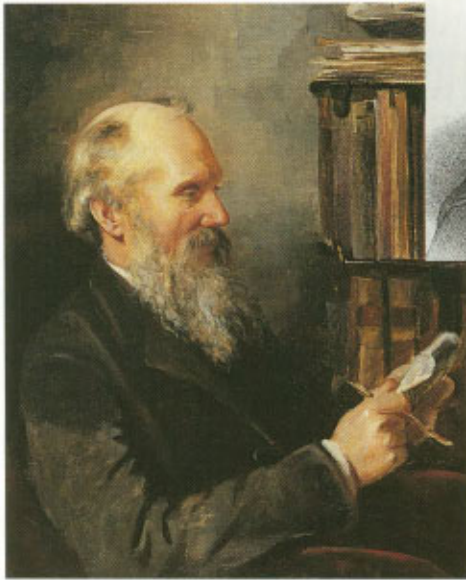


FIG. 17 De Zweed Anders Celsius (1701-1744).



Warmte

Bij de verbranding van stoffen komt warmte vrij. Een gloeilamp geeft licht en warmte. Ook door wrijving ontstaat warmte. Warmte is een soort energie. 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. Als je de temperatuur van een voorwerp wilt verhogen, moet je warmte toevoeren.

Dat is uit te leggen met molekulen. Zoals je weet is iedere stof opgebouwd uit molekulen. De temperatuur van een voorwerp zegt iets over de bewegingsenergie van de molekulen (van dat voorwerp). Als je warmte aan een voorwerp toevoert, gaan de molekulen sneller bewegen. Er zit dan meer energie in (de stof van) het voorwerp. Die energie is toegevoerd in de vorm van warmte. De energie in (de stof) van een voorwerp noemen we *inwendige energie*.

Als een voorwerp warmte afgeeft, neemt de inwendige energie af. De snelheid van de molekulen wordt kleiner en de temperatuur daalt.

De inwendige energie van een voorwerp hangt niet alleen af van de temperatuur. Deze energie hangt ook af van de *soort stoffen* van de *hoeveelheid stof*.

Zo is er meer warmte nodig om een pan vol water aan de kook te brengen dan een pan met een bodempje water. Dat laatste gaat veel vlugger.



DE 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 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, het zogenaamde *absolute nulpunt*. Voor de temperatuur in Kelvin (T_K) geldt:

$$T_K = (T_C + 273)\text{ K}$$

en:

$$T_C = (T_K - 273)\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Een temperatuurverschil van $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ is dus gelijk aan een verschil van 10 K !

De vonken van kerststerretjes hebben een temperatuur van ongeveer 800 °C. 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 aan zo'n vonkje is erg klein. Aan een kopje kokend water van 100 °C kun je je wel lekker branden.



BEWEGINGSENERGIE VAN MOLEKULEN

In blok 7 van deel 1mhy heb je kennism gemaakt met molekulen. Iedere stof bestaat uit molekulen. In de *gasfase* is de afstand tussen de molekulen groot. De molekulen bewegen vrij en met grote snelheid.

In de *vloeibare fase* zitten de molekulen dichter bij elkaar. Ze kunnen nog wel vrij langs elkaar bewegen. Maar hun snelheid is veel kleiner.

In de *vaste fase* is de afstand tussen de molekulen erg klein. Daardoor trekken ze elkaar aan. De molekulen in een vaste stof kunnen niet meer vrij bewegen. Ze trillen rond een vaste plaats in een rooster.



SMELTWARMTE

Tijdens het smelten van ijs is de temperatuur constant 0 °C. Toch is er voor het smelten warmte nodig: *smeltwarmte*. Blijkbaar neemt de inwendige energie toe. Dat is als volgt te verklaren. Bij het smelten wordt het rooster afgebroken. De afstand tussen de molekulen wordt groter. Daar is energie voor nodig. Je kunt dat vergelijken met het uitrekken van een veer. Als je de veer loslaat komt de energie weer vrij. Zo komt er ook energie vrij als water befrist.

De inwendige energie hangt dus niet alleen af van de snelheid van de molekulen (de temperatuur), maar ook van de afstand tussen de molekulen. Bij het absolute nulpunt (– 273 °C) is de inwendige energie van een stof minimaal. De molekulen staan dan (bijna) stil en zitten vlak bij elkaar.

BLOK 7 BASISSTOF

W2

- 1 **a** Met welk instrument meet je de temperatuur?
b Leg uit hoe dat instrument werkt.
c Wat is de eenheid van temperatuur?
- 2 **a** Waar vind je thuis thermometers?
b Waarom zijn die daar van belang?
- 3 **a** Wat gebeurt er als je de temperatuur van een voorwerp verhoogt?
b Waarom is er warmte nodig om de temperatuur van een voorwerp te verhogen?
- 4 **a** Waar hangt de inwendige energie in een voorwerp vanaf?
b Leg dit uit met het molekuulmodel.
- 5 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.
- 6 Je hebt twee glazen met heet water van 70 °C, een klein en een groot glas.
a In welk glas zit de meeste energie?
b Licht je antwoord toe.
- 7 De zonnecollector
 Pierre legt een zonnecollector op zijn dak. 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?

8 Water koken

Water koken kost energie. De hoeveelheid 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 water 1 °C te verwarmen?

b Hoeveel energie is er nodig om 100 g water 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.

Je brengt het aan de kook door het 2 minuten op het gas te zetten.

d Bereken het vermogen van de gasvlam.

BLOK 7 BASISSTOF

T3 Warmtetransport

Een heet kopje koffie wordt vanzelf koud. Blijkbaar verdwijnt er energie uit het kopje koffie. Die energie gaat naar de kamer, 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 dan energie van het voorwerp naar je hand.

Warmte kan op drie manieren van de ene plaats naar de andere gaan. De drie manieren van 'warmtetransport' zijn geleiding, stroming en straling.



TE VEEL GEZEGD

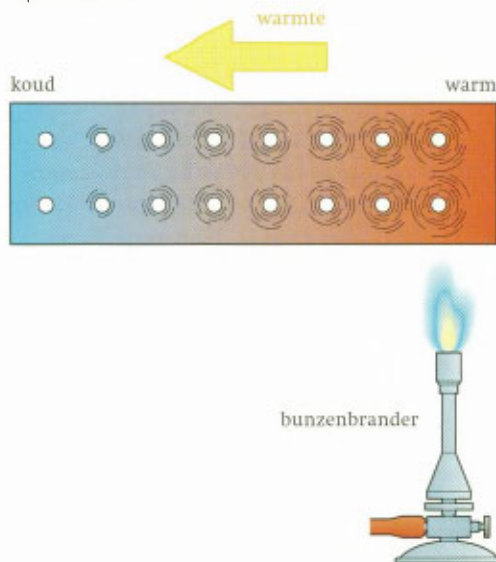
Eigenlijk is 'warmtetransport' dubbel op. Warmte is al een vorm van energie op transport.

Geleiding

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

Een vaste stof kan energie doorgeven. Bij geleiding spelen de 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 19).

FIG. 19 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.

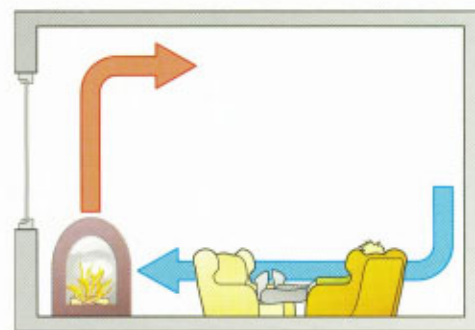
Stroming

De warme lucht boven een radiator van de centrale verwarming stijgt op. Daardoor wordt het ook boven in de kamer warm. Er is sprake van warmtetransport door *stroming*. De energie gaat met de stof mee.

Stroming kan dus alleen optreden in gassen en in vloeistoffen. Want alleen in deze fasen kunnen de molekulen ten opzichte van elkaar bewegen.

De warme lucht boven de radiator stijgt vanzelf op. Lucht die verwarmd wordt, zet uit. Hierdoor wordt de dichtheid kleiner dan die van de omringende lucht (figuur 20). De warmere lucht stijgt dus op.

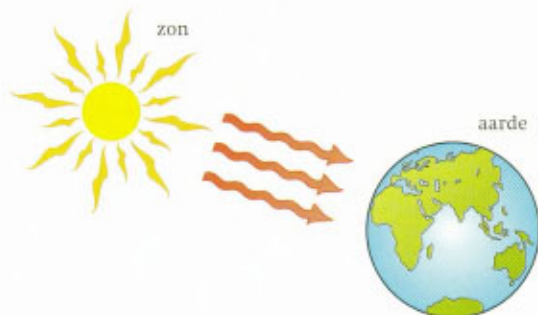
FIG. 20 Bij stroming neemt de stof de energie mee.



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, want 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 21).

FIG. 21 Door straling komt energie van de zon op aarde.



Straling wordt, net als licht, teruggekaatst of geabsorbeerd. Een donker, ruw voorwerp absorbeert meer straling dan een licht, glad voorwerp. Een donker, ruw voorwerp zal ook gemakkelijker straling afgeven. Een voorwerp dat gemakkelijk straling opneemt, geeft ook gemakkelijk straling af.

De thermosfles

Hete koffie blijft in een thermosfles lang warm. Een thermosfles is zo gemaakt dat de warmte maar langzaam ontsnapt (figuur 22).

De dop en de klemstop op de fles voorkomen 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 (glas geleidt slecht) en ook weinig stroming tussen de wanden.

De wanden zijn aan de binnen- en buitenkant verzilverd. Zo'n spiegelende wand kaatst straling terug. Er is dus ook nauwelijks warmtetransport door straling.

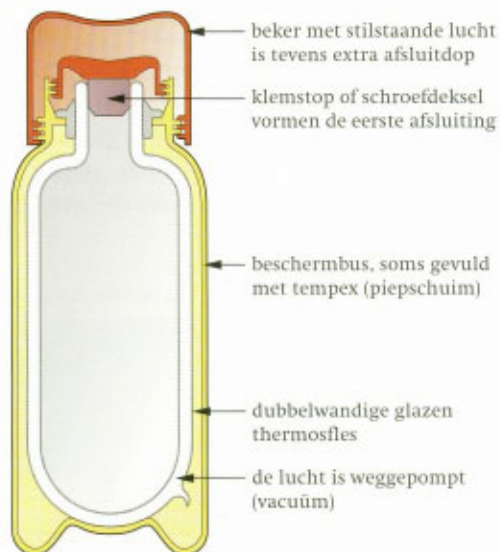


EEN THERMOSFLES VOOR ZEER KOUDE VLOEISTOFFEN

Als je in een thermosfles hete koffie wilt bewaren, dan moet er een stop 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 in een thermosfles te bewaren heb je geen stop 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 de stop zó 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. 22 Een thermosfles.



- 1 **a** Welke drie manieren van warmtetransport zijn er?
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 samen 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 heetste aan?
c Leg uit hoe dat komt.
- 3 Als het koud is voelt je fietsstuur kouder aan dan de handvatten.
a Van welk materiaal is het stuur gemaakt? En van welk materiaal zijn de handvatten gemaakt?
b Bedenk twee redenen waarom de materialen zo gekozen zijn.
- 4 Warmbloedige dieren hebben veren of een vacht (figuur 23).
a Waarom hebben deze dieren veren of een vacht nodig?
b Leg uit welke manieren van warmtetransport door veren of een vacht worden beperkt.
- 5 Als je een bekeerglas verwarmt met een bunzenbrander, moet je het glas op een koperen gaasje zetten (figuur 24).
a Waarom springt het bekeerglas als je het zonder gaasje verwarmt?
b Door welke eigenschap van het gaasje kun je het bekeerglas op een gaasje wél verwarmen?
- 6 In figuur 25 zie je een radiator met twee aansluitingen.
a Waarom zit bij een radiator de aansluiting voor warm water boven en de aansluiting voor koud water onder?
b Neem de tekening over en geef met kleuren aan waar het warme (rood) en koude (blauw) water zit.
c Waarom is het oppervlak van een radiator geribbeld?

FIG. 23 Een beer heeft een dikke vacht.



FIG. 24 Water verwarmen in een bekeerglas moet op een kopergaasje gebeuren.



FIG. 25 Een verwarmingsradiator.



- 7 Vaak wordt in huis de radiator onder het raam geplaatst (figuur 26).
- a Waarom zou men dit doen?
 - b Neem figuur 26 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?

FIG. 26 Een radiator onder het raam.



- 8 Hoe zou je je in de tropen het beste kunnen kleden, in het wit of in het zwart? Licht je antwoord toe.
- 9 Frisdrank blijft in een thermosfles langer koud. Leg uit hoe dat komt.

- 10 Op aarde krijgen we energie van de zon.

a Leg uit dat dit niet door stroming of geleiding kan zijn.

b Hoe zorgt de atmosfeer ervoor dat de aarde overdag niet te heet wordt?

c Hoe zorgt de atmosfeer ervoor dat de aarde 's nachts niet te veel afkoelt?

Er is warmte-evenwicht op aarde. Er komt evenveel warmte van de zon binnen als de aarde zelf afgeeft.

d Hoe kan de aarde warmte kwijtraken?

Meer CO_2 in de atmosfeer kan het evenwicht op aarde verstoren. De CO_2 zorgt voor een *broeikas-effect*. Daardoor wordt de temperatuur op aarde hoger.

e Wat is er dan aan het warmtetransport veranderd?

f Welke gevolgen heeft een hogere temperatuur op aarde?

- 11 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.

T4 Even warm met minder energie

Ons energiegebruik

Het verwarmen van woningen kost veel energie. In figuur 27 zie je dat driekwart van het energiegebruik thuis nodig is voor ruimteverwarming.

FIG. 27 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 nogal wat nadelen.

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

De voorraad energie in de vorm van 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 kweken

Warm en koud zijn relatieve begrippen. Als je in de winter vanuit de kou buiten naar binnen gaat, dan vind je het binnen al snel warm. Omgekeerd: als je vanuit het warme huis naar buiten gaat, dan 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. Door de lagere binnentemperatuur verdwijnt er bovendien 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 wordt het warmtetransport naar buiten beperkt.

Er is dan minder energie nodig om het huis op temperatuur te houden.

Door het dichten van kieren met PUR-schuim en het aanbrengen van tochtstrippen is er minder stroming. Isolatiemateriaal in de spouwmuur, op dakplaten en onder de vloer heeft hetzelfde effect (figuur 28). De meeste isolerende materialen als glaswol, steenwol, PUR-schuim en polystyreen isoleren, omdat ze lucht in kleine ruimtes (poriën) vasthouden. Die lucht kan niet bewegen. Er is dus geen stroming.



GEISOLEERDE SPOUWMUREN

Vroeger bouwde men huizen met een-steens-muren. 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 half-steens-muren 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.

Dubbel glas en radiatorfolie

De isolerende werking van *dubbel glas* is te vergelijken met die van een spouwmuur. Glas op zich is al een slechte geleider. Door de luchtlag tussen de dubbele 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 straalt (figuur 29). Aluminiumfolie gecombineerd met een laagje isolatiemateriaal heet *radiatorfolie*.

FIG. 28 Een spouwmuur kan behalve met lucht óók gevuld worden met isolatiemateriaal.

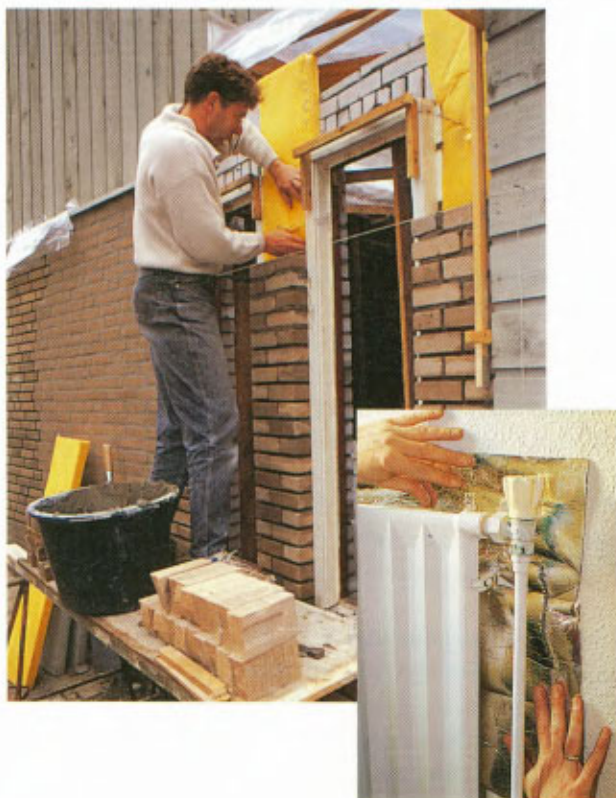


FIG. 29 Radiatorfolie.

Het rendement

Een verwarmingsketel zet chemische energie, aanwezig in de brandstof, door verbranding om in warmte. Een deel van die warmte wordt overgedragen aan het transportmiddel water. De rest verdwijnt met de hete verbrandingsgassen door de schoorsteen naar buiten. Onder het *rendement* van een apparaat verstaan we de verhouding tussen de nuttige energie (die het apparaat levert) en de toegevoerde energie:

$$\text{rendement} = \frac{\text{nuttige energie}}{\text{toegevoegde energie}} \times 100 \%$$

Bij een verwarmingsketel is de nuttige energie de energie die de ketel overdraagt aan het water. De toegevoerde energie is de energie die vrijkomt bij verbranding van de brandstof.

Verbrandingswarmte

De *verbrandingswarmte* van een stof geeft aan hoeveel warmte er vrijkomt bij de verbranding van een bepaalde hoeveelheid van die stof. In de tabel van figuur 30 zie je de verbrandingswarmte van verschillende brandstoffen.

Als de soort brandstof en het verbruik per dag bekend is, kan met de verbrandingswarmte het *gemiddeld vermogen* berekend worden.

FIG. 30 Verbrandingswarmte van verschillende brandstoffen.

stof	verbrandingswarmte
hout	16 MJ/kg
steenkool	29 MJ/kg
benzine	33 MJ/l
spiritus	18 MJ/l
huisbrandolie	40 MJ/l
aardgas	33 MJ/m ³
buta(an)gas	110 MJ/m ³

VOORBEELD: Een c.v.-ketel verbruikt op een winterdag 10 m^3 aardgas.

De verbrandingswarmte van aardgas is 33 MJ/m^3 . Er wordt dus per dag 330 MJ warmte toegevoerd. Als de ketel het hele etmaal brandt, is het gemiddelde vermogen van de ketel:

$$330\,000\,000 : (24 \times 3600) = 3800 \text{ W} = 3,8 \text{ kW}$$

VOEDINGSWAARDE VAN LEVENSMIDDELEN

Ook voor levensmiddelen kan de verbrandingswarmte gegeven worden. Deze zogenaamde voedingswaarde geeft aan hoeveel warmte er vrijkomt bij de verbranding in het lichaam. De verbrandingswarmte van pinda's is 2500 kJ per 100 g ; van tomaat 75 kJ per 100 g . Op veel verpakkingen staat de voedingswaarde aangegeven (figuur 31).

FIG. 31 Produktinformatie op een pak vanillevla.



Zuiniger stoken

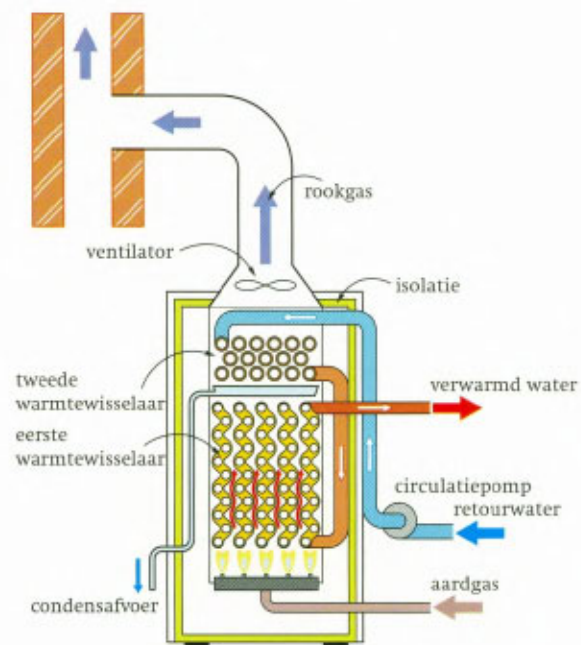
Een ouderwetse (= gewone) verwarmingsketel heeft een rendement van 70% . Dat wil zeggen dat

$\frac{7}{10}$ de deel van de toegevoerde energie wordt overge-

dragen aan het water.

Moderne c.v.-ketels hebben een verhoogd of een hoog rendement. Deze ketels zijn zo gemaakt dat er meer warmte wordt overgedragen aan het water.

FIG. 32 Een hoog rendement- of HR-ketel.



Een HR-ketel heeft een rendement van meer dan 90% . Dat wordt bereikt door de verbrandingsgassen door een tweede warmtewisselaar te sturen (figuur 32). De verbrandingsgassen koelen daardoor zó sterk af dat de waterdamp in de verbrandingsgassen condenseert. Daardoor 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 daartoe bijdragen. Denk aan een elektronische kamerthermostaat en thermostaatkranen op alle radiatoren. Met thermostaatkranen kun je de gewenste (lagere) 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 ³
niet-geïsoleerd 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

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 25 % teruggebracht kan worden.

Bij nieuwbouw kan het gasverbruik verder beperkt worden door slim te bouwen. 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 het 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.

BLOK 7 BASISSTOF

W4



FIG. 34 Energiebesparing, bah! Geef mij maar de zuidpool

- Geef voor de onderstaande maatregelen aan welke vorm (of vormen) van warmtetransport daardoor voorkomen wordt(en).
 - dubbele beglazing;
 - spouwmuur-isolatie;
 - vloer-isolatie;
 - radiatorfolie achter de verwarming;
 - voorzetramen;
 - tochtstrip.
- Maatregelen om het gasverbruik te beperken zijn in te delen in drie groepen.
 - Welke drie groepen zijn dat?
 - Welke maatregelen (uit welke groep) hebben je voorkeur en waarom?
 - Leg uit waarom glaswol en piepschuim goed isoleren.
- Uit de tabel van figuur 33 blijkt dat alleen al door het isoleren van de woning het jaarlijks gasverbruik daalt met 1800 m³. De prijs van 1 m³ aardgas is 50 cent.
 - Bereken hoeveel geld er daardoor ieder jaar op het gasverbruik bespaard wordt. Het isoleren van de woning heeft 12 000 gulden gekost.
 - Bereken in hoeveel jaar deze investering wordt terugverdiend.

H1 Begrippen uit dit blok

- 4 Een HR-ketel heeft een rendement van 90 %.
 - a Leg uit wat hiermee bedoeld wordt.
 - b Welke energie-omzetting heeft er plaats in een c.v.-ketel?
 - c Waarom is het rendement van een c.v.-ketel geen 100 %?
 - d Leg uit waarom het rendement van een HR-ketel hoger is dan van een ouderwetse (= gewone) ketel.

- 5 De familie Koot heeft een ouderwetse verwarmingsketel met een rendement van 70 %. De familie verbruikt per jaar 3000 m³ aardgas voor verwarming.
 - a Bereken het gasverbruik van de familie Koot als de ketel een rendement zou hebben van 100 %.
 - b Laat door berekening zien dat het gasverbruik van de familie Koot daalt tot 2333 m³ als de ketel wordt vervangen door een HR-ketel met een rendement van 90 %.

Een HR-ketel is 1500 gulden duurder dan een gewone ketel. De prijs van 1 m³ 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.

- 6 Een auto rijdt op benzine. Bij een snelheid van 90 km/u is het brandstofverbruik 1 op 15. Er is dus 1 liter benzine nodig om 15 km te rijden.
 - a Hoeveel liter benzine is nodig om een uur lang 90 km/u te rijden?
 - b Wat is de verbrandingswarmte van benzine?
 - c Bereken hoeveel warmte er bij de verbranding in dat uur vrijkomt.

De automotor heeft een rendement van 25 %.

 - d Leg uit wat dit betekent.
 - e Welke energie-omzetting vindt er plaats in een automotor?
 - f Bereken hoeveel nuttige energie de automotor in een uur levert.
 - g Waarom moet een automotor gekoeld worden?

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

1	centrale-verwarmingsinstallatie (PTW1 en PTW4)
2	thermostaat (PTW1 en PTW4)
3	radiator (PTW1 en PTW4)
4	verbrandingswarmte (PTW4)
5	rendement (PTW4)
6	Hoog-Rendementsketel (PTW4)
7	temperatuur (PTW2)
8	thermometer (PTW2)
9	warmte (PTW2)
10	temperatuur-tijddiagram (PTW1)
11	warmtetransport (PTW3)
12	geleiding (PTW3)
13	stroming (PTW3)
14	straling (PTW3)
15	isolatie (PTW3 en PTW4)
16	thermosfles (PTW3)

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

- 1
 - a Uit welke onderdelen bestaat de centrale-verwarmingsinstallatie?
 - b Waarom moeten radiatoren heet zijn tijdens het verwarmen van de kamer?
 - c Waarom moeten radiatoren van metaal zijn?
 - d Waarom hebben radiatoren zo'n grote oppervlakte?
 - e Waarom is het verstandig in ruimtes die niet verwarmd hoeven te worden, de verwarmingsbuizen te isoleren?

- 2** Het energiebedrijf adviseert in de herfst en in de lente een lage ketelwatertemperatuur in te stellen. Alleen in de winter moet de ketelwatertemperatuur hoog zijn.

De ketelwatertemperatuur is de temperatuur waarmee het water de ketel verlaat.

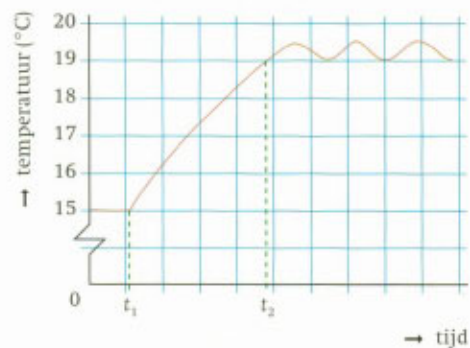
- a** Waarom is bij een hoge ketelwatertemperatuur de radiator heter?
- b** Wat is het voordeel van een hoge ketelwatertemperatuur?
- c** Waarom kan de ketelwatertemperatuur in de lente en de herfst lager zijn?

In figuur 35 zie je het verloop van de temperatuur in een kamer met centrale verwarming.

Neem het diagram over in je schrift.

- d** Teken in het diagram het verloop van de temperatuur bij een hogere ketelwatertemperatuur.

FIG. 35 Een temperatuur-tijddiagram.



- 3** In figuur 35 zie je dat op t_1 de verwarming aangaat. Op t_2 schakelt de thermostaat de verwarming uit.

a Op welke temperatuur staat de thermostaat ingesteld?

b Waarom wordt het na t_2 eerst nog warmer in de kamer?

c Waarom loopt de grafiek tussen t_1 en t_2 krom? Er wordt radiatorfolie achter de radiator aangebracht.

d Welke manieren van warmtetransport worden door het folie beperkt? Licht je antwoord toe.

e Hoe wordt door het aanbrengen van het folie de grafiek van figuur 35 veranderd?

De spouwmuren worden opgevuld met glaswol.

f Waarom is glaswol een goede isolator?

g Hoe wordt door de spouwmuurisolatie de grafiek van figuur 35 veranderd?

- 4 a** Leg uit waarom je door isoleren minder warmte nodig hebt om het huis op een behaaglijke temperatuur te houden.

b Leg uit dat het rendement van de c.v.-installatie hierdoor niet verbetert.

c Leg uit dat door isolatie het energiegebruik afneemt.

- 5 a** Welke manier van isoleren beperkt warmteverlies door geleiding?

b Door welke manier van isoleren wordt warmteverlies door stroming tegengegaan?

c Noem een manier van isoleren die warmteverlies door straling tegengaait.

H2 Waar hangt warmte-transport vanaf?

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

- 1 a Welke drie manieren van warmtetransport ken je?
- b Voor welke manieren van warmtetransport is een tussenstof nodig?
- c Waarom kan er in een vaste stof geen sprake zijn van stroming?
- d Dieren met een vacht kunnen goed tegen de kou. Hoe komt dat?
- e Dieren met een vacht zullen zoveel mogelijk uit de wind gaan staan. Waarom doen ze dat?
- f Welke vorm van warmtetransport is het belangrijkste bij een gloeilamp?

FIG. 36 Overzicht van de manieren van warmtetransport.

warmtetransport door	geleiding	stroming	straling
wat doen de molekulen?	de molekulen geven energie door	de molekulen verplaatsen zich	de molekulen zenden straling uit
gebeurt in	vaste stof	vloeistof en gas	geen stof nodig
afhankelijk van	soort stof, afstand, temperatuurverschil	soort stof, temperatuurverschil	kleur voorwerp, temperatuur

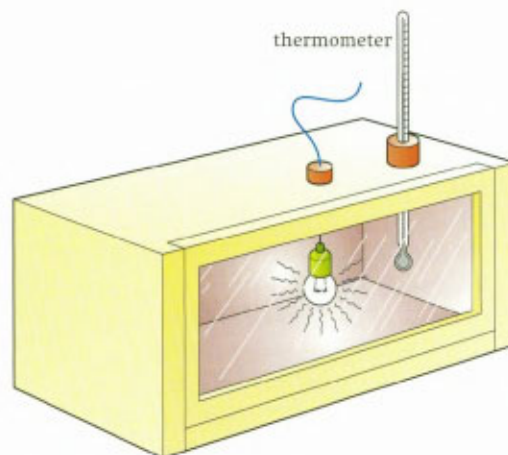
Figuur 36 geeft een overzicht van de manieren van warmtetransport. Controleer of je antwoorden op de vragen 1a tot en met 1f goed zijn.

Geleiding

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

Met een klimaatkamer kun je onderzoeken of een stof een goede of een slechte warmtegeleider is (figuur 37).

FIG. 37 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.



In de tabel van figuur 38 is voor verschillende materialen aangegeven hoeveel de temperatuur in 5 minuten daalt.

FIG. 38 Metingen met de klimaatkamer.

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

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

Stroming

Bij stroming beweegt de stof. De stof neemt de warmte mee. Stroming kan alleen in gasen en vloeistoffen optreden. 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.

FIG. 39 Een kamer met radiator.

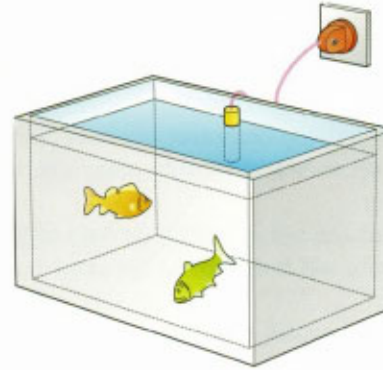


In figuur 39 zie je een kamer met radiator.

- 3 a** Neem figuur 39 over en geef in je tekening de stroming van de lucht in de kamer aan.
- b** Schets een grafiek die het verloop van de temperatuur weergeeft vanaf de vloer tot het plafond.

In figuur 40 zie je een aquarium met de verwarming op de verkeerde plaats.

FIG. 40 Een aquarium met verwarming.



- c** Neem figuur 40 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 verwarmingselement onderin geplaatst worden?

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** Verklaar dit.
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 bij de duinenrij het bovenste zand wel heel heet en het zand daaronder niet?
d Waarom blijft het zand aan de zee-oever veel koeler?

Straling

Bij straling gaat warmte van bron naar ontvanger zonder dat daar een tussenstof voor nodig is. Op aarde ontvangen we de warmte van de zon door straling. Tussen de zon en de aarde zit niets.

Hoe hoger de temperatuur van de bron, hoe meer straling deze uitzendt. De zon heeft een heel hoge temperatuur. De zon straalt veel warmte uit.

De kleur van de ontvanger bepaalt hoeveel straling de ontvanger opneemt. Een zwart, dof voorwerp neemt veel meer straling op dan een licht, glimmend voorwerp.

FIG. 41 De radiator van een c.v.-installatie.



- 7 a** Hoe heeft men ervoor gezorgd dat een radiator (figuur 41) veel straling uitzendt?
b Welke andere vorm van warmtetransport wordt daardoor óók bevorderd?
Je houdt je hand boven een warme radiator.
c Op welke twee manieren kan de warmte nu bij je komen?
Je houdt je hand nu tegen de zijkant van de radiator.
d Op welke twee manieren kan de warmte nu bij je komen?
Je houdt je hand nu vóór de zijkant van de radiator.
e Waarom voel je dan alleen nog warmte door straling?

In de zomer zijn witte auto's koeler dan gekleurde auto's.

- 8 a** Leg uit hoe dat komt.
Als je in de zomer de auto parkeert, kun je maar beter een plekje in de schaduw zoeken.
b Waarom is dat verstandig?
Als er geen schaduw is, wordt vaak de voorruit afgedekt met een scherm.
c Waar is dat goed voor?
Als de auto in de zon staat en je hebt de voorruit niet afgedekt, dan wordt het heet in de auto.
d Waarom is het dan veel heter in de auto dan erbuiten?
e Waarom is een lichte wollen bekleding in een hete auto veel prettiger dan een donkere leren bekleding?
f Waarom voelen metalen voorwerpen in de auto dan nog eens extra heet aan?

H3 Verbrandingswarmte en rendement

Bij verbranding van een stof komt energie vrij in de vorm van warmte. Er wordt chemische energie omgezet in warmte. Met de *verbrandingswarmte* van een stof bedoelen we de warmte die vrijkomt als een bepaalde hoeveelheid van die stof verbrand wordt. Omdat één J erg weinig energie is, wordt meestal een voorvoegsel gebruikt.

Eén megajoule (MJ) = 10^6 J = 1 miljoen joule.

Bij een vaste stof wordt de verbrandingswarmte gegeven in megajoule per kilogram (MJ/kg). De verbrandingswarmte van vloeistoffen wordt meestal gegeven in megajoule per liter (MJ/l); van gasen in megajoule per kubieke meter (MJ/m³).

- 1** De verbrandingswarmte van steenkool is 29 MJ/kg.

a Leg uit wat dit betekent.

Voor het verwarmen van de kamer werd vroeger 12 kg steenkool per dag gebruikt.

b Bereken hoeveel warmte er vrijkomt als 12 kg steenkool wordt verbrand.

Eén eierkool weegt 50 g.

c Bereken hoeveel warmte er vrijkomt als een eierkool van 50 g wordt verbrand.

- 2** De verbrandingswarmte van benzine is 33 MJ/l.

Een auto verbruikt 8 liter per uur.

a Bereken de warmte die per uur vrijkomt.

In de benzinetank zit 50 l benzine.

b Bereken hoeveel energie er in de tank zit opgeslagen.

Een apparaat zet meestal energie van de ene soort om in energie van de gewenste soort. Daarbij wordt ook altijd een deel van de energie omgezet in ongewenste soorten. Er komt dus minder nuttige energie uit dan er ingestopt wordt. Het *rendement* van een apparaat geeft aan, welk deel van de energie die je erin stopt, er weer als nuttige energie uitkomt. Meestal wordt het rendement gegeven in procenten.

- 3 a** Welke energie-omzetting vindt plaats in een automotor?

Het rendement van een automotor is $\frac{1}{4}$.

b Leg uit wat hiermee bedoeld wordt.

c Geef het rendement van de automotor in procenten.

- 4** Een gasgestookte elektriciteitscentrale heeft een rendement van 40 %.

a Leg uit wat hiermee bedoeld wordt.

b Waar blijft de rest van de toegevoerde energie? De centrale gebruikt per seconde 600 MJ energie uit aardgas.

c Bereken hoeveel energie de centrale per seconde levert.

Je kunt het rendement van een apparaat berekenen als de hoeveelheid geleverde energie en de hoeveelheid gebruikte energie bekend zijn:

$$\text{rendement} = \frac{\text{nuttige energie}}{\text{toegevoegde energie}} \times 100 \%$$

Je krijgt dan het rendement in procenten.

- 5 Een c.v.-ketel gebruikt per uur 50 MJ in de vorm van aardgas. De ketel levert per uur 40 MJ in de vorm van warmte.
Bereken het rendement van de c.v.-ketel.
- 6 Een gloeilamp van 40 W heeft een rendement van 5 %.
- Welke energie-omzetting vindt er plaats in een gloeilamp?
 - Hoeveel elektrische energie gebruikt de lamp per seconde?
 - Bereken hoeveel straling de lamp afgeeft per seconde.
- 7 Een bromfietsmotor gebruikt per uur 1 l benzine. De verbrandingswarmte van benzine is 33 MJ/l. De motor levert per uur 6,6 MJ in de vorm van bewegingsenergie.
Bereken het rendement van de bromfietsmotor.

BLOK 7 EXTRASTOF

E1 Warm water maken

Peter is arts in Kenya. Hij heeft 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.

- Beredeneer eerst of bij het mengen van evenveel koud en heet water de temperatuur gelijk wordt aan de gemiddelde waarde. Levert 1 liter water van 100 °C gemengd met 1 liter water van 20 °C 2 liter water van 60 °C?

E2 Rekenen aan de c.v.-installatie

- 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 zal het warmteverlies vanaf hangen?
- 3 Bedenk een proef waarmee je jouw antwoorden op beide vragen kunt controleren. Wat heb je nodig en hoe pak je het onderzoek aan?

In plaats van de toegevoerde warmte te berekenen kun je 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 en leg dit voor aan 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 eerst de capaciteit van de installatie berekenen. De warmte die de c.v.-ketel moet leveren, hangt onder meer af van de indeling, de ligging en de isolatie van het huis.

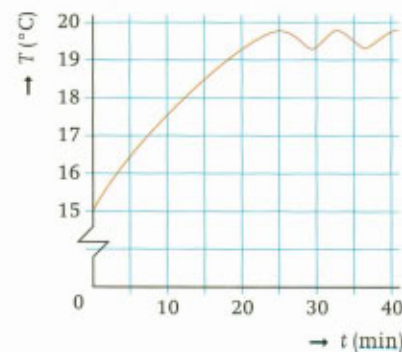
In het ideale geval verdwijnt er geen warmte uit het huis. De c.v.-installatie hoeft het huis dan alleen op temperatuur te brengen. De warmte die daarvoor nodig is, hangt af van het volume van het huis en de spullen die erin staan. Met de *warmtecapaciteit* van een huis bedoelen we de warmte die nodig 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 is 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 Een (T,t) -diagram van 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 c.v.-ketel 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 (T, t) -grafiek (zie figuur 3 van P1).

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

- 5 Neem figuur 43 over en schets hierin de grafiek voor een huis met:
 - a** dezelfde c.v.-installatie maar een grotere warmtecapaciteit;
 - b** dezelfde c.v.-installatie als dat huis slechter geïsoleerd is.

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 m² oppervlakte doorlaat per °C temperatuurverschil.

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 dubbel glas is dat maar 3 J. In de tabel van figuur 45 vind je het warmteverlies per seconde voor verschillende materialen; steeds voor 1 m² oppervlakte bij een temperatuurverschil van 1 °C tussen binnen en buiten.

FIG. 44 Warmteverliezen in procenten van het totaal.

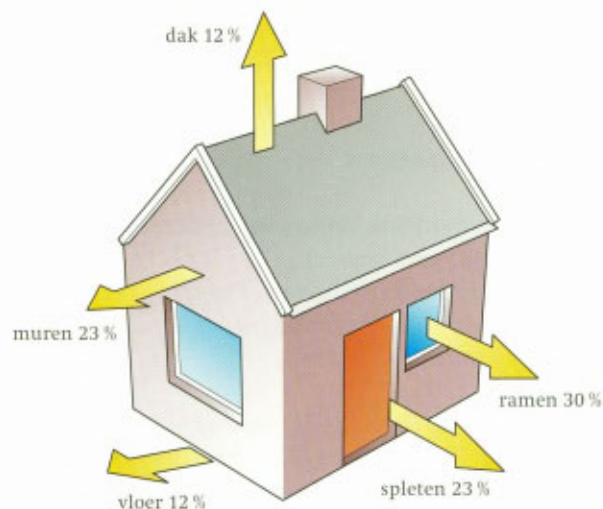


FIG. 45 Het warmteverlies in J per s voor verschillende materialen (voor 1 m² oppervlakte bij een temperatuurverschil van 1 °C).

materiaal	warmteverlies in J per s
enkel glas	6,0
dubbel glas	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

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. Je vindt dan in de tabel hoe groot het warmteverlies per seconde is voor 1 m^2 van dat materiaal bij een temperatuurverschil van 1°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°C . Tenslotte bereken je het totale warmteverlies per seconde bij een temperatuurverschil van 45°C (binnen 20°C en buiten -25°C).

6 a Bereken het warmteverlies per seconde van een vrijstaand huis met

- 17 m^2 dubbel glas;
- 110 m^2 geïsoleerde spouwmuur;
- 100 m^2 geïsoleerd pannendak;
- 70 m^2 geïsoleerde betonvloer.

b Hoe groot zou jij het vermogen van de te installeren c.v.-ketel minstens kiezen? Licht je antwoord toe.

BLOK 7 EXTRASTOF

E3 Oefenvragen en opgaven

1 Verwarmen

's Ochtends om half acht slaat de c.v. aan. Tijdens het opwarmen wordt de temperatuur in de kamer gemeten. De gemeten waarden staan in de tabel van figuur 46.

a Teken een (T, t) -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 ketelwatertemperatuur.

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°C gedaan. De ketel met water wordt aan de kook gebracht. Daarvoor wordt $0,015 \text{ m}^3$ aardgas verbrand. De verbrandingswarmte van aardgas is 33 MJ/m^3 .

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°C te verwarmen.

FIG. 47 Een elektriciteitscentrale aan de rivier.



FIG. 48 Een koeldoos.

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 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 het rendement van de centrale.

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

d Bereken hoeveel warmte het koelwater per seconde opneemt.

Voor het verwarmen van een normaal geïsoleerd huis is een c.v.-ketel nodig met een vermogen van 20 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 koeldoos

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

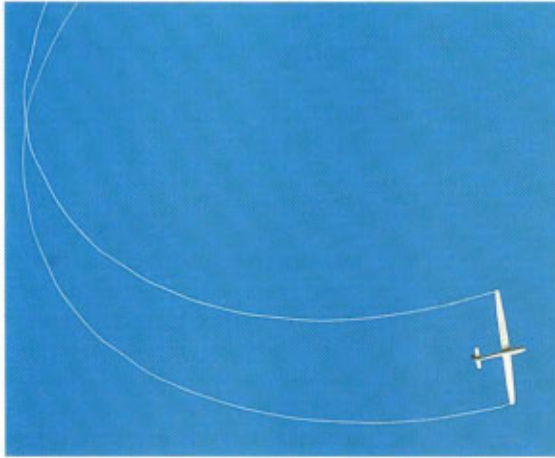
a Op welke manieren zorgt men er bij een koeldoos voor dat er geen geleiding of stroming plaatsvindt?

Met een koelelement kan men de inhoud van een koeldoos langer koel houden. In het koelelement zit een vloeistof die in een diepvrieskist wordt bevroren. In de koeldoos smelt de vloeistof weer.

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

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

FIG. 49 Zweefvliegtuigen maken gebruik van thermiek.



- 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?
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

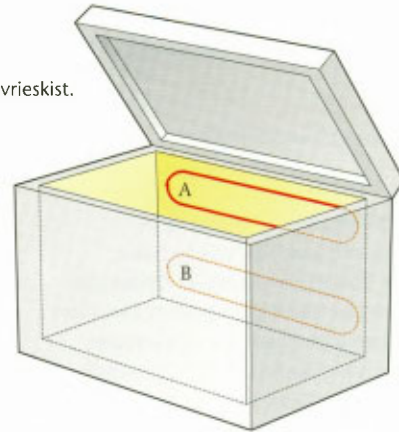
Om 1 l water $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ te verwarmen is 4200 J warmte nodig.

a Bereken hoeveel warmte er nodig is om 1,5 l water van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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?