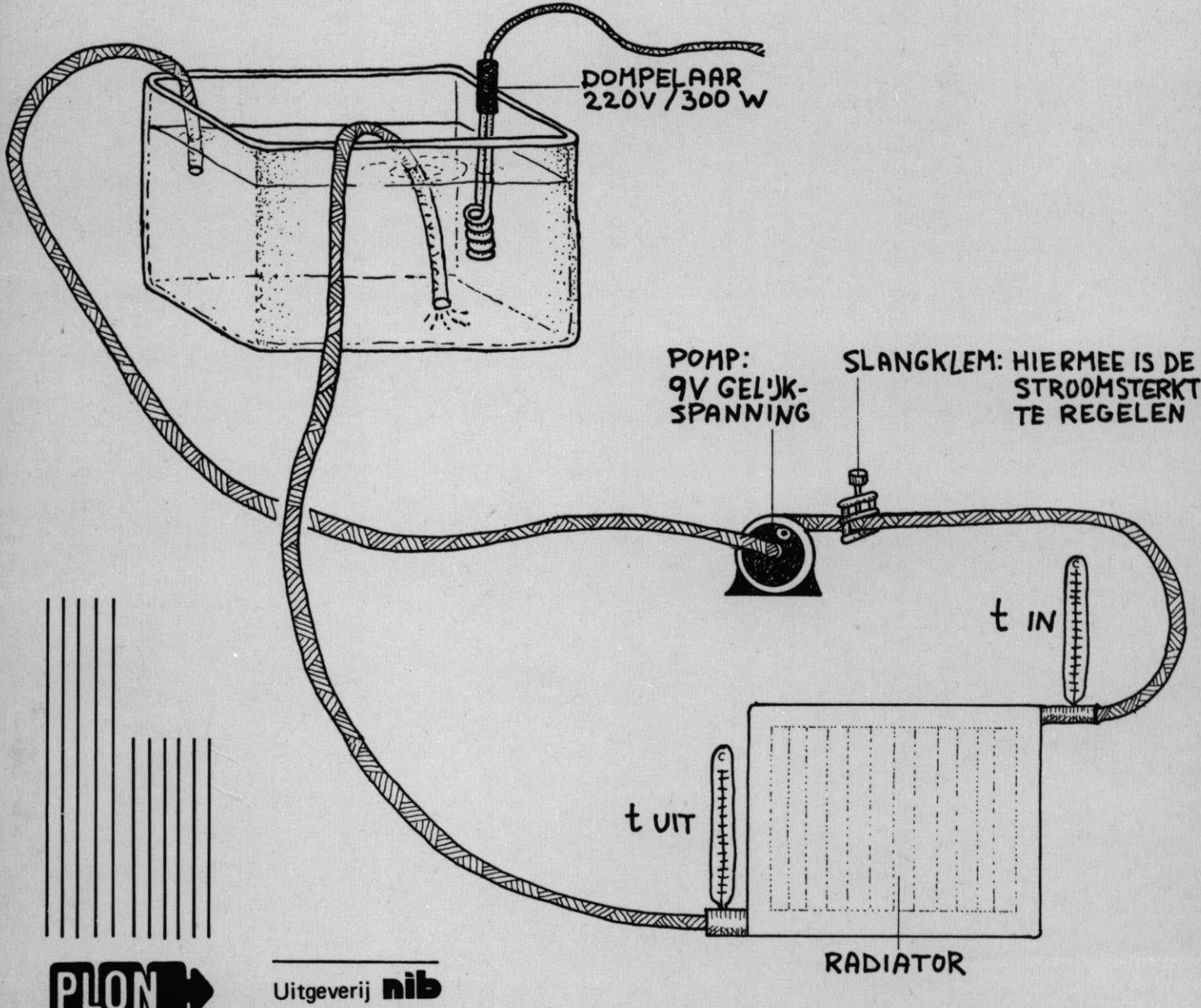
VERWARMEN EN ISOLEREN



PLON
Uitgeverij nib

VERWARMEN EN ISOLEREN

Samengesteld door de projectgroep van het PLON

voor de 4e klas mavo
voor de 3e klas vwo/havo

Experimentele versie

PLON

Uitgeverij nib

PLON / BV UITGEVERIJ nib ZEIST

PROJECT LEERPAKKETONTWIKKELING NATUURKUNDE

* Het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde (PLON) is in 1972 begonnen onder auspiciën van de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN). De opdracht was: het ontwikkelen en door middel van onderzoek evalueren van leerpakketten voor natuurkundeonderwijs op mavo, havo en vwo, en het ontwerpen van een plan voor goede begeleide introductie daarvan in de scholen.
* Het PLON werkt onder toezicht van een stuurgroep waarin vertegenwoordigers uit het onderwijs, de vervolgopleiding, didactische instellingen, onderwijsondersteuningsinstituten, lerarenopleidingen en het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen vertegenwoordigd zijn.
* Het PLON is ondergebracht bij de Vakgroep Natuurkunde Didaktiek van de Rijksuniversiteit Utrecht. Deze vakgroep participeert tevens in de activiteiten ten behoeve van havo-bovenbouw. Ten behoeve van vwo-bovenbouw bestaat een samenwerkingsverband met de universiteiten van Amsterdam (GU) en Groningen, en groepen leraren die werken aan de ontwikkeling van lesmateriaal.
* Het adres van het PLON is:
  PLON, lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA, de Uithof, Utrecht
  Tel. 030-532717

© 1981, 1984 Rijksuniversiteit Utrecht Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde/BV Uitgeverij NIB Zeist

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without the prior permission of the publisher.

Experimentele uitgave

OVER DIT BOEK

Maar liefst ca. 80% van ons energieverbruik in huis is bestemd voor ruimteverwarming, warm water en koken. Energie wordt schaars en duur. Het is dus noodzakelijk zuinig te zijn met verwarmen. Dan is het handig je een beetje in de warmtetechniek te verdiepen.
In dit thema kom je van alles te weten over het verwarmen van water en het verwarmen van een huis, over de hoeveelheid warmte die een huis binnenkomt (bijv. door verbranding in de kachel of door de zon), en die het huis verlaat (door kieren, door de ramen). Je kan proefjes doen over isoleren, en nagaan wat de invloed daarvan is op de behaaglijkheid in huis. Je kunt onderzoeken of je de rendementen van verwarmingsinstallaties kunt verbeteren. Daardoor zou er minder warmte ongebruikt de schoorsteen uit kunnen gaan.

Het themaboek *Verwarmen en Isoleren* bestaat uit drie delen.

In het *Theoriedeel* leer je over warmtetransport, over de energie die nodig is om een voorwerp te verwarmen en over rendement. Vooral de centrale verwarming en het koken van water komen ter sprake. Je zult allerlei proefjes en vraagstukken over die onderwerpen vinden. blz. 5

In het *Onderzoekdeel* staan onderzoeken die dieper ingaan op onderwerpen die je in het basisdeel tegenkomt. Bijvoorbeeld een onderzoek over isoleren, over rendementsverbetering bij een c.v. of bij koken van water. blz. 37

Bij de *Leesteksten* vind je informatie die dieper ingaat op isoleren, soorten radiatoren en een hoge-rendementsketel. blz. 55

Het boek wordt besloten met de *Uitkomsten en tabellen* behorende bij de opgaven blz. 73

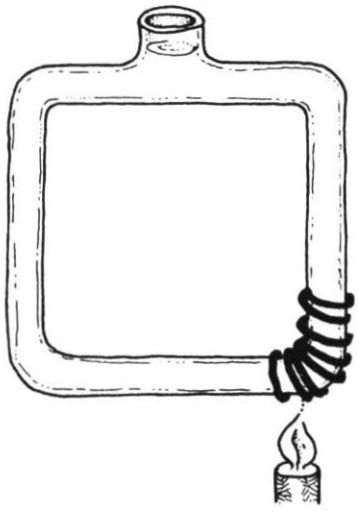
Veel leer-, lees- en onderzoekplezier!

inhoud theoriedeel

Hoofdstuk *1*	*Korte proefjes over verwarmen*	blz. 7
Hoofdstuk *2*	*Warmtetransport*	blz. 11
2.1	Warmtetransport door stroming	blz. 11
2.2	Warmtetransport door straling	blz. 13
2.3	Warmtetransport door geleiding	blz. 15
2.4	Vragen en opdrachten over warmtetransport	blz. 16
Hoofdstuk *3*	*Hoeveel energie?*	blz. 18
3.1	Warmtecapaciteit	blz. 18
3.2	Soortelijke warmte	blz. 19
3.3	Warmte-evenwicht	blz. 21
3.4	Vragen en opdrachten over hoeveel energie	blz. 23
Hoofdstuk *4*	*Verwarmen van water*	blz. 24
4.1	Vermogen	blz. 24
4.2	Rendement	blz. 24
4.3	Proeven over rendement en vermogen	blz. 26
4.4	Vragen en opdrachten over verwarmen van water	blz. 29
Hoofdstuk *5*	*De centrale verwarming*	blz. 31
5.1	De werking van een c.v.	blz. 31
5.2	Het uitzetten van verwarmingsbuizen	blz. 32
5.3	Het uitzetten van water in de c.v.	blz. 33
5.4	Model van een c.v.-systeem in de klas	blz. 33
5.5	Vragen en opdrachten over de centrale verwarming	blz. 35

1 korte proefjes over verwarmen

PROEF 1 **Natuurlijke circulatie van water**



Bij natuurlijke circulatie wordt gebruik gemaakt van het verschijnsel, dat een warme vloeistof lichter is dan een koude vloeistof.

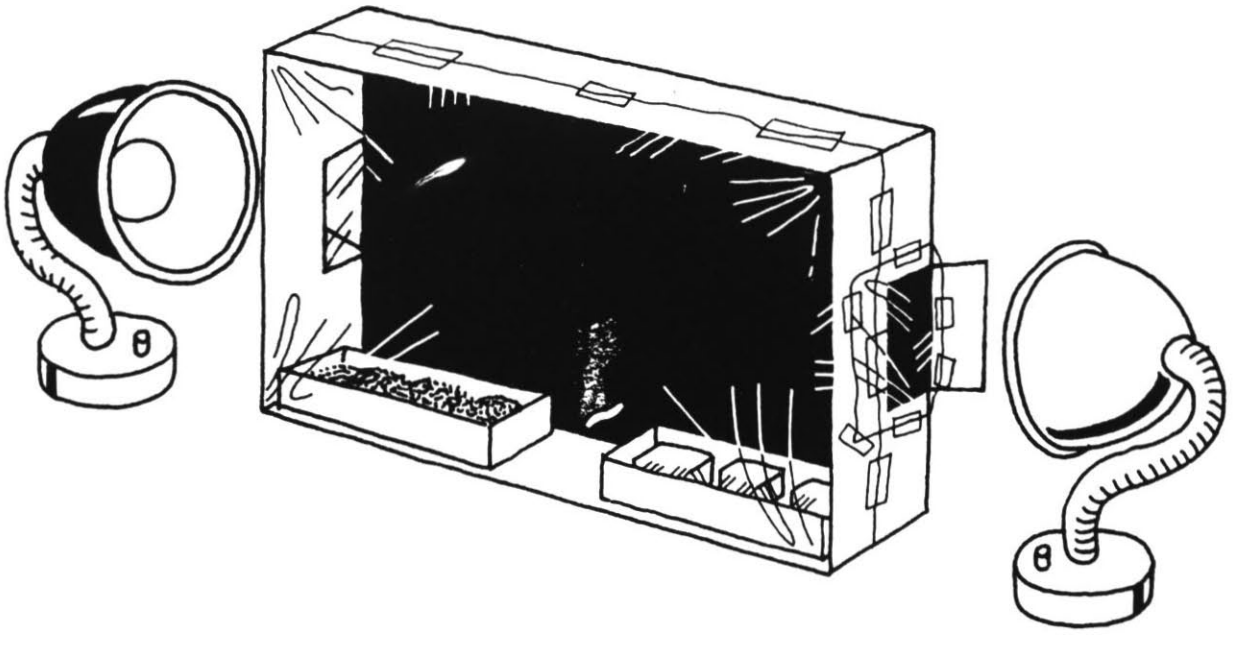
Doe wat druppels inkt boven in de buis en verwarm de buis *voorzichtig* aan de hoek waar het metaal omheen is gewonden.

1 Wat heeft deze proef te maken met een c.v.?
2 Waarvoor dient het metaal om de hoek van de buis?
3 Kun je verklaren wat er gebeurt?

PROEF 2 **Natuurlijke stroming van lucht (convectie)**

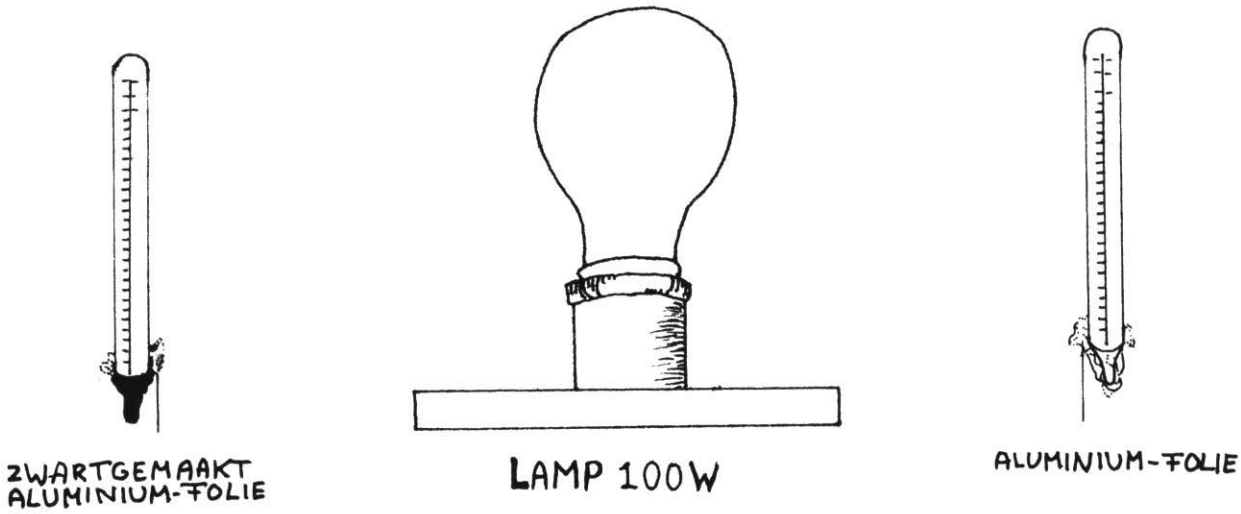
Breng rook in de doos, bijv. door er een smeulend stukje filtreerpapier of schoenveter in te leggen. Zet een brandend kaarsje in de doos (voorzichtig!) en maak de rook zichtbaar door met een felle lamp door het plastic te schijnen. Aan de rook kun je zien hoe de lucht in de doos gaat stromen.

1 Hoe stroomt de lucht?
2 Wat heeft dat met verwarmen en isoleren van een kamer te maken?
3 Kan je verklaren wat er gebeurt?



PROEF 3 **Absorptie van licht(straling)**

Licht(straling) kan worden opgenomen (geabsorbeerd) door een voorwerp.
Daardoor stijgt de temperatuur van het voorwerp. We noemen dat absorptie.

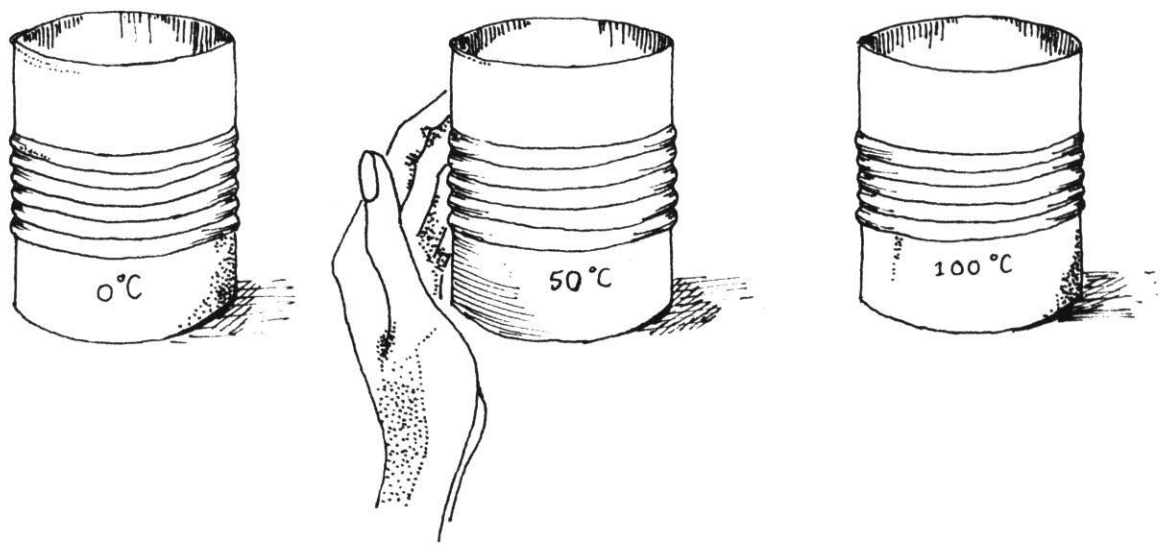


Neem een felle lamp (bijv. 100 W) en plaats die midden tussen twee thermometers. Van beide thermometers is het onderste deel omwikkeld met aluminiumfolie. Bij één thermometer is dat met een viltstift zwart gemaakt. Zet de lamp aan en lees af wat de thermometers na enige tijd aangeven. Houd ook je hand bij de lamp.

1 Wat voelde je?
2 Wat nam je waar bij de thermometers?
3 Wat zijn je conclusies uit deze proef?
4 Weet je een apparaat waarbij dit verschijnsel wordt toegepast?

PROEF 4 **Het uitzenden van straling**

Neem 3 gelijke blikken, en vul één met water en ijsblokjes, de ander met water van ca. 50° C en de derde met water van 100° C.



1 Wat voel je bij elk blik?
2 Door welke oorzaken koelen de blikken van 50° C en 100° C af?
3 Door welke oorzaken warmt het blik van 0° C op?
4 Wat is je conclusie uit de proef?

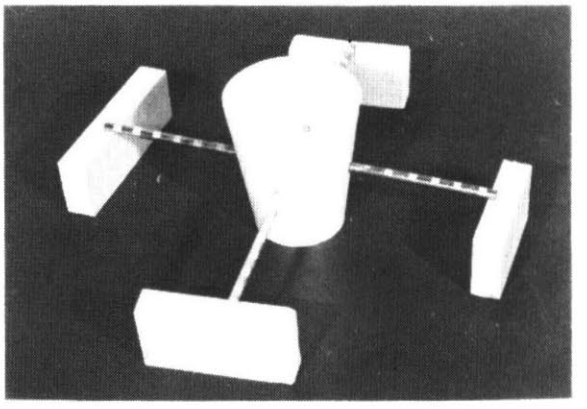
PROEF 5 **Geleiding van warmte**

Gaat de warmte door alle metalen even snel? of: geleiden alle metalen de warmte even goed?

Om deze vraag te beantwoorden, kun je gebruik maken van temperatuurpapier. Dat papier is geel als het koud is. Als het warm wordt, verandert de kleur in oranjerood.

Dit temperatuurgevoelige papier is geplakt op 4 metalen staafjes, namelijk:
- messing
- roodkoper
- ijzer
- aluminium.

Deze staafjes zijn in een beker gestoken.

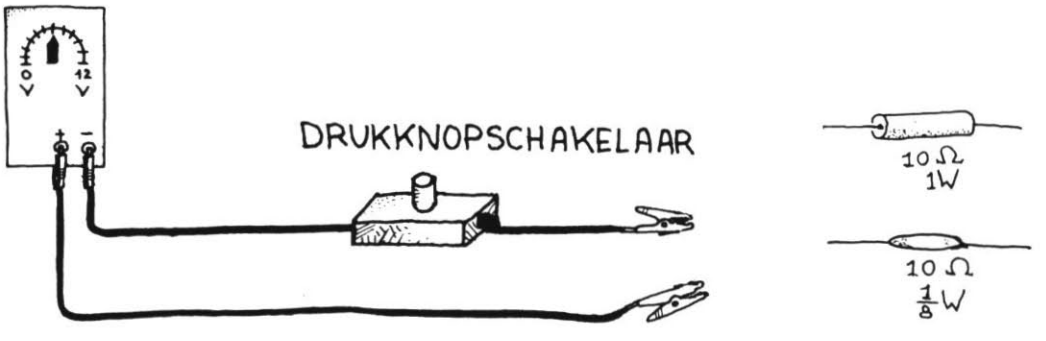


Je hebt nodig:
- beker met staafjes
- kokend water.

* Ga met z'n allen rond de beker zitten.
* Vul de beker met kokend water.
* Kijk nu goed naar het veranderen van de kleur van het papier op de staafjes en schrijf op wat je ziet.

1 Wat is je conclusie uit deze proef?
2 Welk metaal gebruik je bij voorkeur *niet* voor een c.v.-radiator?

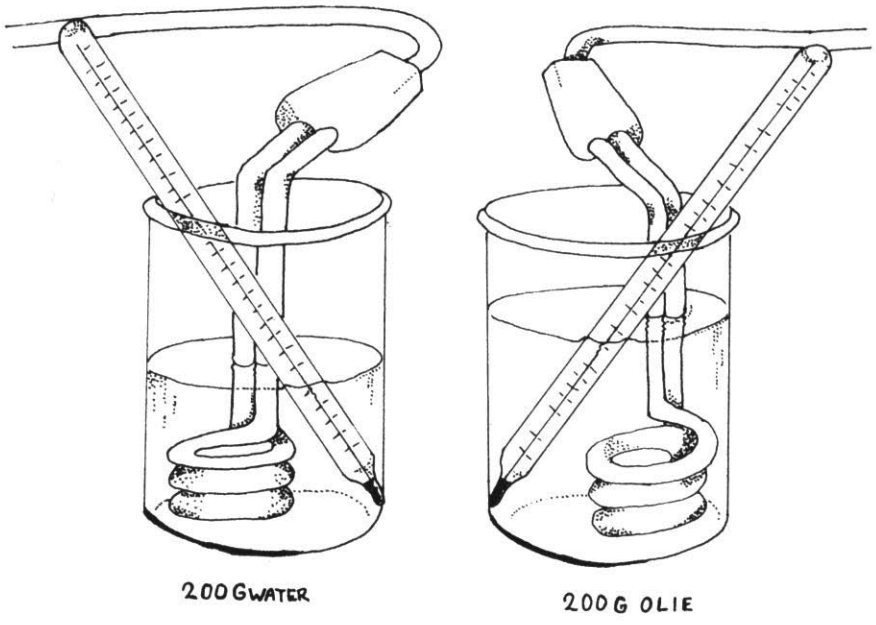
PROEF 6 **Warmte en temperatuurstijging**



a Maak de getekende schakeling en klem tussen de krokodilklemmen de weerstand van 10 ohm; 1/8 W. Druk de schakelaar 1 min. in en voel aan de weerstand.
b Doe dezelfde proef nog eens met de weerstand van 10 ohm; 1W. Bedenk van te voren wat voor een verschil dat met proef ⓐ zal zijn, gezien de grootte van de weerstand en de omvang er van.
c Als je het verschil niet goed hebt gevoeld, kan je de twee weerstanden parallel schakelen en ze dus verwarmen en tegelijkertijd voelen.

1 Welke verschillen heb je opgemerkt?
2 Wat is je conclusie?

Verwarmen van water en olie



* Bedenk vóór je deze proef doet, wat volgens jou sneller warm wordt: water of olie.
* Verwarm 200 g water met een dompelaar van 220 V; 300 W gedurende 1 minuut en verwarm 200 g olie (dat is ongeveer 220 ml) met een gelijke dompelaar gedurende 1 minuut.
* Roer tijdens het verwarmen goed. Meet de eindtemperatuur pas als de thermometer niet verder oploopt. De hete dompelaar zal nog wat warmte aan de vloeistof afgeven als de stroom al uit is.

1 Welke vloeistof is het meest in temperatuur gestegen?
2 Had je dat verwacht? Waarom wel/niet?
3 In welke vloeistof heb je de meeste warmte gestopt?
4 Wat is je conclusie?

2 warmtetransport

Bij verwarmingstoestellen, zoals een c.v., een kachel of een koffiezetapparaat, moet er altijd warmte van de plaats waar die ontstaat (bij verbranding, in de gloeispiraal) getransporteerd worden naar de plaats waar die nodig is. Dat kan op drie manieren gebeuren: door stroming, door straling of door geleiding.

2.1 WARMTETRANSPORT DOOR STROMING

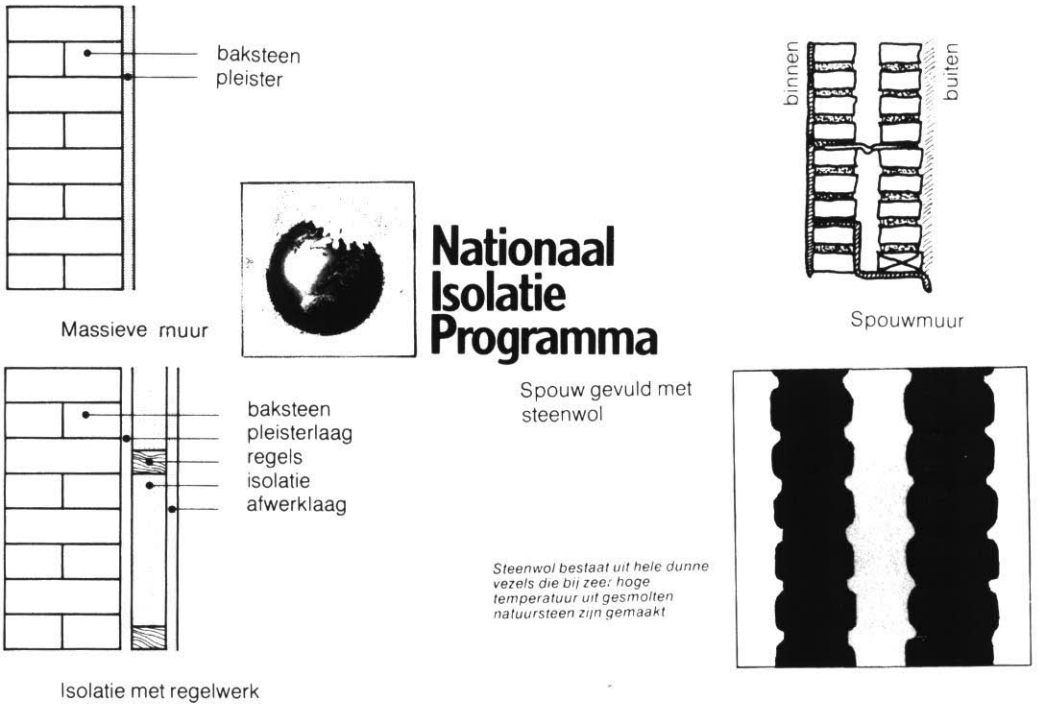
In de proefjes 1 en 2 van hoofdstuk 1 maakte je kennis met warmtetransport door stroming van water en lucht. Water of lucht die op een bepaalde plaats (bijv. in de c.v.-ketel of bij de kachel) verwarmd wordt, kan gaan stromen en op een andere plaats zijn warmte weer afgeven. Het stromen kan 'vanzelf' gaan ('warme lucht stijgt op') of 'gedwongen' bijvoorbeeld met een pomp of ventilator.

Stroming van lucht

Lucht zet uit als het warm wordt. Daarom is warme lucht lichter dan koude lucht (of anders gezegd: de dichtheid van warme lucht is kleiner dan van koude lucht). De warme lucht stijgt op en gaat stromen. Als lucht langs een koudere plaats (bijv. een raam) stroomt, koelt zij daar af. De lucht daalt dan en stroomt over de vloer weer naar de kachel.

We noemen die luchtstroming 'convectie'. Op de vloer zal de temperatuur van de lucht dus altijd lager zijn dan aan het plafond. Controleer dat maar eens met een thermometer.
Als de koude lucht vrij snel over de vloer stroomt, noemen we dat tocht. Tocht kan worden veroorzaakt door koude lucht, die van buiten naar binnen stroomt door kieren, een open deur en dergelijke. Tocht ontstaat ook als lucht uit de kamer, die langs een heel koud oppervlak (bijv. een raam, een slecht geïsoleerde buitenmuur) stroomt en daar afkoelt. In het eerste geval is de tocht te bestrijden door de kieren dicht te maken (niet allemaal! Er moet verse lucht in de kamer kunnen komen!) In het tweede geval is de tocht te bestrijden door betere isolatie (dubbele ramen, de muur isoleren).

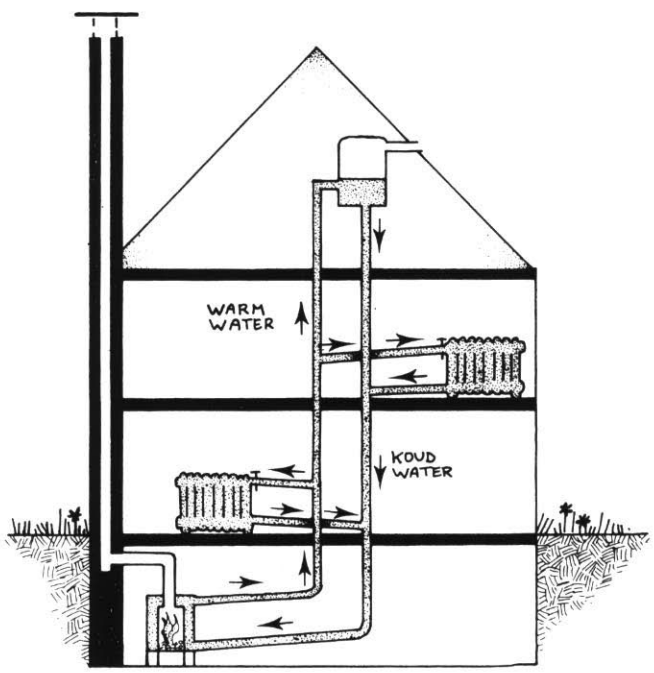
Je kunt gebruik maken van luchtstroming als je ergens warmte kwijt wilt raken. Je moet luchtstroming voorkomen als je ergens geen warmte kwijt wilt. Bij een kachel of een radiator van de centrale verwarming (c.v.), wil je de warmte aan de kamer overdragen. Daarom moet er wel veel lucht langs de kachel of radiator stromen. Door convectie komt de warmte overal in de kamer.
Bij het *isoleren van een huis* maakt men vaak gebruik van luchtlagen. Bijvoorbeeld de luchtlaag in de 'spouw' van een muur. Dat is de ruimte tussen de 'binnenmuur' en de 'buitenmuur', die is aangebracht om te isoleren.



Een luchtlaag isoleert het beste als de lucht niet kan stromen. Daarom wordt de lucht 'ingepakt' bijvoorbeeld in glaswoldekens, in het witte schuim van een plaat tempex of door UF-schuim dat in de spouw van een bestaande woning met spouwmuren kan worden gespoten ter isolatie.

Stroming van water

In een centrale-verwarmingsinstallatie (c.v.) wordt water gebruikt om warmte te transporteren. Water kan net als lucht 'vanzelf' gaan stromen, omdat het uitzet bij verwarming. Deze stroming noemt men 'natuurlijke circulatie'. Bij oude c.v.'s – die gebruik maken van natuurlijke circulatie – staat de c.v.-ketel in de kelder. Het warme water stroomt naar boven, geeft zijn warmte af in de radiator, koelt dus af en stroomt door de retourleiding weer naar beneden. Er zijn brede buizen nodig omdat het water anders te langzaam stroomt.



C.V. met natuurlijke circulatie.

De moderne c.v.'s zijn voorzien van een pomp die voor de circulatie van het water zorgt. De c.v.-ketel kan daardoor ook op zolder staan en er kunnen veel smallere buizen gebruikt worden.
In hoofdstuk 5 vind je meer informatie over de centrale verwarming. Daar staat ook een proef met een model van een c.v. in de klas.

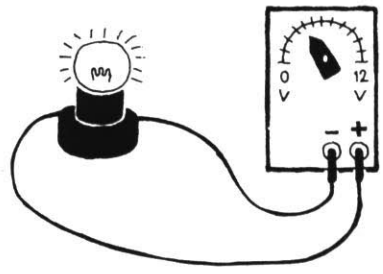
- In welke delen van de centrale verwarmingsinstallatie wil je warmtetransport door stroming *bevorderen*? In welke delen wil je warmtetransport door stroming *tegengaan*? Hoe gebeurt dat?

2.2 WARMTETRANSPORT DOOR STRALING

In proef 3 en 4 van hoofdstuk 1 heb je kunnen waarnemen dat warmte getransporteerd kan worden door straling. Het ene oppervlak zendt straling uit en het andere oppervlak vangt de straling op (absorbeert de straling). Hoe hoger de temperatuur van een oppervlak is, hoe meer straling het oppervlak zal uitzenden. Bij temperaturen onder ca. 800° C is dat straling die wij alleen kunnen voelen maar niet zien ('warmtestraling' of beter: infraroodstraling). Boven 800° C wordt er ook zichtbaar licht uitgezonden. Rond 800° C alleen rood licht (iets is 'rood gloeiend') maar bij hogere temperaturen worden er ook andere kleuren uitgezonden. De gloeidraad van een lampje bijv. wordt door de elektrische stroom verwarmd tot ca. 3000° C. Bij die temperatuur zendt het behalve rood vooral geel en ook wat blauw licht uit.

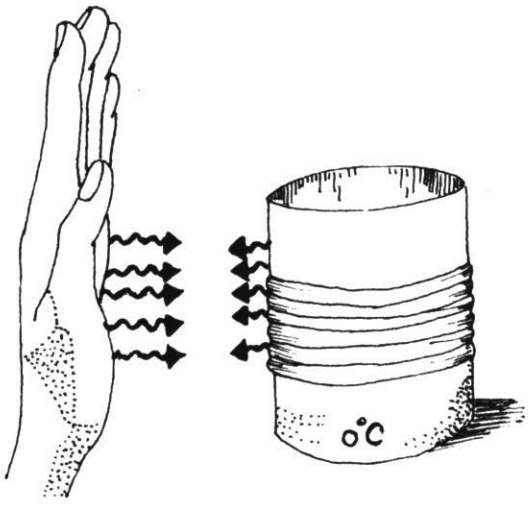
PROEF 1

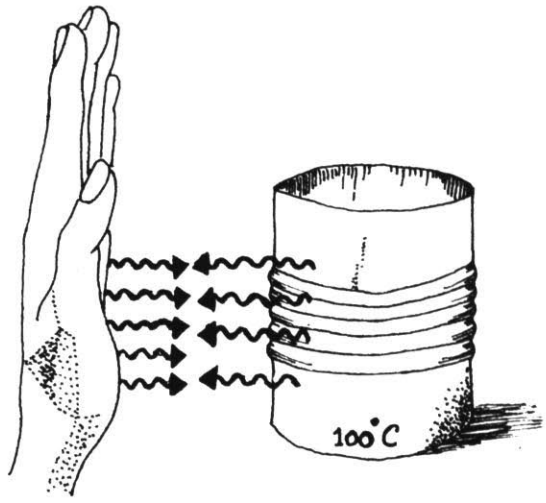
Laat een lampje van 6V branden op 1V; 2V; 3V; 4V; 5V; 6V; 7V (!?).
Let op de kleur van de gloeidraad.
Let ook op de hoeveelheid uitgezonden straling.
Wat is je conclusie?



In proef 3 heb je gezien dat zichtbaar licht het beste door een zwart oppervlak geabsorbeerd en in warmte omgezet wordt. Daarom is de warmteabsorberende plaat van een zonnecollector zwart gemaakt. Een metaalachtig oppervlak kaatst het licht terug.

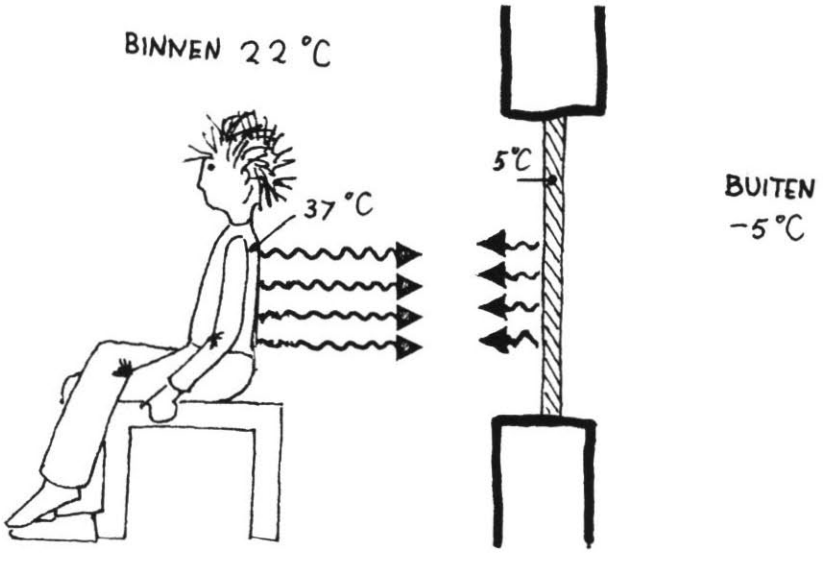
In proef 4 heb je de warmtestraling met je handen gevoeld. Je hebt gemerkt dat een warmer oppervlak meer warmte uitstraalt. Je hebt ook de kou gevoeld bij het koude oppervlak. Nu zou je misschien zeggen dat een koud oppervlak 'koudestraling' uitzendt. Dat is niet waar. Een koud oppervlak zendt ook warmtestraling uit, alleen veel minder dan een warm oppervlak, zoals je hand. Je hand voelt de 'koudestraling' omdat je hand meer straling uitzendt naar het koude blik dan dat hij zelf van het blik terugkrijgt.





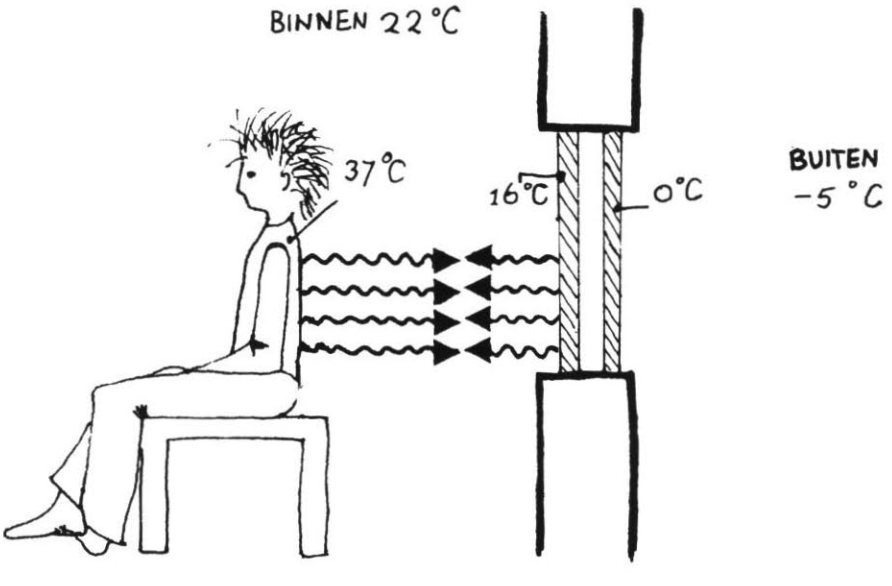
Behaaglijkheid in huis

Warmtestraling is heel belangrijk voor de behaaglijkheid in huis. Als je voor een warme muur zit – die dus veel warmtestraling uitzendt – is het behaaglijk, ook al is de luchttemperatuur niet zo hoog (bijv. 17° C). Als je echter voor een (enkel) raam zit in een kamer waar de luchttemperatuur 22° C is, kan je het toch onbehaaglijk vinden. De temperatuur van het raam is bijvoorbeeld maar 5° C. Het raam zendt dus weinig warmtestraling uit. Als je voor het raam zit voel je dat tekort aan warmtestraling (de koudestraling) en daardoor krijg je bijvoorbeeld een koude rug.

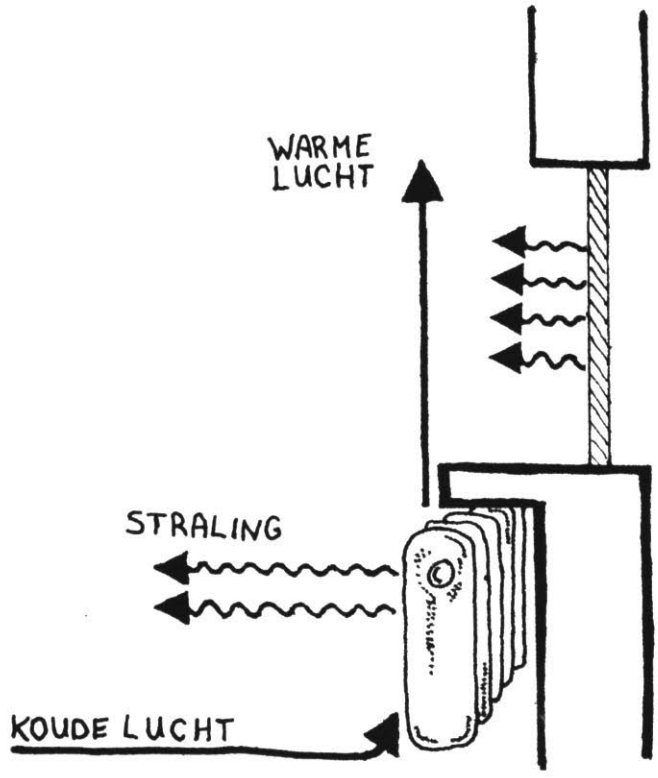


Neem nu in plaats van enkel glas *dubbel* glas. De temperatuur van het glas aan de binnenkant is nu niet 5° C maar bijvoorbeeld 16° C. Je ontvangt op je rug dus veel meer straling en je rug zal minder afkoelen. Het is behaaglijker in huis. Door een goede isolatie van muren en ramen gaan de temperaturen van de kamerwanden omhoog, waardoor het behaaglijker wordt. Dan is het mogelijk de luchttemperatuur in de kamer te laten zakken (bijv. tot 19° C) zonder dat het minder behaaglijk wordt. Je spaart door isoleren dubbel energie:

1 er verdwijnt minder warmte naar buiten
2 de temperatuur binnen kan omlaag.



Radiatoren van de c.v. worden meestal onder de ramen geplaatst om de koude lucht die 'van het raam valt' ter plaatse op te warmen en niet over de vloer te laten stromen. En ook om vanaf de raamzijde warmtestraling de kamer in te sturen.



- In welke delen van de centrale-verwarmingsinstallatie wil je warmtetransport door straling *bevorderen*? In welke delen wil je warmtetransport door straling *tegengaan*?

2.3 WARMTETRANSPORT DOOR GELEIDING

Je bent o.a. in *Mensen en metalen* al warmtetransport door geleiding tegengekomen. In proef 5 van hoofdstuk 1 heb je kunnen merken dat sommige metalen warmte beter geleiden dan andere metalen. Niet-metalen geleiden de warmte slecht: het zijn isolatoren.

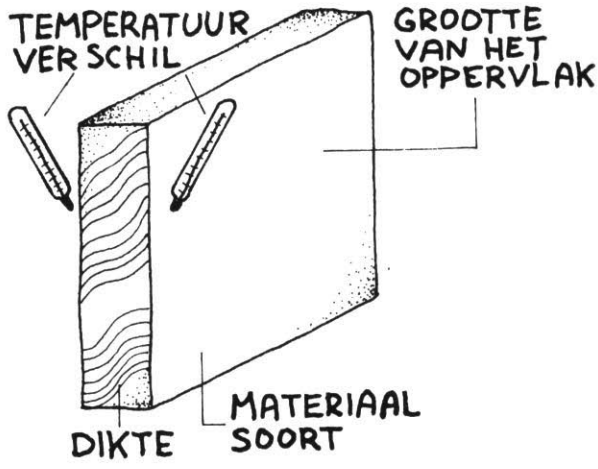
Voor het *isoleren* van een huis zal je stoffen gebruiken die een isolator zijn. Vooral lucht is een goede isolator. Vandaar dat een isolerende luchtlaag ('ingepakt' om stroming te voorkomen, zoals je al gezien hebt) veel wordt toegepast in spouwmuren, glaswol voor isolatie, maar ook truien, dekens enz. Als in een huis veel stalen balken verwerkt zitten zal daardoor vrij veel warmte naar buiten geleid worden. Het zou het beste zijn alleen isolatoren als bouwstoffen te gebruiken. Maar in de praktijk is bijv. ijzer niet weg te denken uit de bouw, o.a. vanwege zijn sterkte.

Voor het *verwarmen* van een huis moet je zorgen voor een goed warmtetransport van de warmtebron naar de kamer. Daarom gebruikt men metalen voor kachels en radiatoren. We zullen warmtegeleiding nu laten zien aan de hand van de radiator van de centrale verwarming.

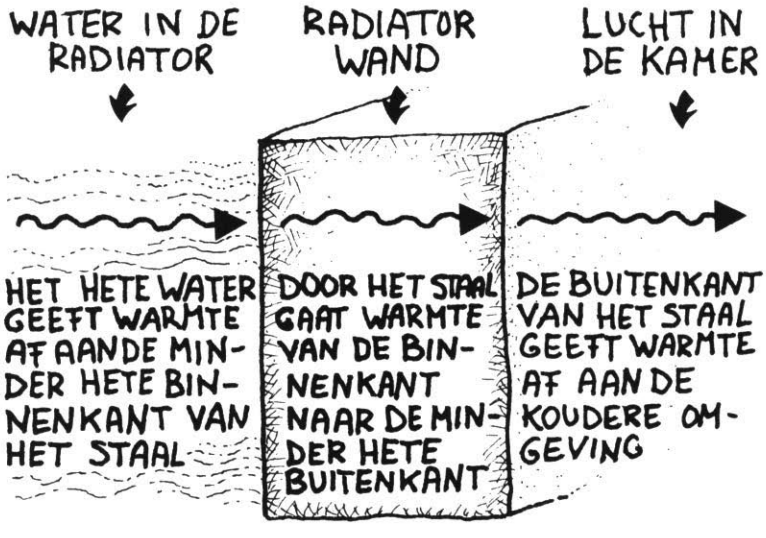
Een radiator geeft warmte af aan zijn omgeving door stroming en door straling. In het metaal vindt ook warmtetransport plaats, maar op een andere manier: door geleiding. Het hete water geeft warmte aan de binnenkant van het metaal, het binnenste laagje geeft warmte aan het volgende laagje, dit weer aan het daaropvolgende enz.
Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de beweging van de deeltjes waaruit het staal bestaat. Al trillende kunnen de ijzeratomen energie doorgeven aan hun buren. Bovendien zwerven er in een metaal ook deeltjes (elektronen) die meedoen aan het doorgeven van energie.
Aan diezelfde elektronen is ook het elektrische geleidingsvermogen van het metaal te danken. De elektronen spelen de belangrijkste rol bij de warmtegeleiding in metalen.

Voor de warmtegeleiding door een metalen plaat zijn belangrijk:

- het temperatuurverschil tussen de oppervlakken, hoe groter temperatuurverschil, hoe groter de warmte-stroom (de hoeveelheid warmte die in een bepaalde tijd getransporteerd wordt)
- de dikte van de plaat: hoe groter de dikte, des te kleiner de warmtestroom bij een gegeven temperatuurverschil
- de grootte van het oppervlak: door een plaat van 1 m^2 gaat een 100 maal zo grote warmte-stroom dan door een plaat van 1 dm^2, bij hetzelfde temperatuurverschil en bij dezelfde dikte
- de aard van het metaal: koper is bijv. een betere warmtegeleider dan ijzer.



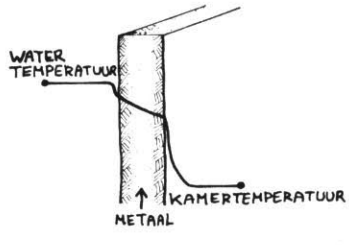
Als de centrale verwarming aanstaat, loopt er een stroom van warmte van binnen de radiator naar de ruimte eromheen. Dat warmtetransport kun je onderscheiden in drie stappen:



1 de overgang van water naar staal
2 het transport door het staal heen
3 de overgang van staal naar lucht.

De derde stap – de overgang van ijzer naar lucht – vormt verreweg de grootste hindernis voor het warmtetransport.

Daardoor is het temperatuurverschil tussen de radiator en de lucht eromheen veel groter dan het temperatuurverschil met het water in de radiator. De radiator is bijna even heet als het water dat er doorheen stroomt.



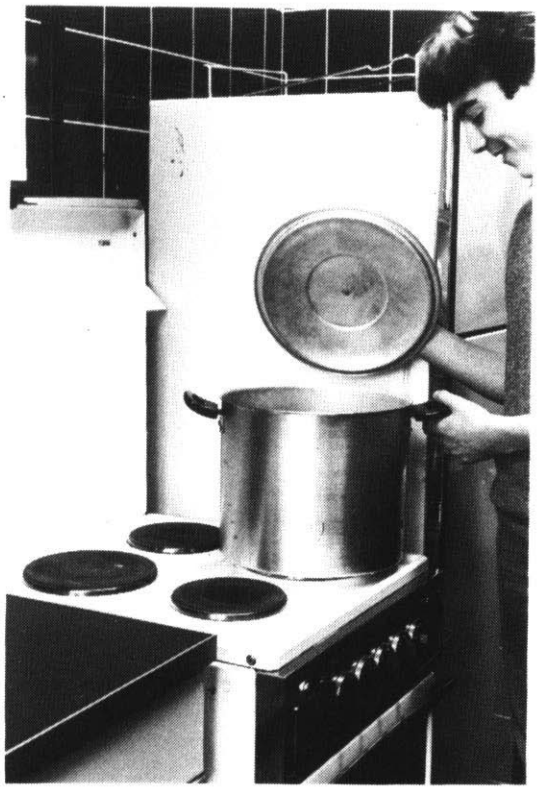
- In welke delen van de centrale-verwarmingsinstallatie wil je warmtetransport door geleiding *bevorderen* en in welke delen wil je dat juist *tegengaan*? Hoe gebeurt dat?

2.4 VRAGEN EN OPDRACHTEN OVER WARMTETRANSPORT

1 Waarom bespaar je energie als je 's avonds de gordijnen dicht doet?
Waarom bespaar je echter geen energie, maar kost het veel energie als je de gordijnen ook voor de radiatoren van de c.v. hangt?

2 Hoe wordt een automotor gekoeld? Leg dat uit voor zowel een watergekoelde als een lucht-gekoelde motor.
3 Waarom isoleert een spouwmuur met spouwmuurvulling beter dan zonder spouwmuurvulling.
4 In de natuur is er ook sprake van natuurlijke convectie, vooral in de kuststreken. Leg uit hoe de lucht zal stromen:
   a in de winter als het land 'koud' (0° C) en de zee 'warm' (10° C) is
   b in de zomer als het land 'warm' (25° C) en de zee 'koud' (15° C) is.

5 Misschien heb je wel eens op een zonnige dag in een onverwarmd zwembad gezwommen en gemerkt dat het water bovenin lekker warm was, maar onderin koud. Waarom vermengt dat warme en koude water zich niet met elkaar?
6 Waarom is het behaaglijker, voor een (warme) tussenmuur dan voor een koude buitenmuur te zitten (2 redenen!).
7 Heb je wel eens gemerkt dat je op een vrij koele bewolkte dag in de zomer (bijv. 17° C) het in huis (ook 17° C) veel minder snel koud krijgt dan op een dag in de winter als het in huis ook 17° C is, maar buiten 0° C? Je hebt op die zomerdag geen trui aan, maar op die winterdag wel, ook binnen! Hoe kan je dat verschil verklaren? Denk aan straling!
8 Waarom verdwijnt door ramen met stalen kozijnen meer warmte naar buiten dan door ramen met houten kozijnen?
9 Een ruit is van glas. Glas is een isolator. Toch verdwijnt er door geleiding door een enkele ruit vrij veel warmte naar buiten. Hoe zou dat komen?
10 Noem een aantal goede warmtegeleiders en een aantal warmte-isolatoren. Bedenk steeds een voorbeeld waarin zo'n geleider of isolator wordt toegepast.
11 Voor elektrisch koken heb je speciale pannen met een vlakke bodem nodig. Leg uit waarom.



Elektrisch koken

3 hoeveel energie?

Hoeveel energie is er nodig om een pan met water aan de kook te brengen? Hoeveel energie gaat daarvan echt in het water zitten? En hoeveel gaat er in de pan zitten of gaat langs de pan heen de lucht in? Deze vragen zijn belangrijk als je precies wilt nagaan hoeveel energie je echt gebruikt voor het doel dat je wilt bereiken (het verwarmen van water) en hoeveel energie (noodzakelijkerwijs?) voor andere dingen (de pan, de lucht) wordt gebruikt. Met andere woorden: hoe doeltreffend gebruiken we onze energie?
In dit hoofdstuk leer je de begrippen *warmtecapaciteit, soortelijke warmte* en *warmte-evenwicht*. Drie begrippen die je nodig hebt om bovenstaande vragen te beantwoorden.

3.1 WARMTECAPACITEIT

In proef 6 van hoofdstuk 1 heb je gezien dat je met dezelfde hoeveelheid energie de ene weerstand een beetje en de andere weerstand een heleboel in temperatuur kan laten stijgen. Hoeveel een voorwerp in temperatuur stijgt, hangt af van de grootte van het voorwerp en van het materiaal waarvan het gemaakt is.

- Alle voorwerpen die hieronder staan, worden verwarmd door ze 1 minuut op of in dezelfde gasvlam van een gasfornuis te zetten. Schrijf de voorwerpen in je schrift op in volgorde van de temperatuurstijging die ze krijgen (het voorwerp met de grootste temperatuurstijging bovenaan de rij). Als je van twee of meer voorwerpen de juiste volgorde niet weet, schrijf dan op wat je méér zou moeten weten om de juiste volgorde te bepalen!

  1 een lege koekepan
  2 een volle pan frituurvet
  3 een speld
  4 een leeg steelpannetje
  5 een volle ketel water

Als je met zekerheid de goede volgorde wilt bepalen, moet je de voorwerpen onderling goed kunnen vergelijken. Daarvoor heeft men in de natuurkunde het begrip *warmtecapaciteit* ingevoerd. Warmtecapaciteit zegt iets over de hoeveelheid warmte die nodig is om een voorwerp 1° C in temperatuur te laten stijgen.

Een grote warmtecapaciteit betekent dat er veel energie nodig is om dat voorwerp 1° C te verwarmen. Er komt dan bij 1° C afkoelen ook veel energie vrij.

Rekenvoorbeeld 1. De pan met frituurvet verwarm je in 5 min. van 20° C tot 50° C. De pan heeft dan 90.000 J energie opgenomen. Voor een temperatuurstijging van 30° C is 90.000 J nodig, dus voor een temperatuurstijging van 1° C is $\frac{90.000}{30^\circ\ C}$ J = 3000 J/°C nodig.
De warmtecapaciteit van de pan met frituurvet is dus 3000 J/°C.

Rekenvoorbeeld 2. Laten we aannemen dat de pannenfabrikant opgeeft dat de koekepan een warmtecapaciteit van 200 J/°C heeft en het steelpannetje 120 J/°C. Welke van de twee wordt dan het heetst als je aan beide pannen 12.000 J energie toevoert? De koekepan heeft voor 1° C 200 J nodig. Met 12.000 J kan die dus $\frac{12000}{200}$ = 60° C in temperatuur stijgen.

Het steelpannetje heeft voor 1° C 120 J nodig. Met 12.000 J kan dat dus $\frac{12.000\ J}{120\ J/^\circ C}$ = 100° C in temperatuur stijgen.

Een volle pan water heeft een grote warmtecapaciteit: het duurt lang voordat het water aan de kook is

Bij een centrale verwarming is het verschil tussen een c.v. met een grote warmtecapaciteit en een c.v. met kleine warmtecapaciteit goed te merken. Een c.v. met een grote warmtecapaciteit zal veel langzamer warm worden. En als je die uitzet, zal het lang duren voordat die is afgekoeld. Denk nu eens aan een c.v. met natuurlijke circulatie en een c.v. met een pomp (par. 2.1.). Door de dikke buizen bevat een c.v. met natuurlijke circulatie veel meer water. Zijn warmtecapaciteit is dus veel groter. Het duurt dus langer voor het hele c.v.-systeem opgewarmd is en de kamers dus verwarmd worden. Een c.v. met pomp is veel sneller opgewarmd, omdat die minder water bevat. Aan de andere kant zal de c.v. met pomp ook eerder zijn warmte kwijt zijn dan de c.v. met natuurlijke circulatie. Bij de moderne c.v.'s is de temperatuur in huis dus veel sneller te regelen.

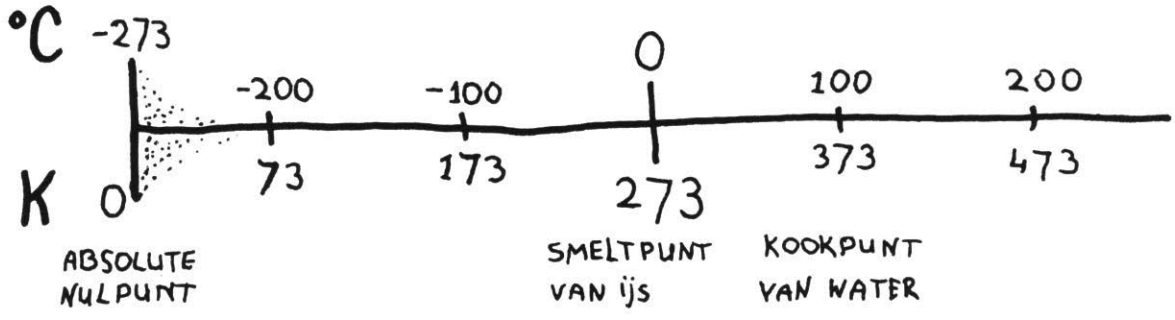
- Rangschik de volgende voorwerpen in je schrift naar de grootte van hun warmtecapaciteit. Zet het voorwerp met de grootste warmtecapaciteit bovenaan de rij:

  1 een wasmachine met water en was
  2 een bad met water
  3 een kopje thee
  4 een lepel

3.2 SOORTELIJKE WARMTE

In proef 7 van hoofdstuk 1 heb je water en olie verwarmd. Ze kregen elk een andere temperatuurstijging. Om een eerlijke vergelijking te maken heb je gelijke (massa-)hoeveelheden moeten nemen. Bovendien heb je gelijke hoeveelheden energie moeten nemen. Omdat water en olie verschillende stoffen zijn, kregen ze bij de proef een verschillende temperatuurstijging. Om dat verschil tussen water en olie aan te geven heeft men in de natuurkunde het begrip *soortelijke warmte* ingevoerd. De soortelijke warmte van water is $4{,}2 \cdot 10^3$ J/kg°C en van olie $1{,}7 \cdot 10^3$ J/kg°C. Dat betekent dat je $4{,}2 \cdot 10^3$ J energie nodig hebt om 1 kg water 1° C warmer te maken. Voor olie is dat $1{,}7 \cdot 10^3$ J. Elke stof heeft zijn eigen soortelijke warmte. Je kunt die vinden in een tabellenboek. We hebben achterin (blz. 77) zo'n tabel opgenomen. Je ziet daar bij soortelijke warmte de eenheid J/kg · K staan. K staat voor kelvin.

In veel tabellen zie je de kelvin (K) als eenheid van temperatuur staan in plaats van de graad celcius (°C).
Een temperatuur*stijging* van 1 K komt overeen met een temperatuurstijging van 1° C. Voor soortelijke warmte en warmtecapaciteit maakt het dus niet uit of je over *temperatuurstijging* in °C of K praat. Die zijn immers gelijk. Alleen als je echt de *temperatuur* wilt weten maakt het uit of je °C of K gebruikt. De kelvin-schaal begint alleen ergens anders te tellen dan de celcius-schaal. Celcius heeft als nulpunt gekozen het smeltpunt van ijs. Het nulpunt van de kelvin-schaal heeft men genomen bij het 'absolute nulpunt', de laagste temperatuur die je ooit kunt bereiken. Die temperatuur ligt bij −273° C. Dus 0 K is gelijk aan −273° C. Dan moet 273 K gelijk zijn aan 0° C.



In formulevorm: T (in K) = t (in °C) + 273.
Probeer zelf om te rekenen in °C: 100 K; 300 K; 600 K

in K: 100° C; − 30° C; 20° C

- Rangschik de volgende stoffen naar de grootte van hun soortelijke warmte. Probeer dat eerst eens zonder in je tabellenboek te kijken. Controleer daarna jouw volgorde aan de hand van de gegevens in het tabellenboek.

a ijzer	d olijfolie
b lood	e steen
c water	f aluminium

Rekenvoorbeeld 1: Hoeveel warmte is nodig om 0,5 liter water van 20° C tot 100° C te verwarmen?
– De soortelijke warmte van water is 4200 J/kg · K (tabellenboekje). Dus voor 1 liter (1 kg) water is nodig 4200 J bij 1° C temperatuurverhoging.
Voor 0,5 liter (0,5 kg) en 1° C temperatuurverhoging is 2100 J nodig.
Voor 0,5 liter en 80° C temperatuurverhoging is 80 x 2100 = 1,68 · 10^5 J nodig.
In het kort: de benodigde warmte is 0,5 kg x 80 K x 4200 J/kg · K = 1,68 · 10^5 J.

Rekenvoorbeeld 2: Hoeveel warmte is nodig om een ijzeren pan van 250 g van 20° C tot 100° C te verwarmen?
– De soortelijke warmte van ijzer is 460 J/kg · K. Dus voor 1 kg ijzer en 1° C temperatuurstijging is 460 J nodig.
Voor 0,25 kg ijzer en 1° C temperatuurstijging is 126 J nodig.
Voor 0,25 kg ijzer en 80°C temperatuurstijging is 0,10 · 10^5 J nodig.
In het kort: de benodigde warmte is 0,25 kg x 80 K x 460 J/kg · K = 0,10 · 10^5 J.

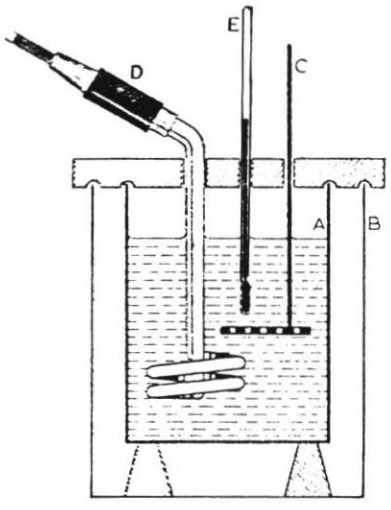
Rekenvoorbeeld 3: Hoeveel warmte is nodig om een ijzeren pan met 250 g water van 20° C naar 100° C te verwarmen?
– Voorbeeld 1 en 2 samen: 1,68 · 10^5 J voor het water en 0,10 · 10^4 J voor de pan.
Samen 1,78 · 10^5 J.

Wij hebben bij al deze rekenvoorbeelden geen rekening gehouden met warmteverliezen door straling, convectie, geleiding of verdamping.

Omdat water een grote soortelijke warmte heeft, vergeleken bij andere stoffen (controleer dat in de tabel!) is water erg geschikt voor de opslag van warmte bij een zonnecollector. Als de zon overdag schijnt moet de warmte die door de zonnecollector is opgevangen, opgespaard worden voor 's avonds, of voor dagen dat de zon niet schijnt.

Een meetinstrument voor soortelijke warmte

In een laboratorium, waar men de soortelijke warmte van verschillende stoffen wil meten, maakt men gebruik van een apparaat dat vroeger calorimeter werd genoemd. Warmte-energie drukte men vroeger, en nu ook nog wel, uit in de eenheid calorie. Tegenwoordig kan je spreken van een joulemeter of een joulebak. In de meeste scholen kan je er wel een vinden.



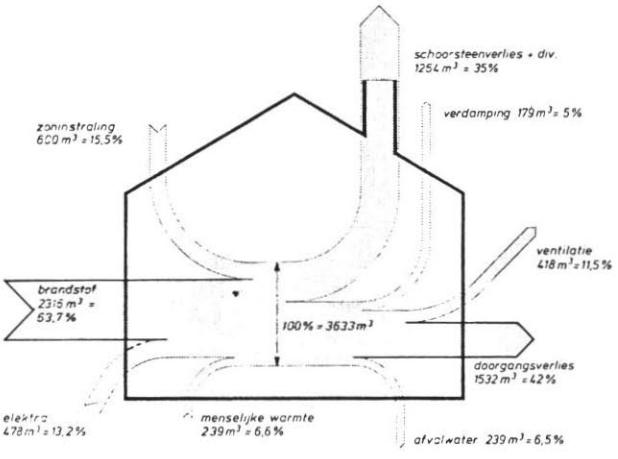
De joulemeter bestaat uit een dubbele bak (AB) met isolatiemateriaal er tussen en een deksel erop. Daardoor kan er vrijwel geen warmte van binnen naar buiten of omgekeerd.
Je kan er een bekende hoeveelheid vloeistof indoen, waarvan je de soortelijke warmte wilt weten. Met de dompelaar (D) kan je een bekende hoeveelheid warmte aan de vloeistof toevoeren (hoe?). Met de thermometer (E) meet je de temperatuurstijging. Met de roerder (C) kan je er voor zorgen dat de warmte goed verdeeld wordt in de joulemeter. Je kunt dan de soortelijke warmte uitrekenen omdat massa, temperatuurstijging en toegevoerde warmte bekend zijn. De warmtecapaciteit van de joulemeter moet bekend zijn zodat je weet hoeveel van de toegevoerde warmte is gaan zitten in temperatuurverhoging van de joulemeter zo klein mogelijk is.

- Zoek op welke van de vloeistoffen in de tabel de kleinste en welke de grootste soortelijke warmte heeft. Kan je apparaten noemen waarin die eigenschappen van die vloeistoffen worden toegepast?

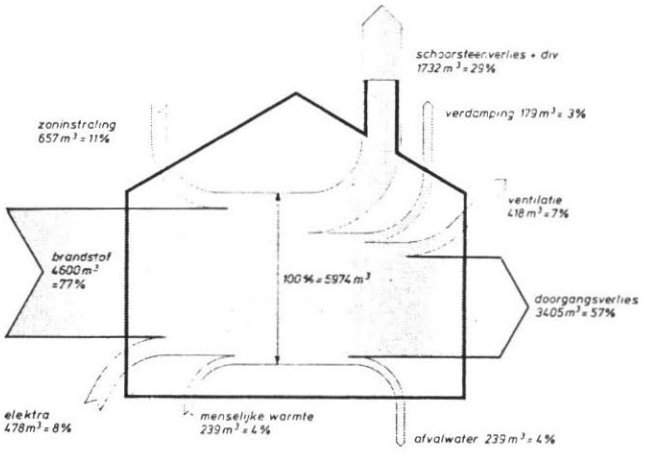
3.3 WARMTE-EVENWICHT

In veel gevallen moet je energie toevoeren terwijl de temperatuur constant blijft. Als het buiten koud is, moet je binnen de kachel of verwarming aan laten om de temperatuur op 20° C te houden. Dat betekent dat je door straling, stroming en geleiding even veel energie naar buiten kwijtraakt als de kachel levert. We spreken dan over warmte-evenwicht. Als je de kamer zó goed zou isoleren, dat er helemaal geen energie naar buiten lekte, dan zou de kachel uit kunnen zodra de temperatuur 20° C was. In de praktijk is dat onmogelijk:

1 Vanwege de noodzaak van ventilatie: er is steeds verse (buiten)lucht nodig voor de mensen in de kamer
2 Het is onmogelijk het energieverlies door straling, stroming en geleiding helemaal nul te maken.

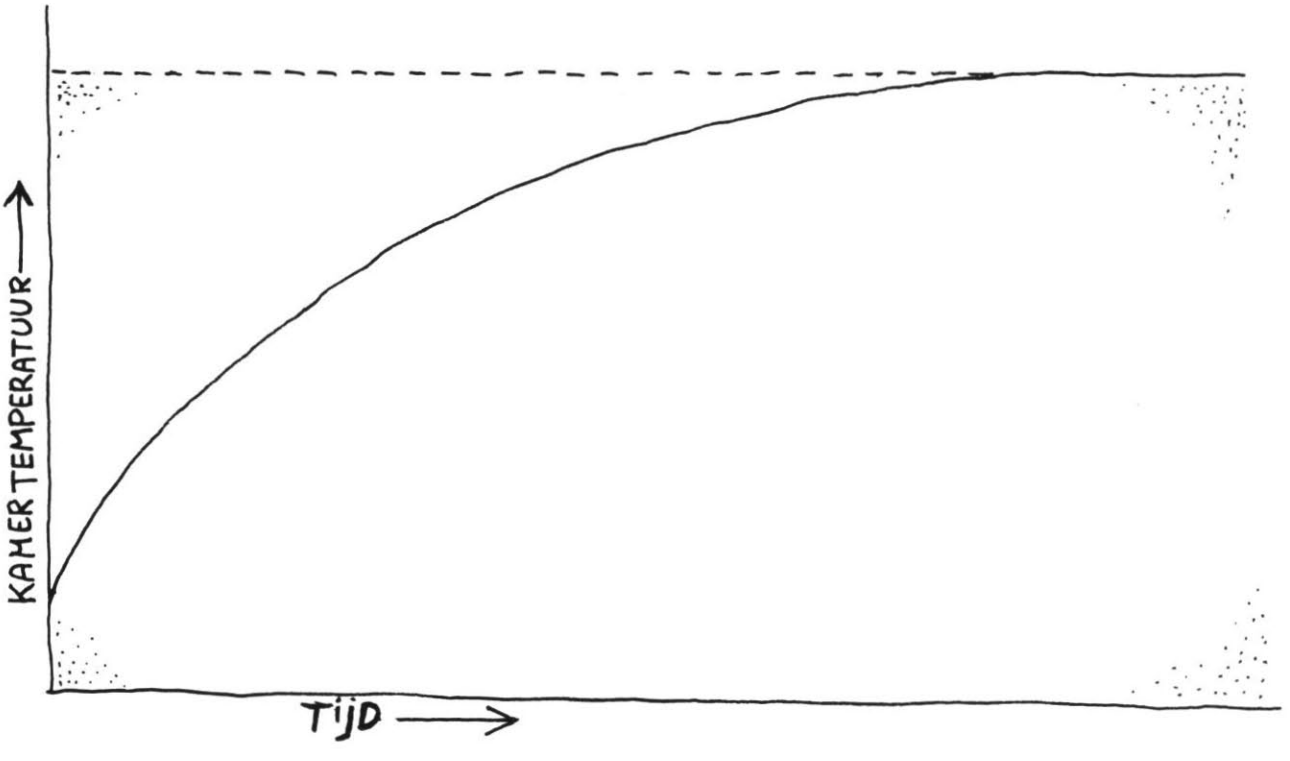


Warmtebalans van een 'gemiddelde' goed geïsoleerde woning met c.v.



Warmtebalans van een 'gemiddelde' niet geïsoleerde woning met c.v.

Als je in een koude kamer (bijv. 5° C) de verwarming aanzet, zal de energie eerst worden gebruikt om de lucht en de spullen in de kamer in temperatuur te verhogen.
Naarmate de temperatuur stijgt, zal het energieverlies naar buiten ook toenemen, zodat de temperatuurstijging steeds minder snel gaat en er uiteindelijk een evenwicht komt: per tijd komt er even veel energie in de verwarming vrij als er energieverlies naar buiten is.
In de grafiek is de temperatuur in de kamer uitgezet tegen de tijd dat de verwarming aanstaat.



- Teken hoe bovenstaande grafiek ongeveer zou lopen:
  a als de kamer beter geïsoleerd zou zijn.
  b als de warmtecapaciteit van de kamer kleiner zou zijn.
  c als we één van de radiatoren zouden dichtdraaien.

3.4 VRAGEN EN OPDRACHTEN OVER HOEVEEL ENERGIE

1 Als je water gaat verwarmen, moet je behalve het water ook een pan of ketel verwarmen waar het water in zit. Het is dan een voordeel als je een pan neemt met een kleine warmtecapaciteit. Leg dat eens uit.
2 Een pan met spinazie heeft een warmtecapaciteit van 5000 J/°C. Hoeveel warmte moet ik toevoeren (afgezien van het warmteverlies) om de spinazie van kamertemperatuur (20° C) aan de kook te brengen?
3 Een kamer in de winter wordt van 5° C opgewarmd tot 20° C. Daarvoor is 6 miljoen joule warmte nodig. Hoe groot is de warmtecapaciteit van de kamer? We nemen even voor het gemak aan dat de kamer geen warmte aan de omgeving afstaat.
4 Bij de toepassing van zonnewarmte in huis heb je een warmteopslagvat met grote warmtecapaciteit nodig. Leg uit waarom.
5 Door zijn grote soortelijke warmte is water ook heel geschikt als vloeistof om warmte te transporteren in een c.v.-installatie. Leg dat uit!
6 Hoeveel energie is er nodig om 1 liter water 10° C in temperatuur te doen stijgen?
7 Hoeveel energie is er nodig om 50 ml water 40° C in temperatuur te doen stijgen?
8 Hoeveel energie is er nodig om 150 ml water 25° C in temperatuur te laten stijgen?
9 Bereken hoeveel liter water van 10° C aan de kook gebracht kan worden met 1 kWh.
10 Bij de hoogovens moet een blok ijzer van 1500 kg van 200° C afgekoeld worden tot 20° C. Hoeveel energie komt daarbij vrij?
11 Men denkt er over om in de zomer opgevangen zonnewarmte op te slaan om het in de winter weer te gebruiken. Omdat daarvoor een erg grote watertank nodig zou zijn, wat bezwaarlijk en duur is, denkt men ook wel aan warmteopslag in een vaste stof.
Welke vaste stof zou volgens jou het beste zijn?
Denk daarbij o.a. aan soortelijke warmte. Gebruik de tabellen.
12 Voor het verwarmen van 500 g van een bepaald soort metaal van 5° C tot 20° C is 1000 J nodig. Bereken de soortelijke warmte van dat metaal. Welk metaal zou dat kunnen zijn?
13 Hoeveel energie is nodig om een aluminiumpan (100 g) met 1,5 liter water van 15° C aan de kook te brengen?
14 Als je in de winter in een huis verblijft waar de verwarming al dagen uit is, dan is de temperatuur binnen toch hoger dan buiten. Geef daarvoor twee mogelijke oorzaken.
15 Probeer zelf de grafiek te schetsen van de temperatuur in de kamer en de tijd dat de verwarming uitstaat.
Neem als begintemperatuur 20° C en neem aan dat het buiten 0° C is.
(In onderzoek 5 van het onderzoekdeel kan je afkoelen verder bestuderen).

4 verwarmen van water

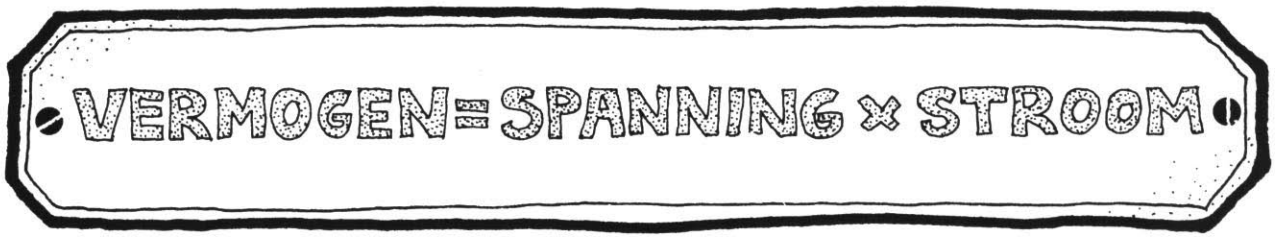
Bij verwarmen van water wordt een deel van de energie gebruikt voor het verhogen van de temperatuur van het water. Een ander deel verdwijnt door verwarming van de lucht en de omgeving, wordt weer door het water aan de omgeving afgestaan door straling, stroming of geleiding of verdwijnt door het verdampen van het water. Als je zuinig water wilt verwarmen, moet je er voor zorgen dat deze verliezen zo klein mogelijk zijn.
In dit hoofdstuk zullen we gaan werken met *rendement* en zullen we zien dat een apparaat zuiniger met energie omspringt als zijn rendement groter is.
Om de rendementen uit te rekenen zullen we *warmtecapaciteit* (zie 3.1), *soortelijke warmte* (zie 3.2) en *vermogen* nodig hebben.

4.1 VERMOGEN

Water op een lage gasvlam zal slechts langzaam warm worden. Als je de vlam hoger zet, zal er meer warmte vrijkomen en gaat het water sneller koken. Belangrijk is dus hoe snel de energie in de gasvlam vrijkomt. Daarover zegt *vermogen* iets. Het vermogen van een gasvlam is de energie die per seconde in de vlam vrijkomt. Het vermogen van een dompelaar is eveneens de energie die per seconde in de dompelaar vrijkomt. Het vermogen van een automotor is de energie die per seconde in de motor vrijkomt.
De eenheid van vermogen is de watt (W). Een apparaat heeft een vermogen van één watt als er 1 joule energie per seconde vrijkomt. (1 W = 1 J/s).

Algemeen geldt dus: vermogen $P = \dfrac{\text{energie } E \text{ die vrijkomt}}{\text{tijd } t}$

In het geval van elektrische energie kan je elektrisch vermogen ook uitrekenen via de spanning en de stroom, zoals je in *Energie thuis* al bent tegengekomen.



in formulevorm $P = V \times I$

Voorbeeld 1 Als een gasvlam 96 kJ levert in één minuut, dan is haar vermogen dus

$$P = \frac{96 \cdot 10^3 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 1{,}6 \cdot 10^3 \text{ J/s} = 1{,}6 \cdot 10^3 \text{ W} = 1{,}6 \text{ kW}$$

Voorbeeld 2 Als er een stroom van 5 A door een weerstand gaat waarover 12 V spanning staat, dan wordt er in de weerstand 12 V · 5 A = 10 W vermogen ontwikkeld aan warmte. In 2 minuten (120 s) zal er dus aan energie vrijkomen 120 s x 60 W = 7200 Ws = 7200 J.

4.2 RENDEMENT

Met behulp van de *soortelijke warmte* van water kun je precies *uitrekenen* hoeveel energie je nodig hebt om een bepaalde hoeveelheid water te verwarmen. Maar als je gaat *meten* blijkt, dat je méér warmte nodig gehad hebt. We zullen dat aan de hand van een voorbeeld laten zien.

Voorbeeld

Jan verwarmt water met een dompelaar

Jan wil 0,75 liter water van 18° C aan de kook brengen. Voordat hij die proef doet en gaat meten, wil hij eerst berekenen wat er uit moet komen. Hij rekent uit dat de massa van het water 0,75 kg is en de temperatuurstijging 82° C. In zijn tabellenboekje ziet hij dat de soortelijke warmte van water 4200 J/kg · K is.
Hij zegt: Ik heb dus 0,75 kg x 82 K x 4200 J/kg · K = $2{,}6 \cdot 10^5$ J warmte nodig. Hij gaat de proef uitvoeren door een bekerglas met 0,75 liter water met een dompelaar te verwarmen. Hij sluit de dompelaar via een kWh-meter aan op het lichtnet.
Als de kWh-meter 100 omwentelingen heeft gemaakt, kookt het water. Op de kWh-meter staat aangegeven dat 1200 omwentelingen 1 kWh energieverbruik betekent. 100 omwentelingen is dus:

$$\frac{1}{12}\text{ kWh} = \frac{1}{12} 3{,}6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3{,}0 \cdot 10^5 \text{ J}$$

kWh-meter

1 Als vermogen van de dompelaar staat opgegeven 300 W. Hoe lang heeft de dompelaar aangestaan?

Jan is verbaasd. Hij heeft uitgerekend dat er $2{,}6 \cdot 10^5$ J nodig zijn, maar bij de proef blijkt dat er $3{,}0 \cdot 10^5$ J nodig is. Dat is dus $0{,}4 \cdot 10^5$ J meer! Die zijn wel door de dompelaar geleverd, maar zijn niet gebruikt om het water te verwarmen.

2 Op welke manieren kan er energie die door de dompelaar in het water ontwikkeld wordt, uit het bekerglas weglekken? Noem minstens 4 manieren.

Bij verwarmen van water treden altijd *energieverliezen* op. Daarmee bedoelen we, dat de energie voor iets anders gebruikt wordt dan voor het verwarmen van het water. Het bekerglas wordt warm. Er verdampt wat water. De lucht rond het bekerglas wordt wat verwarmd en er is wat energie nodig voor de temperatuurstijging van de dompelaar zelf. Er is dus geen energie echt weg, verdwenen, maar in iets anders dan het water gaan zitten. Er bestaat een natuurkundige wet die zegt dat er geen energie kan verdwijnen.

Om nu aan te geven welk deel van de toegevoerde energie gebruikt werd voor het doel waarvoor het bestemd was (het verwarmen van water) gebruiken we het begrip *rendement*. We kunnen het rendement voor het verwarmen van water uitrekenen met de regel:

$$\text{Het } \textit{rendement} \text{ is } \frac{\text{energie nodig voor het verwarmen van water}}{\text{toegevoerde energie}}$$

Meestal wordt het rendement in procenten uitgedrukt:

$$\text{Het } \textit{rendement} \text{ (in \%) is } \frac{\text{energie nodig voor het verwarmen van water}}{\text{toegevoerde energie}} \times 100\%$$

Jan kan nu het rendement van zijn proef uitrekenen:

$$\text{Het rendement is } \frac{2{,}6 \cdot 10^5 \text{ J}}{3{,}0 \cdot 10^5 \text{ J}} \times 100\% = 87\%$$

13% van alle toegevoegde energie is dus aan de omgeving van het water afgestaan.

Een andere leerling, Tiny, gaat ook 0,75 liter water van 18° C aan de kook brengen. Maar zij gebruikt daarvoor een aardgasbrander. Zij leest op de gasmeter af dat er 0,0216 m^3 aardgas voor nodig is. Gegeven is dat 1 m^3 aardgas bij verbranding $30 \cdot 10^6$ J warmte-energie afgeeft. Voor het verwarmen van het water was dus nodig:

$0{,}0216 \times 30 \cdot 10^6 = 6{,}5 \cdot 10^5$ J

Tiny vindt als rendement $\frac{2{,}6 \cdot 10^5}{6{,}5 \cdot 10^5} \times 100\% = 40\%$

Bij verwarmen op aardgas zijn de energieverliezen (60%) dus veel groter dan bij elektrisch verwarmen (13%).

3 Op welke manieren kan er bij verwarming op aardgas energie 'verloren' gaan?
Waarom staat 'verloren' tussen aanhalingstekens?

Tiny verwarmt water op een aardgasbrander

De vraag is of de vergelijking tussen elektrisch verwarmen en verwarmen op aardgas eerlijk is. Tiny vindt van niet. Zij zegt: het rendement van verwarming op aardgas is hoger. Om elektriciteit op te wekken heb je aardgas (of een andere brandstof) nodig. Dat aardgas wordt in de centrale met een rendement van 35% omgezet in elektriciteit. Om $3{,}0 \cdot 10^5$ J elektrische energie op te wekken is dus aan aardgas nodig geweest: $\frac{100}{35} \times 3{,}0 \cdot 10^5 = 8{,}6 \cdot 10^5$ J

Het echte rendement van het elektrisch verwarmen is dus:

$$\frac{2{,}6 \cdot 10^5 \cdot 100\%}{8{,}6 \cdot 10^5} = 30\ \%$$

Hoe hoger het rendement van een apparaat, des te zuiniger het apparaat met zijn energie omspringt. Voor de energiebesparing is het dus belangrijk apparaten met een hoog rendement te gebruiken. In het onderzoekdeel van dit thema kan je een paar onderzoeken naar de mogelijkheden van rendementsverbeteringen bij het koken van water vinden.

4.3 PROEVEN OVER RENDEMENT EN VERMOGEN

In het thema *Energie Thuis* heb je al proeven kunnen doen over het verwarmen van water. Je hebt toen uitgerekend hoeveel energie je nodig hebt voor het aan de kook brengen van 1,0 liter water op elektrisch, op butagas en op aardgas.

OM 1,0 L WATER AAN DE KOOK TE BRENGEN, IS NODIG:

AARDGAS	BUTAGAS	ELECTRICITEIT
..... M^3	..... GRAM	..... kWh
f	f	f .....
..... J	..... J	..... J (BIJ DE CENTRALE)

Jullie zullen die proeven nog eens gaan doen, maar nu moet je het rendement van het verwarmen van water uitrekenen. Daarom worden de proeven wat uitgebreider:

1 Je hoeft nu geen 1,0 liter water te nemen. Je kiest (en meet) zelf een hoeveelheid water.
2 Bepaal het vermogen van het verwarmingsapparaat. Zelfs als dat vermogen gegeven is, is het goed dat toch te meten. Vaak blijkt de opgegeven waarde niet helemaal juist te zijn. Verder moet je de tijd meten dat het verwarmingsapparaat aanstaat.
3 De grootte van de temperatuurstijging kan het rendement nogal beïnvloeden. Voer, als je genoeg tijd hebt, twee proeven uit:
   – één keer verhoog je de temperatuur tot ongeveer 50° C (48° C of 54° C mag ook),
   – één keer verhoog je de temperatuur tot ongeveer 95° C.
   Vergelijk de rendementen met elkaar.
4 Als je het verwarmingsapparaat uitzet, kan de temperatuur nog even verder omhooggaan omdat het verwarmingsapparaat nog erg heet is en nog wat warmte afgeeft. Wacht dus met het aflezen van de temperatuur tot de thermometer niet meer verder oploopt.
5 Vergeet niet te roeren.

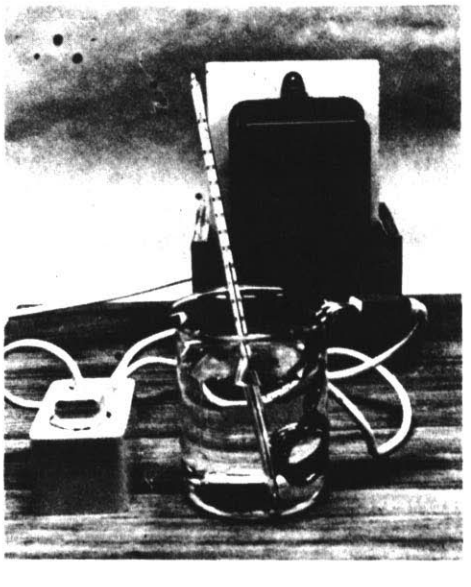
Je zult één van de volgende proeven met je groepje gaan doen. Kies een proef die je nog niet gedaan hebt bij *Energie Thuis.*
Elk groepje moet verslag doen aan de klas over zijn metingen en berekeningen. Schrijf alles dus netjes op.

Bij de berekeningen mag je gebruik maken van de volgende gegevens:

1 kWh	ELECTRICITEIT	LEVERT	3.600.000 J
1 M^3	AARDGAS	LEVERT	30.000.000 J
1 GRAM	BUTAGAS	LEVERT	55.600 J

PROEF 1 **Het rendement van een dompelaar**

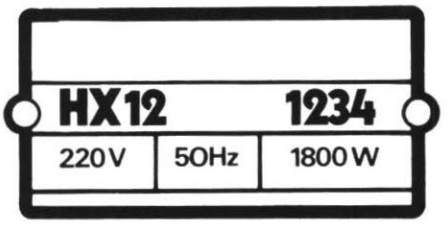
Bepaal het rendement van een dompelaar (220 V; 300 W).
Als je over een kWh-meter kan beschikken, bepaal dan ook het vermogen door de kWh-meter af te lezen en de tijd, dat de dompelaar aanstaat, op te meten.



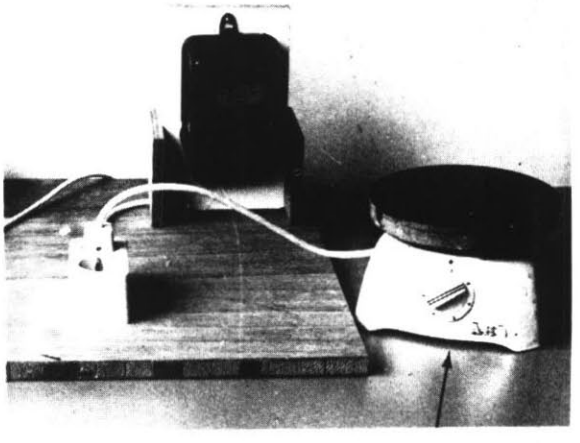
1 Zijn het opgegeven en het gemeten vermogen gelijk? Wat zou een verklaring kunnen zijn voor een verschil tussen die twee? Welke is het meest betrouwbaar en gebruik je in je berekeningen?
2 Bereken ook het rendement, rekening houdend met het rendement van de elektrische centrale (35%).

PROEF 2 **Het rendement van een kookplaat**

Bepaal het rendement van een kookplaat (220 V). Het vermogen van de meeste kookplaten staat op een plaatje op de zijkant aangegeven.
Als je over een kWh-meter kan beschikken, bepaal dan ook het vermogen door de kWh-meter af te lezen en de tijd, dat de kookplaat aanstaat, op te meten.

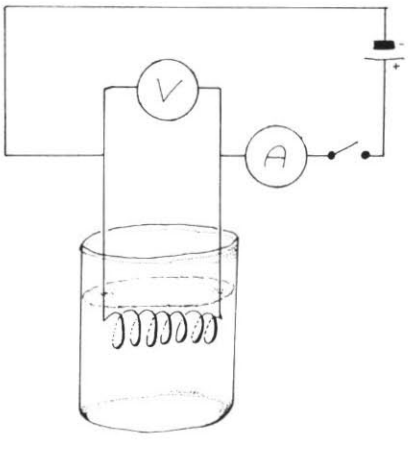


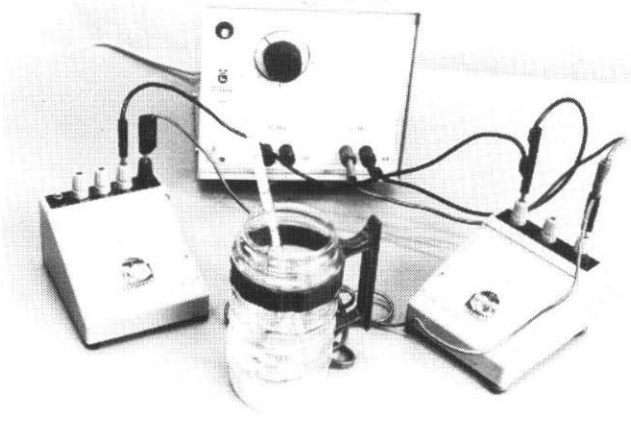
1 Zijn het opgegeven en het gemeten vermogen aan elkaar gelijk? Wat zou een verklaring kunnen zijn voor een verschil tussen die twee? Welke is het meest betrouwbaar en gebruik je in je berekeningen?
2 Bereken ook het rendement, rekening houdend met het rendement van de elektrische centrale (35%).



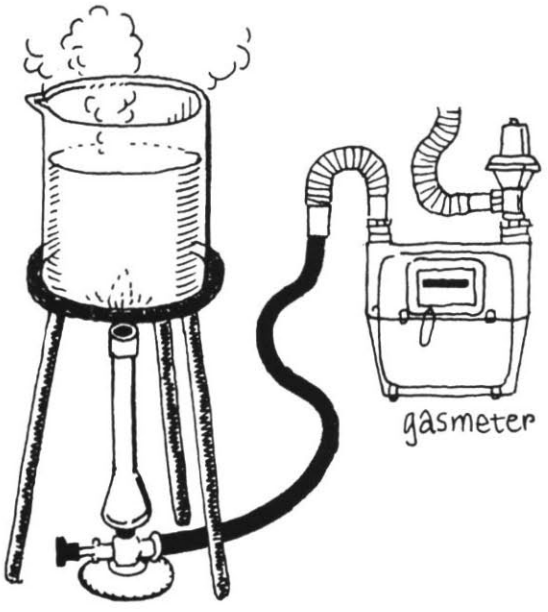
PROEF 3 **Het rendement van een laagspanningsdompelaar**

Bepaal het rendement van een laagspannings-dompelaar.
Om het vermogen van de dompelaar te bepalen kan je de spanning over de dompelaar en de stroom door de dompelaar meten met een volt- en ampère-meter.
Bij deze opstelling mag je dat doen, omdat je met lage spanningen werkt (max. 24 V!)
Bij 220 V mag je nooit een volt- en ampèremeter gebruiken, omdat dat veel te gevaarlijk is.
Maak de volgende schakeling:





Sluit de schakelaar en draai de spanning op. De ampèremeter mag echter niet meer aangeven dan de maximum stroom die de spanningskast kan leveren. Die maximum stroom staat op de spanningskast aangegeven.



PROEF 4 **Het rendement van een aardgasbrander**

Bepaal het rendement van een aardgasbrander. De verbruikte hoeveelheid gas meet je met een gasmeter.

Als op school geen gasmeter aanwezig is, kun je de proef ook thuis doen. Overleg met je ouders! Zet alle apparaten die gas verbruiken uit. Ook waakvlammen! Je kunt ook een correctie berekenen voor het gasgebruik van de waakvlammen. Lees de stand van de gasmeter af. Verwarm het water en doe de nodige metingen. Lees daarna de gasmeter weer af.

PROEF 5 **Het rendement van een butagasbrander**

Bepaal het rendement van een butagasbrander. De verbruikte hoeveelheid gas kun je bepalen door de brander vóór en na de proef te wegen.

4.4 VRAGEN EN OPDRACHTEN OVER VERWARMEN VAN WATER

1 Hoeveel kWh verbruikt een gloeispiraal van een elektrische kachel met een vermogen van 1000 W als die 12 uur aanstaat?
2 Hoeveel kWh verbruikt een lamp met een vermogen van 100 W, als hij 2 uur brandt?
3 Hoeveel kWh verbruikt een gloeikachel met een vermogen van 2000 W in een half uur?
4 Hoeveel kWh levert de verbranding van 10 m^3 aardgas op, als je weet dat 1 m^3 aardgas een verbrandingswarmte heeft van $30 \cdot 10^6$ J?
5 Hoeveel kWh verbruikt een dompelaar met een vermogen van 300 W, die 10 minuten aanstaat? Hoeveel kWh levert die dompelaar in de vorm van warmte?
6 Hoeveel energie (in joule) verbruikt een lamp met een vermogen van 100 watt, die 2 uur aanstaat?
7 Hoeveel energie (in joule) verbruikt een gloeikachel met een vermogen van 1000 W, die 2 uur aanstaat?
8 Een gloeispiraal in een joulemeter heeft een vermogen van 5 W. Hoeveel warmte staat hij af, als hij een half uur staat te gloeien.
9 Hoeveel energie staat dit gloeikacheltje af in 6 uur? (uit te rekenen in kWh en in joule).

10 Hoeveel energie heeft een gloeispiraal verbruikt, als hij 1 uur heeft aangestaan en de spanning over de gloeispiraal in die tijd 12 volt was en de stroom door de gloeispiraal in die tijd 0,5 ampère was.

11 Iemand meet een spanning van 6 volt over een gloeispiraal en een stroom van 0,3 ampère door de gloeispiraal.
Wat is het vermogen van deze verwarmingsbron?
Hoeveel energie levert deze in één kwartier.

12 Welke van de verwarmingsapparaten, die in de proef 1 t/m 5 gebruikt zijn, heeft het hoogste rendement?
In *Energie Thuis* heb je ook gekeken naar de kosten van het koken met water.
Is het apparaat met het hoogste rendement ook het goedkoopst in gebruik? Waardoor worden de kosten nog meer bepaald dan door het rendement?

tabel OPWARMTIJD EN VERBRUIK

soort	vermogen (gemiddeld)	opwarmen van 1½ liter water (20 tot 95 °C) opwarmtijd (gemiddeld)	verbruik (gemiddeld)
	watt	min	
gaskookbrander			
groot	ca 2800	5½	30 l gas
normaal	ca 2000	6½	27 l gas
sudder	ca 900	15½	26 l gas
elektrische kookplaat			
14,5 cm			
automatisch	ca 1500	9½	234 Wh
snel	ca 1500	10½	238 Wh
normaal	ca 1000	13½	224 Wh
18 cm			
automatisch	ca 2000	7½	264 Wh
snel	ca 2000	7½	265 Wh
normaal	ca 1500	9½	245 Wh

13 In leestekst 6 vind je de hiernaast afgedrukte tabel die door de Consumentenbond is opgemeten bij een onderzoek naar kooktoestellen.
Bereken het rendement van één gaskookbrander en één kookplaat.
Controleer bovendien of de daarbij opgegeven vermogens kloppen.

14 Wat zijn de voordelen en nadelen van elektrisch koken? En van koken op gas? (Zie leestekst 6)
Waarop zou jij het liefst koken? Waarom?

15 Met een dompelaar van 300 W wordt $2\frac{1}{2}$ liter water verwarmd van 20° C tot 60° C in een half uur.
Wat is het rendement van deze proef?

16 Op een kookplaat wordt 1,5 l water van 15° C aan de kook gebracht. De kWh-meter is 320 maal rond gegaan (voor 1 kWh zijn 1200 omwentelingen nodig).
Bereken het rendement van de kookplaat.
Bereken bovendien het vermogen van de kookplaat. Gegeven is dat de kookplaat 11 min heeft aangestaan.

17 Hoe sluit je een volt- en ampèremeter aan, als je het vermogen van de laagspanningsdompelaar wilt meten?

18 Een dompelaar wordt aangesloten op een spanning van 12 V. Er gaat een stroom lopen van 5 A. De dompelaar zit in een bekerglas met 300 ml water. Hoe lang moet de dompelaar aanstaan om de temperatuur van het water 40° C te laten stijgen. Het rendement is 90%.

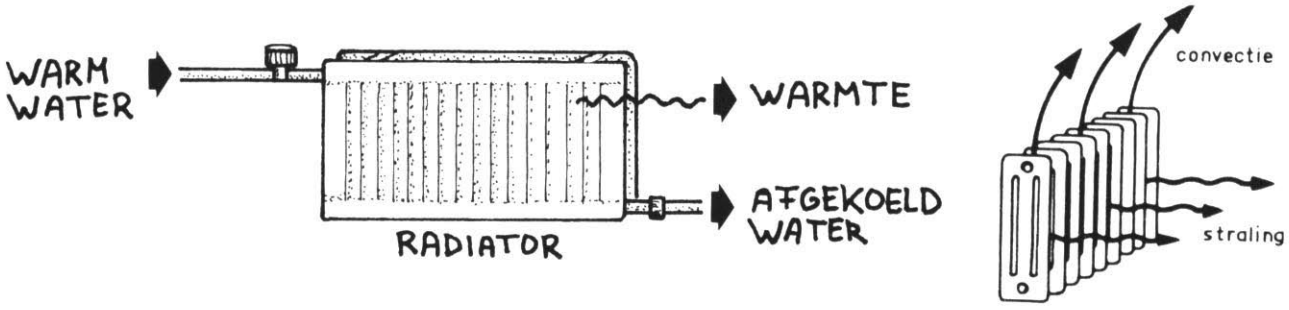
19 Een aardgasvlam van een fornuis verwarmt een ketel met 1,2 l water in 5 min van 20° C tot het kookpunt. De gaspit staat hoog. De fabrikant van het fornuis heeft opgegeven dat de gaspit dan een vermogen van 2,2 kW levert.
Hoe groot is het rendement van de gaspit?
Hoeveel m^3 aardgas is dan verbruikt?

20 Een butagasbrander verwarmt een pan met 0,8 l water van 13° C in 6 min tot het kookpunt. Er blijkt 21 g butagas verbruikt te zijn.
Bereken het rendement en het vermogen van de butagasbrander.

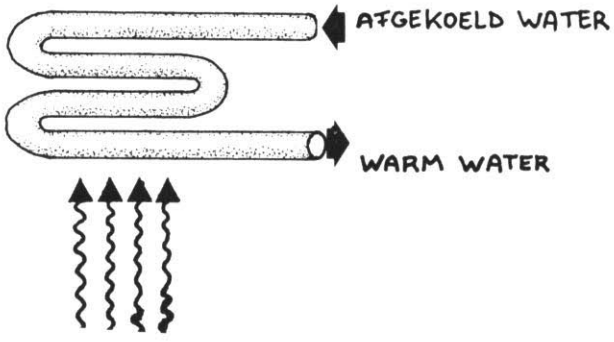
5 de centrale verwarming

5.1 DE WERKING VAN EEN C.V.

In steeds meer huizen vind je een centraal-verwarmingssysteem. Op één plek in huis wordt een hoeveelheid warmte ontwikkeld via verbranding van gas of olie en die warmte wordt naar verschillende ruimten getransporteerd. Soms wordt de warmte getransporteerd in de vorm van hete lucht. Door blazers wordt de hete lucht door het huis geblazen. Meestal echter gebeurt het door water op te warmen en dit naar diverse plaatsen in het huis te transporteren, waar het afkoelt. De warmte wordt via de radiator aan de lucht in de kamers afgestaan. Eigenlijk is dit een *warmtewisselaar*: de warmte gaat van het c.v.-systeem naar de kamer (door straling en convectie).

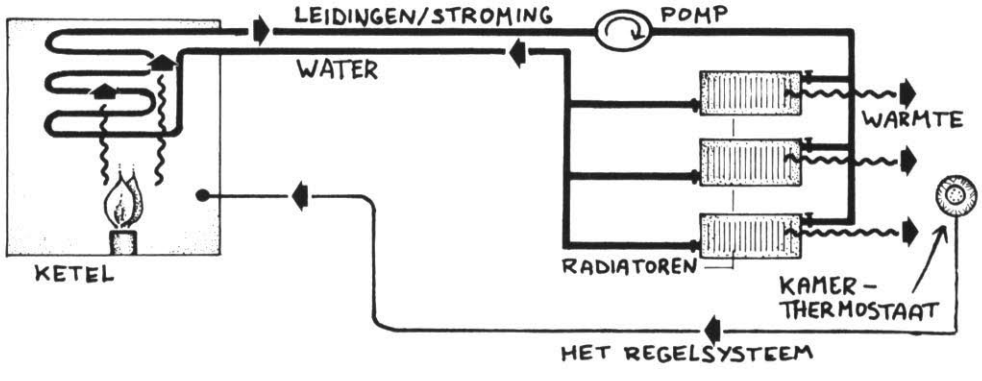


Dat warme water komt van de ketel. In de ketel wordt gas of olie verbrand en daarmee wordt het water verwarmd. Eigenlijk is dit ook een warmtewisselaar, maar nu gaat de warmte van de verbrandingsgassen naar het water.



Tenslotte is er nog een 'regelsysteem', dat er voor zorgt dat de lucht in de kamers ongeveer dezelfde temperatuur houdt. Via de thermostaat wordt een signaal naar de ketel gestuurd. Hoe de regeling in zijn werk gaat, zul je in het thema *Schakelen en regelen* te weten komen. Daar gaan we nu niet verder op in.

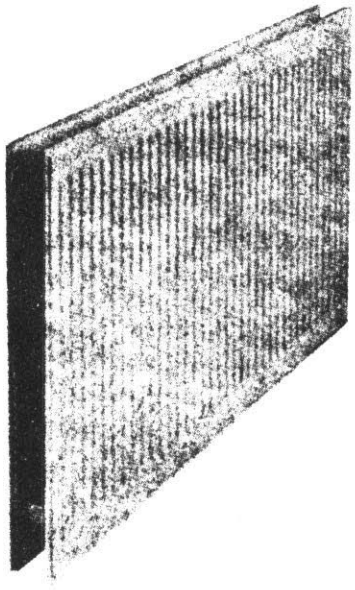
Het gehele centrale-verwarmingssysteem ziet er als volgt uit:



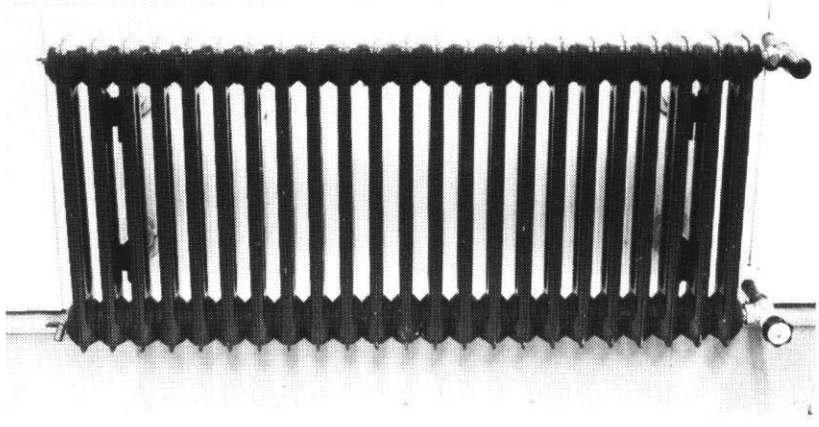
Warmtetransport is natuurlijk niet het enige dat belangrijk is bij radiatoren. Andere factoren waar we verder geen aandacht aan besteden, zijn bijvoorbeeld:

– de *sterkte* van de radiator: een radiator moet behoorlijk sterk zijn, je moet er op kunnen staan of zitten (vandaar dat gegolfde plaat al beter is dan vlakke plaat, denk maar aan het thema *Bruggen*).

– het *gevaar* dat een radiator kan opleveren: in een kleuterklas gebruik je liever een paneelradiator dan een ledenradiator.



Paneelradiator



Ledenradiator

– het *uiterlijk* van een radiator: het ene type zal sommige mensen meer aanspreken dan het andere type. Ook de *afmetingen* spelen hierbij een rol en de ruimte die er beschikbaar is.

– de *prijs* van een radiator. Dat spreekt vanzelf. Deze is o.a. afhankelijk van het materiaal waarvan de radiator gemaakt is.

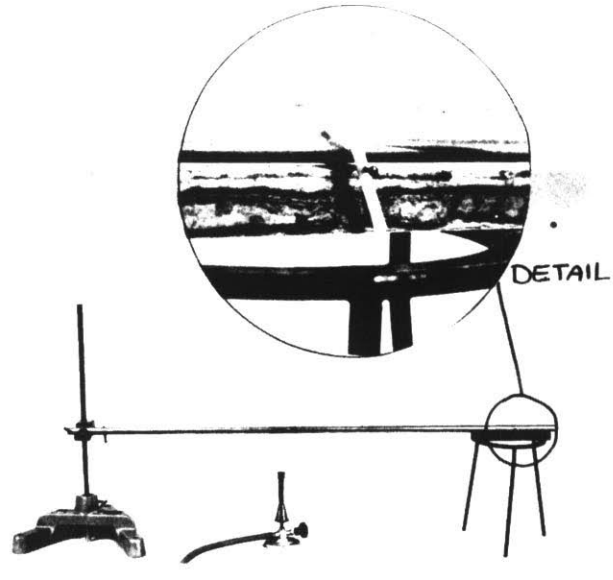
5.2 HET UITZETTEN VAN VERWARMINGSBUIZEN

Als buizen warmer worden, zetten ze uit, zowel in de lengte als in de dikte (de omvang van de buis). Wij gaan hier alleen naar de uitzetting in de lengte kijken (lineaire uitzetting).

Een aardige en zeer eenvoudige proef om de lineaire uitzetting zichtbaar te maken is de volgende.

PROEF 1 **Uitzetting**

1 Neem een statiefstang met voet en zet die horizontaal op een blok hout.
2 Steek een speld door een limonaderietje en leg die speld onder de statiefstang op het blok hout.
3 Verwarm nu de statiefstang met een brander.
– Wat zie je?



Elk metaal zet met een vast bedrag uit als je een staaf neemt van één meter van dat metaal en je verhoogt de temperatuur 1° C. In je tabellenboek vind je die bedragen als de *lineaire uitzettingscoëfficiënt.*
Zie bijvoorbeeld ook de tabel op blz. 77.

De lineaire uitzettingscoëfficiënt van ijzer is $1{,}2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$ (per Kelvin). Dat betekent dus dat een staaf van 1 meter ijzer $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ m (0,012 mm) uitzet als de temperatuur 1° C (of 1 K) stijgt.

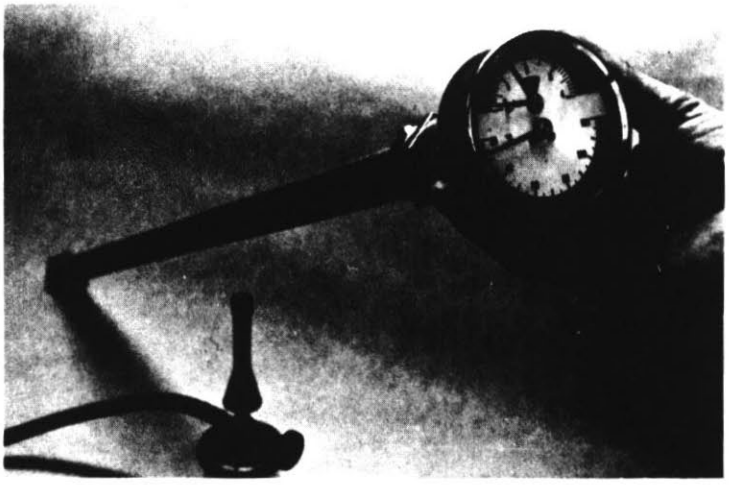
Het uitzetten bij verwarming en vooral ook het inkrimpen bij afkoelen hoor je door het tikken of zelfs knallen van c.v.-leidingen of kachels.

5.3 HET UITZETTEN VAN WATER IN EEN C.V.

Niet alleen de c.v.-leidingen zetten uit, waardoor hun lengte en volume groter worden, maar ook het water zet uit. Je kunt dat aantonen met de volgende proef.

PROEF 2 **De temperatuur-drukmeter van een c.v.**

1 Zet een temperatuur-drukmeter (als van een c.v.-ketel) op een goed afgesloten stuk buis van een meter lengte, die helemaal gevuld is met water.
2 Verwarm de buis voorzichtig met een brander tot de druk tot 3 bar is opgelopen. Haal dan de brander weg en kijk wat er gebeurt.
3 Beweeg eventueel de buis om het water gelegenheid te geven te circuleren. Hier kun je zien wat voor drukken er zouden zijn als je geen drukvat of expansievat in een c.v.-systeem had zitten.
   – Wat zou er kunnen gebeuren?
   – Wat is jouw conclusie uit deze proef?



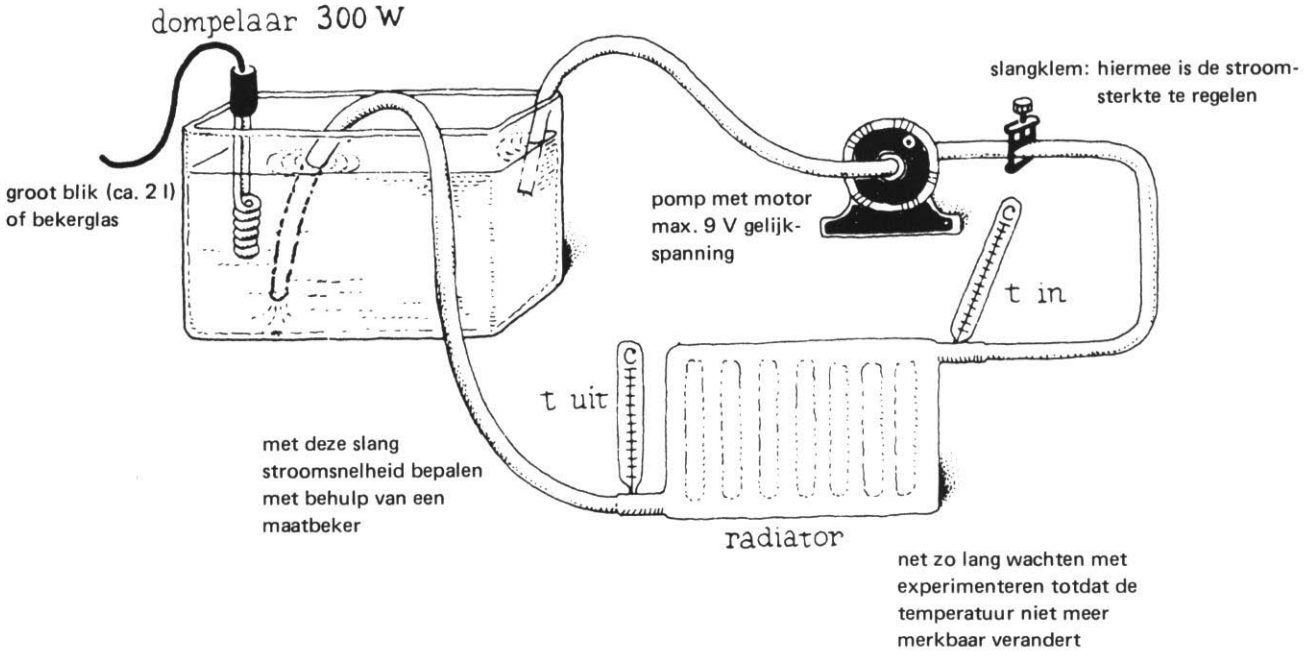
5.4 MODEL VAN EEN CENTRAAL-VERWARMINGSSYSTEEM IN DE KLAS

In de paragrafen hiervoor heb je je vooral beziggehouden met het verwarmen van stilstaand water.
In een c.v. is dat natuurlijk nooit het geval, omdat het water wordt verwarmd, wordt rondgepompt, afkoelt in de radiator en weer terugkomt bij de ketel.
Om hieraan te kunnen onderzoeken is het mogelijk in de klas een c.v.-model (met echte radiator) na te bouwen. Zie het model op de volgende bladzijde.

PROEF 3 **Een model van een centrale verwarming**

* Bouw deze opstelling na. Zet de dompelaar en het pompje aan, en zorg dat het water rondstroomt.
* Het zal blijken dat het lastig is het water rond te laten stromen. Een voorwaarde daarvoor is dat de waterslang tussen het bekerglas en de pomp helemaal vol water is. Dat kun je bereiken door aan de slang tussen radiator en bekerglas te *zuigen.*
* Een tweede belangrijke eis is dat in de radiator geen luchtbellen zitten. Je kunt de radiator ontluchten door even de thermometer bij de aanvoerslang en de radiator er uit te trekken.
* Het derde belangrijke punt: neem voldoende tijd. Het opwarmen duurt ongeveer een half uur.
P.S.: Een c.v.-installateur komt dezelfde problemen tegen.

PLON C.V.-MODEL



We gaan nu onderzoeken wat het rendement van ons c.v.-model is. Met rendement bedoelen we hier de verhouding tussen de hoeveelheid warmte die door de radiator wordt afgegeven en de elektrische energie die door de dompelaar wordt opgenomen. De warmte die we kwijtraken bij het transport van het water door de aan- en afvoerleidingen en bij het verwarmen in het bekerglas beschouwen we als verliezen. Bij een echte c.v. in een huis kan het voorkomen dat die warmte wel gebruikt wordt, omdat de kamers waardoor de leidingen lopen daardoor een klein beetje verwarmd worden.
We moeten dus weten:

1 de elektrische energie E_{op} die wordt opgenomen door de dompelaar.
Die is eenvoudig uit te rekenen uit het vermogen maal de tijd.
Als tijd nemen we 10 seconden.

E_{op} = 300 W x 10 s = 3000 J

2 de warmte-energie E_{af} die de radiator heeft afgestaan.
Die hangt af van het temperatuurverschil $t_{in} - t_{uit}$ en van de snelheid waarmee het water wordt rondgepompt.

Belangrijk is dat er steeds even veel warmte-energie in de radiator wordt afgegeven. Dat is het geval als t_{in} en t_{uit} niet meer veranderen.

We bepalen de stroomsterkte waarmee het water door de buis loopt.
De stroomsterkte is de hoeveelheid water die elke seconde door de buis stroomt. Dit kun je meten door een maatglas onder de slang te zetten, waarmee het water in het bekerglas terugloopt. Bepaal daarbij hoeveel water er uit komt, bijv. in 10 seconden. Houd het maatglas op gelijke hoogte als het water in het bekerglas (denk aan de opvoerhoogte van een pomp; zie *Werken met water*).
Nu kunnen we de warmte-energie die in 10 seconden is afgegeven, bepalen.

Voorbeeld: t_{in} = 47° C en t_{uit} = 45,5° C

Er loopt in 10 seconden 165 ml water uit de slang. Dus 0,165 kg water daalt in 10 s 1,5° C in temperatuur, dan wordt E_{af} = 0,165 kg x 1,5° C x 4200 J/kg°C = 1,04 · 10^3 J, het rendement wordt dan:

$$\frac{E_{af}}{E_{op}} \times 100\% = \frac{1{,}04 \cdot 10^3}{3000} \times 100\% = 35\%$$

Dat rendement is natuurlijk wel erg laag.
C.v.'s in huis komen zeker aan een hoger rendement.

Door de stroomsnelheid anders te kiezen kan het c.v.-model ook een hoger rendement krijgen. Onderzoek 7 van het onderzoeksdeel gaat daarover.

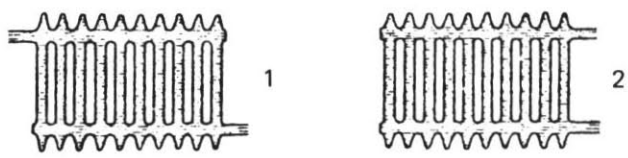
Bij de berekening van het rendement van het c.v.-model zijn we vergeten dat er niet alleen elektrische energie in de dompelaar, maar ook in de pomp is gestopt. Dat is nu niet zo veel geweest. Maar in huis kan de pomp van de c.v. toch een echte 'energievreter' zijn, die per jaar maar liefst 500 kWh verbruikt. Dat is 2,6% van het totale (primaire) energieverbruik van een gemiddeld Nederlands huishouden. Sommige c.v.-pompen werken altijd, of de verwarming aan is of niet, 's zomers of 's winters, de pomp draait. Als de pomp gedurende een lange tijd uitgezet zou worden, zou die vastroesten.

De laatste jaren zijn er echter elektronische schakelingen uitgevonden die er voor zorgen dat de pomp enige tijd (b.v. 10 min.) nadat de verwarming is afgeslagen ook afslaat en weer aanslaat als de ketel aanslaat. Als de verwarming gedurende langere tijd uit is slaat de pomp eens per dag een tijdje aan zodat het vastroesten wordt voorkomen.

- Ontwerp een schakeling om het vermogen van de pomp van het c.v.-model te meten.
  Doe de meting en bereken het vermogen.
  Bereken hoe groot het rendement van het c.v.-model is als je rekening houdt met de energie die in de pomp is gaan zitten.

5.5 VRAGEN EN OPDRACHTEN OVER DE CENTRALE VERWARMING

1 Hiernaast zie je twee radiatoren met verschillende aansluitmogelijkheden.
Geef aan waar de aansluiting voor het instromend water moet zitten en waar die voor het uitstromende water moet zitten.
Zou één van de twee radiatoren beter zijn dan de andere?

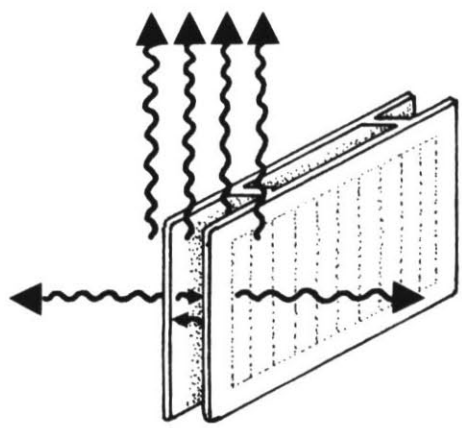


2 Zoek voor de c.v. in jouw huis of op jouw school uit hoe de radiatoren geschakeld zijn. Er zijn verschillende systemen mogelijk. Zie leestekst 4.

3 Uit onderzoekingen is gebleken dat een enkele radiator (één paneel) ongeveer 50% warmte afgeeft door convectie en ongeveer 50% door straling.

Als je twee radiatorpanelen naast elkaar zet, wordt die verhouding anders.

De twee oppervlakken die naar elkaar toegekeerd zijn, absorberen elkaars straling voor een groot deel.
Die oppervlakken tellen dan feitelijk niet meer mee voor de straling, maar voor de convectie wel degelijk: tussen de panelen stijgt evenveel warme lucht op als aan de buitenkant.



   a Beredeneer dat voor twee panelen achter elkaar de verhouding tussen convectie en straling 2 : 1 is.
   b Als je drie panelen achter elkaar zet, hoe is dan de verhouding convectie : straling?
   c Waarom denk je zou de verhouding tussen warmteconvectie en warmtestraling invloed kunnen hebben op de behaaglijkheid in een kamer?

4 Bereken hoeveel 1 meter ijzer uitzet als de temperatuur van 15° C tot 80° C stijgt (wat in een c.v. wel voorkomt).

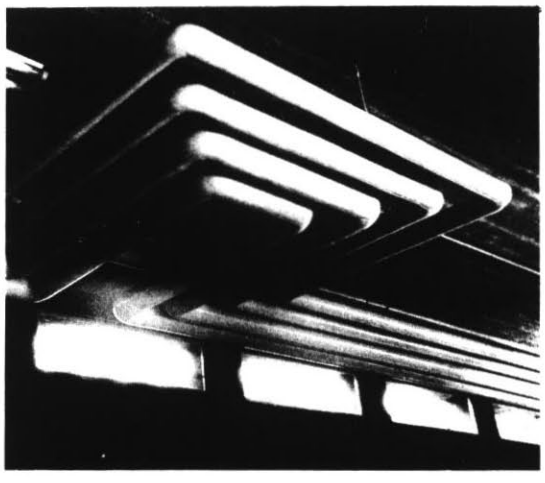
5 Ga ook na hoeveel een ijzeren verwarmingsbuis van 6 meter uitzet bij die temperatuurstijging.

6 Wat is, gezien de uitzetting van het metaal, meer geschikt voor verwarmingsbuis: ijzeren pijp of koperen pijp? (gebruik de tabel!)

7 Denk je dat er in een c.v. speciale maatregelen genomen moeten worden om de uitzetting van de buizen op te vangen?

8 Denk je dat de spoorwegen extra maatregelen moeten nemen in verband met de uitzetting van de rails? Licht je antwoord toe met een berekening. Een spoorstaaf is 30 m lang. In de zomer kan de temperatuur van de staven oplopen tot boven de 40° C, in de winter zakken tot 30° C onder nul.

9 Dit is een warmwaterleiding.
Waarvoor dienen de bochten in de leiding?

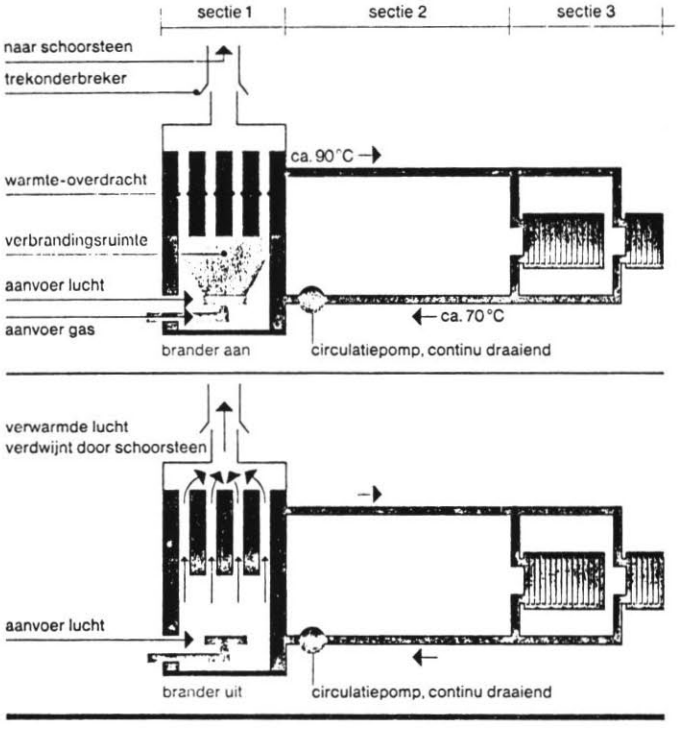


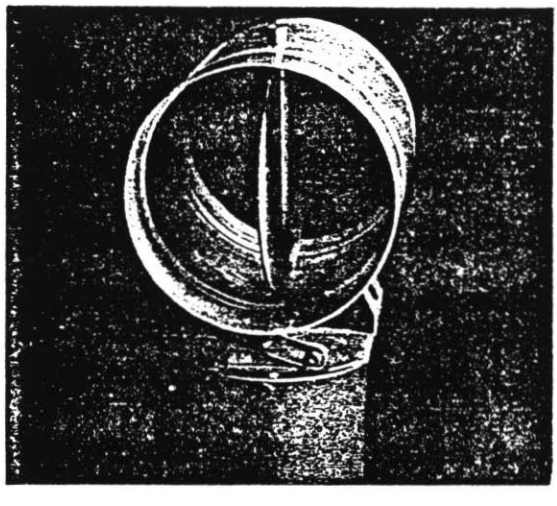
10 Een leerling doet met het c.v.-model de volgende metingen:
het vermogen van de dompelaar is 300 W; in 10 s stroomt er 60 ml uit de slang.
De temperaturen t_{in} en t_{uit} zijn constant 59° C en 54° C.
Bereken het rendement van het c.v.-model.

11 Waarom laat men de c.v.-pomp met de elektronische schakeling niet onmiddellijk afslaan als de ketel ook afslaat?

12 Als de c.v.-pomp blijft werken terwijl de ketel is afgeslagen, zal het c.v.-water na enige tijd warmte in de ketel gaan *afstaan* aan de lucht die door de schoorsteen naar buiten gaat. Leg uit hoe dat kan.
(Om te voorkomen dat er onnodig warme lucht door de schoorsteen naar buiten stroomt, heeft men iets ontworpen waardoor een klep in de schoorsteen open of dicht gaat als de ketel aan- of uitslaat).

schema's van de werking van een gasgestookte verwarmingsinstallatie voor situaties met de brander aan en de brander uit





* De mechanische afvoerklep mag alléén toegepast worden als deze in combinatie met het gasapparaat is gekeurd.

inhoud onderzoekdeel

		blz.
Onderzoek 1	Rendementsverbetering bij het koken met een dompelaar	39
Onderzoek 2	Rendementsverbetering bij het koken op een gasvlam	40
Onderzoek 3	Rendement en vermogen bij het verwarmen van water met een dompelaar	41
Onderzoek 4	Rendement en vermogen bij het koken op aardgas	42
Onderzoek 5	Warmteafgifte	43
Onderzoek 6	Isolatie in huis	46
Onderzoek 7	Het verbeteren van het rendement van het c.v.-model	52
Onderzoek 8	Het binnenklimaat	53

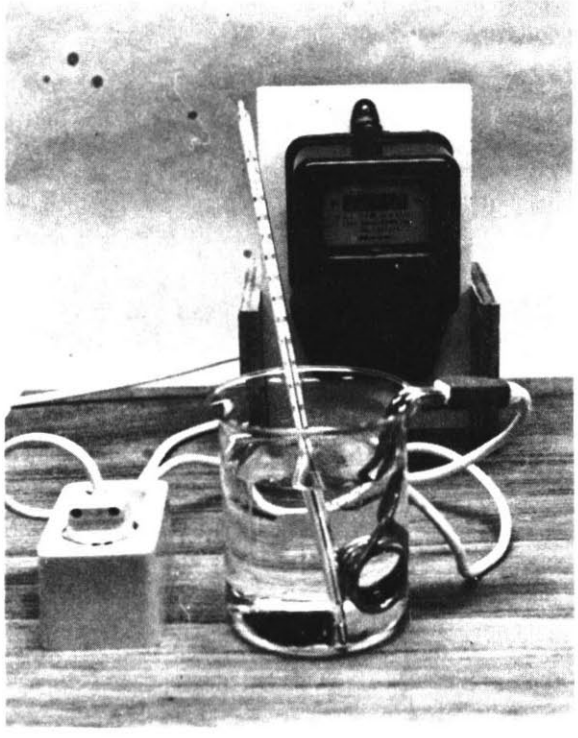
Onderzoek 1

rendementsverbetering bij koken met een dompelaar

Dit onderzoek gaat over het rendement van een dompelaar (220 V, 300 W) bij het koken van water in verschillende bakjes.

– Je kunt verschillende bakjes nemen (blikken, bekerglazen, pannen) van verschillende vormen (hoog en smal, laag en breed). Doe daarin steeds een gelijke hoeveelheid water (bijv. 300 ml) van gelijke begintemperatuur. Breng het water met de dompelaar aan de kook en bepaal het rendement. Zorg er wel steeds voor dat de spiraal van de dompelaar tot het streepje in het water staat.

– Je kunt één bakje nemen en dit gaan isoleren (deksel erop, twee potjes in elkaar, tempex ertussen). Daarvan kun je ook de rendementen gaan bepalen.



De meetopstelling

Opdrachten

* Kies een aantal bakjes uit waarmee je proeven gaat doen.
* Maak een onderzoeksplan waarin staat welke proefjes je wilt gaan doen en hoe je ze gaat doen. Houd rekening met de tijd die je hebt.
* Leg uit waarom je speciaal *die* bakjes hebt gekozen.
* Voer de proeven uit.
* Bereken de rendementen.
* Geef je conclusies.
* Geef zo mogelijk een verklaring voor je uitkomsten.
  Gebruik daarbij de begrippen 'stroming', 'straling' en 'geleiding'.

Onderzoek 2

rendementsverbetering bij koken op een gasvlam

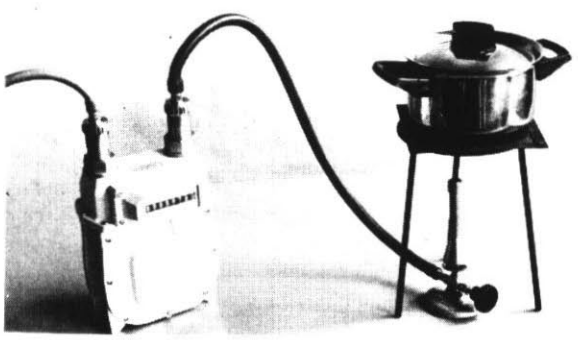
Dit onderzoek gaat over de verbetering van het rendement van een gasvlam bij het verwarmen van water. Om de verschillende proeven onderling vergelijkbaar te maken is het noodzakelijk dat de gasvlam een *constant vermogen* heeft.
Als gasvlam gebruik je de vlam van een teclubrander.
Stel de teclubrander zó in, dat die met een mooie blauwe vlam brandt.

> Nu mag je verder niet meer de instelling van de teclubrander veranderen!
> Aan en uitzetten alleen via de aansluitkraan.

* Meet met behulp van de gasmeter het vermogen van de gasvlam.

* Nu ga je water in een bakje koken op de gasvlam. Neem steeds dezelfde hoeveelheid water, bijv. 300 ml.

  – Je kunt steeds hetzelfde bakje nemen, maar het op verschillende plaatsen in de vlam houden (hoog, laag) of verdeelgaasje er tussen doen.
  – Je kunt verschillende bakjes nemen (bekerglas, blikken, pannen van verschillende vormen: hoog en smal, laag en breed).
  – Je kunt hetzelfde potje nemen waaraan je dingen verandert (bijv. deksel erop, oppervlakte groter maken met door er 'ribben' aan te maken en dergelijke).



De meetopstelling

Opdrachten

* Kies een aantal bakjes uit waarmee je wilt gaan werken.
* Maak een onderzoeksplan waarin staat welke proefjes je wilt gaan doen en hoe je ze gaat doen. Houd rekening met de tijd die je er voor hebt.
* Leg uit waarom je speciaal die proefjes hebt uitgekozen.
* Voer de proefjes uit.
* Bereken de rendementen.
* Geef je conclusies.
* Geef zo mogelijk een verklaring voor je uitkomsten. Gebruik daarbij de begrippen 'stroming', 'straling', en 'geleiding'.

  – Met welk soort pannen zou jij het liefst koken: geëmailleerde ijzeren pannen, aluminium pannen, vuurvaste glazen schalen, vuurvaste aardewerk schalen? Waarom?

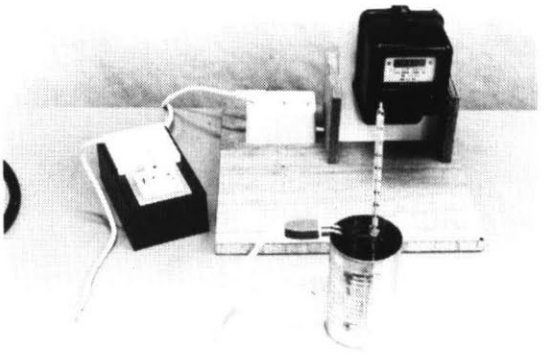
Onderzoek 3

rendement en vermogen bij verwarmen van water met een dompelaar

Dit onderzoek gaat over het rendement bij het verwarmen van water voor verschillende vermogens van een dompelaar.

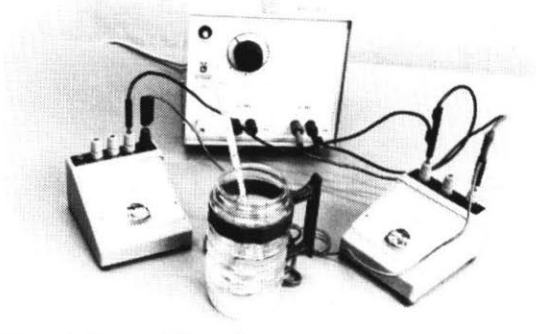
Je kan het vermogen van een dompelaar (220 V, 300 W) verlagen door er een dimschakelaar tussen te zetten. Op de kWh-meter kan het de verbruikte hoeveelheid energie aflezen.

Een andere mogelijkheid is een laagspanningsdompelaar op een regelbare spanningsbron aan te sluiten en op een volt- en ampèremeter de spanning en de stroom af te lezen. Het vermogen kan je dan berekenen.



De opstelling met kWh-meter en dimschakelaar

* Neem nu een blik en vul die met een bekende hoeveelheid water steeds van dezelfde begintemperatuur.
* Verwarm het water nu steeds met eenzelfde aantal graden maar met de dompelaar die steeds een ander vermogen heeft.
* Bereken in alle gevallen de rendementen.



De opstelling met V- en A-meter en regelbare spanningsbron

Vragen

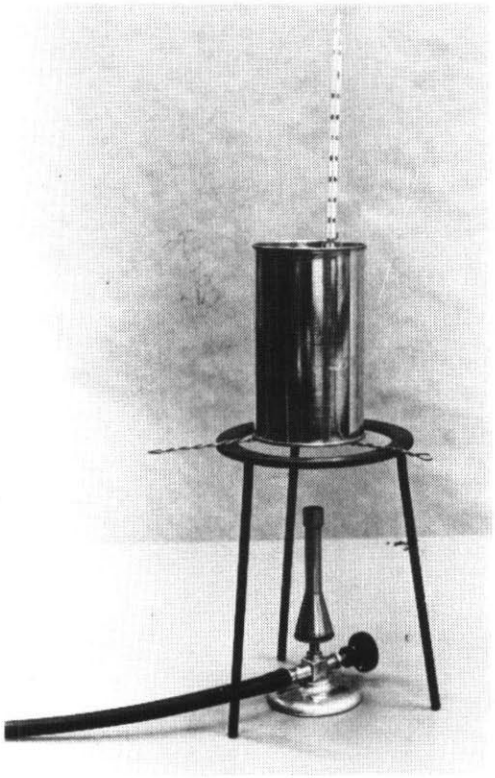
- Leg uit waarom de rendementen van elkaar verschillen.
- Welke wasmachine is het zuinigst met energie: een wasmachine die het water opwarmt met een verwarmingselement van 1000 W of één met een element van 500 W?

Onderzoek 4

rendement en vermogen bij het koken op aardgas

Dit onderzoek gaat over het rendement bij het verwarmen van water op gasvlammen met verschillende vermogens.

* Kook een vaste hoeveelheid water met een vaste begintemperatuur op verschillende aardgasvlammen van een teclubrander. Zorg er wel voor dat de brander steeds op dezelfde plaats onder het blik staat. Gebruik geen vlamverdeler.



Steeds hetzelfde blikje met dezelfde hoeveelheid water

* De vermogens van de aardgasvlam kan je met behulp van een gasmeter bepalen.
* Maak steeds een tekening van de vlam onder het blik.
* Bereken de rendementen.
* Geef je conclusie op welke vlam het rendement het hoogste is.
  Betrek daarin de vorm van de vlam.
* Vergelijk jouw resultaten met die van de onderzoekers van de Consumentenbond (zie leestekst 6).

Vragen

- Hoe hoog zet je het gas als je een kleine pan aardappels aan de kook brengt?
- En hoe als je die aan de kook moet houden?
- Bekijk een geiser van binnen. Hoe komt het dat het rendement van een geiser (ca. 70%) hoger is dan het rendement van een pan water op een gaspit?

warmteafgifte

Een radiator geeft warmte af via straling en stroming. De warmteafgifte is afhankelijk van een aantal factoren, o.a. temperatuurverschil- en oppervlak. Daarover gaat dit onderzoek.

Om warmte te kunnen afgeven moet de radiator een hogere temperatuur hebben dan de omgeving.

— Denk je dat het veel of weinig uitmaakt hoe groot het temperatuurverschil is?

Om dit te onderzoeken kun je als 'radiator' een literblik heet water gebruiken. Dat blik staat warmte af aan de lucht en de verdere omgeving.

Omdat de temperatuurdaling langzaam gaat, kan je tegelijkertijd nog meer blikjes laten afkoelen, blikjes met ongeveer hetzelfde soort oppervlak maar een andere grootte.

Maakt het voor de warmteafgifte van een liter heet water verschil of je het water in een literblik doet of verdeelt over twee blikken van een halve liter?

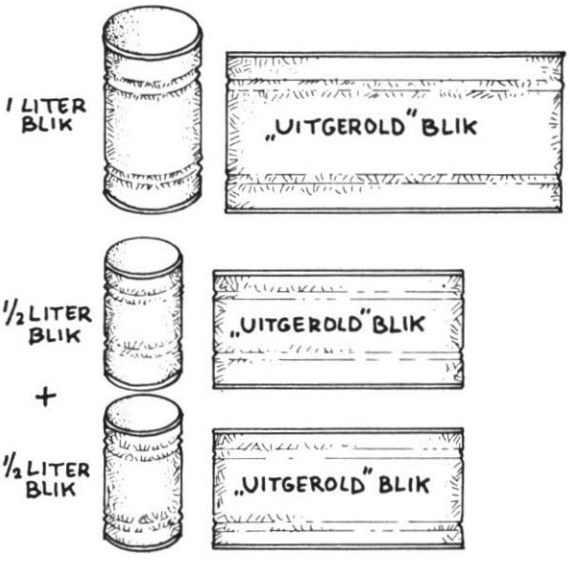
Het tweede geval zou gunstiger kunnen zijn voor een vlotte warmteafgifte, doordat het totale oppervlak groter is, zeker bij blikken met dezelfde hoogte.

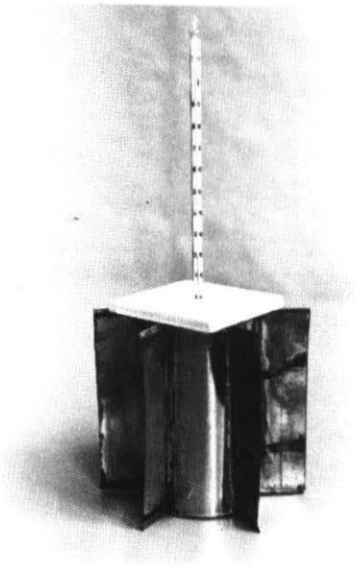
Omdat we de boven- en onderkant van de blikken isoleren, hebben we voor de warmteafgifte hoofdzakelijk te maken met een cilinderoppervlak. Dat oppervlak zou je ergens verticaal kunnen doorknippen en dan uitrollen tot een rechthoek. Het oppervlak van die rechthoek is eenvoudig breedte x hoogte — dus het oppervlak van de cilinder is omtrek x hoogte.

In de tekening zie je dat het oppervlak van twee halve-literblikken groter is dan het oppervlak van een één-literblik. Meet eventueel na.

Je kunt het oppervlak van een blikje groter maken door er 'koelribben' op te maken. Het is het beste om die ook van blik te maken (hetzelfde soort oppervlak!) en ze op het blik te solderen. Maar als je niet over zo'n blik beschikt, kan je alle blikken in aluminiumfolie rollen en op één er van van aluminiumfolie 'koelribben' maken.

Doe nu tegelijkertijd metingen in de volgende drie proeven: meet om de 3 minuten de temperatuur op.

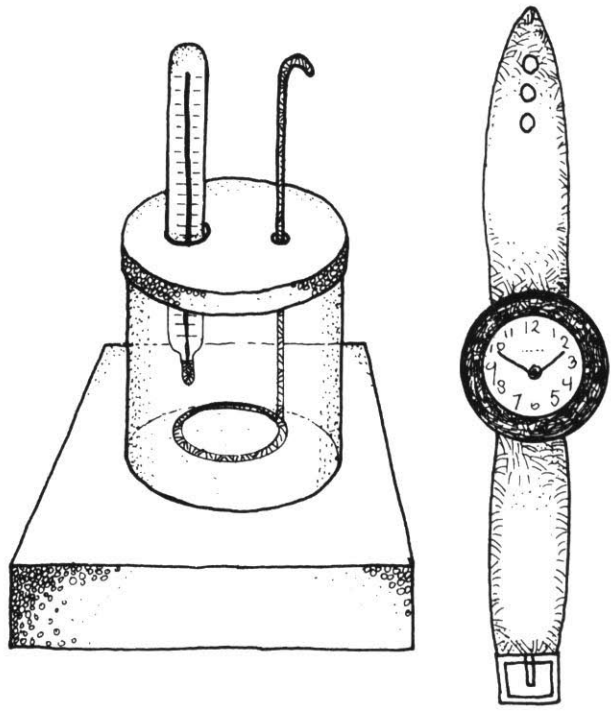




Blik met koelribben

PROEF 1

Neem een literblik en zet het op een stuk isolerend materiaal en dek het af met isolerend materiaal.
In de deksel moeten gaten zitten voor een thermometer en een roerder (eenvoudig te maken van een stuk stevig koperdraad). Maak de gaten in de deksel niet groter dan nodig is; anders kan het water warmte verliezen door verdamping. Vul het blik met een bekende hoeveelheid (bijv. 0,75 l) heet water (van bijv. ongeveer 80° C) en lees de temperatuur af met vaste tussentijden (bijv. 3 minuten of wat je geschikt vindt).
Gebruik een horloge met secondewijzer om niet te grote verschillen te krijgen in de tijden, en probeer bij de temperatuurmeting ook de tienden van graden te schatten. Zet de meetresultaten uit in een grafiek.



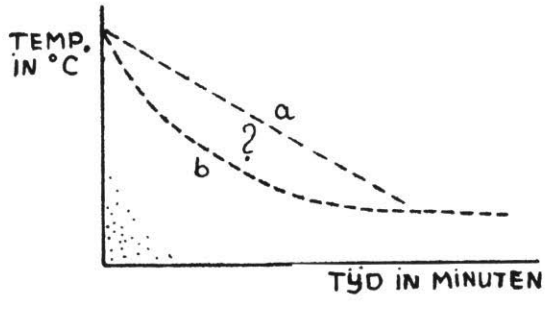
PROEF 2

Doe dezelfde proef als proef 1 met een half-literblik met ongeveer 0,40 l water van 80° C. Zet je gegevens in dezelfde grafiek als die van proef 1.
Let er wel op dat de blikken zo min mogelijk verschillen. Het dof of glanzend zijn van de blikken maakt ook veel uit!

PROEF 3

Doe dezelfde proef als proef 2, maar met een half-literblik met de koelribben. Zet deze gegevens ook in dezelfde grafiek als van proef 1.

– Wat voor lijnen krijg je in je grafiek? Lijnen volgens ⓐ of lijnen volgens ⓑ ?
  Kun je verklaren waarom je juist die lijnen krijgt?



Kun je iets zeggen over de warmteafgifte en het temperatuurverschil tussen blik en omgeving?

– Wat is je conclusie betreffende de warmteafgifte en het oppervlak?
– Bereken de hoeveelheid energie die de blikken van proef 1, 2 en 3 in de eerste drie minuten afstonden aan de omgeving, met behulp van de temperatuurdaling en de soortelijke warmte van water.
– Welk blik stond de meeste energie af?
  Waarom?

Uitbreidingen

a Je kunt ook bij een echte radiator deze metingen uitvoeren:
hoe verloopt de temperatuurdaling nadat je de radiator hebt afgezet?
Is de warmteafgifte goed, in vergelijking tot het blik dat je zo juist gebruikt hebt?
Zorg wel voor een goed contact tussen je thermometer en het metaal van de radiator.

b Als de radiator aan is, heeft het uitstromende water een lagere temperatuur dan het instromende. Het metaal zal dan ook niet overal even heet zijn. Door op allerlei verschillende plaatsen de temperatuur te meten, kun je een idee krijgen van het temperatuurverloop aan het oppervlak van de radiator.

isolatie in huis

Dit onderzoek bestaat uit een praktisch gedeelte: proeven met een isolatiemeter en een rekengedeelte: isolatie en geldbesparing.

A PROEVEN

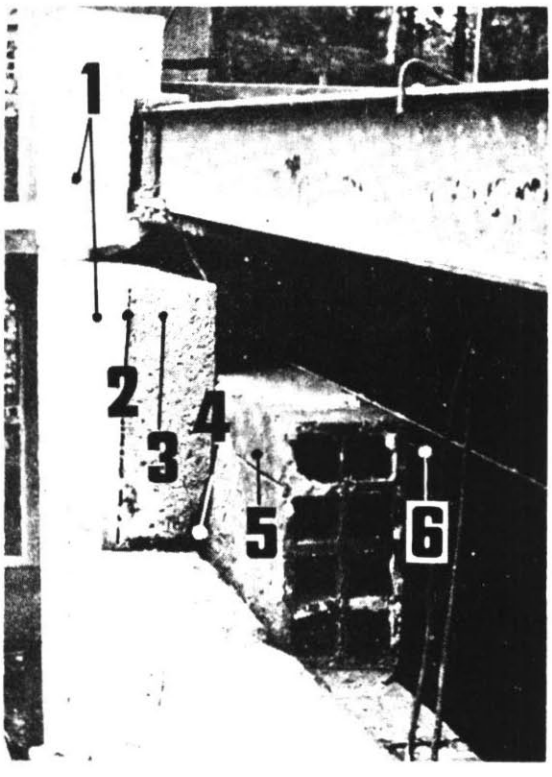
Je hebt nodig:
isolatiemeter
twee plaatjes 10 x 10 cm ijzer, niet roestig
een plaatje 10 x 10 cm ijzer, waarvan één kant wit geschilderd
twee plaatjes 10 x 10 cm koper (niet roestig)
plaatjes van hout
thermometer
stopwatch of horloge

Warmte-isolerende laag:

1	natuur-zandsteen platen	2,5 cm
2	cementmortel met een toeslag voor waterdichtheid	1,0 cm
3	cellen-betonblokken	10,0 cm

Laag om ervoor te zorgen dat de stenen zelf weinig warmte opnemen:

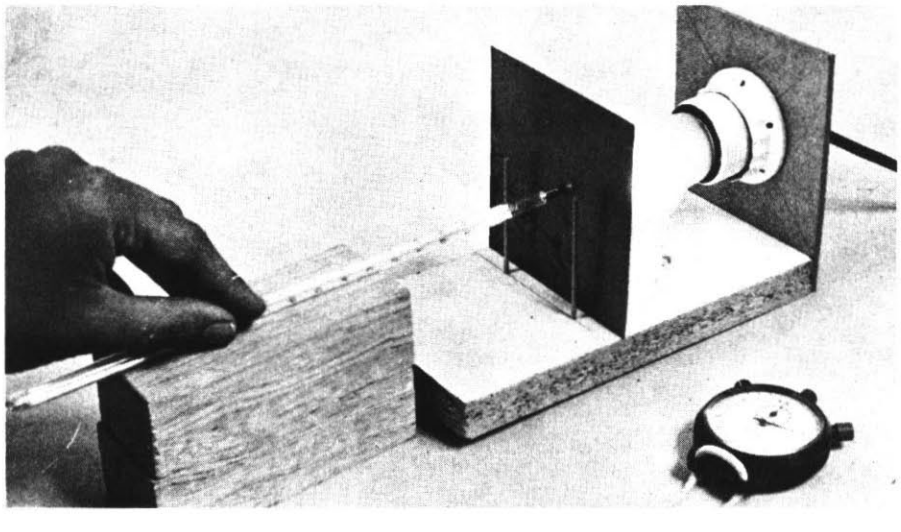
4	mortelvoeg	1,0 cm
5	holle baksteenblokken	13,0 cm (27 x 27 cm)
6	binnenpleisterwerk	1,5 cm
	totale dikte	29,0 cm



Voorbeeld van een isolatielaag bij een huis met metalen opbouw

Tegenwoordig hoor je veel over het energieverbruik en de tekorten die er in de natuurlijke energievoorraden, zoals olie, gas en kolen, te verwachten zijn. In de meeste huizen gaat verreweg de meeste energie verloren in de vorm van warmte door glas, ramen, naden en kieren, muren, open deuren, dak, enz. Een goede isolatie kan daar dus wonderen doen. Je kan dit nu nader gaan onderzoeken.

Je isolatiemeter bestaat uit een lamp, die de zon voorstelt. Vóór de lamp kan je één of twee plaatjes neerzetten met of zonder tussenruimte. Dat stelt de wand van het huis voor. Aan de binnenkant van de wand meet je met behulp van een thermometer de temperatuur en daarmee de invloed van de 'zon'.


Isolatiemeter

1 Pak een ijzeren plaatje en zet dat in de isolatiemeter. Houd de thermometer er tegenaan (wees voorzichtig) totdat deze niet meer verandert. Meet de temperatuur. Zet de lamp 90 seconde aan en meet de temperatuurstijging. Doe de lamp meteen uit en schrijf de temperatuurstijging op.

2 Doe hetzelfde met een plaatje van hout en een plaatje van koper. Voel het plaatje ook met je hand.
P.S.: Houd de lamp niet aan, want dan duurt het zo lang voordat alles is afgekoeld.

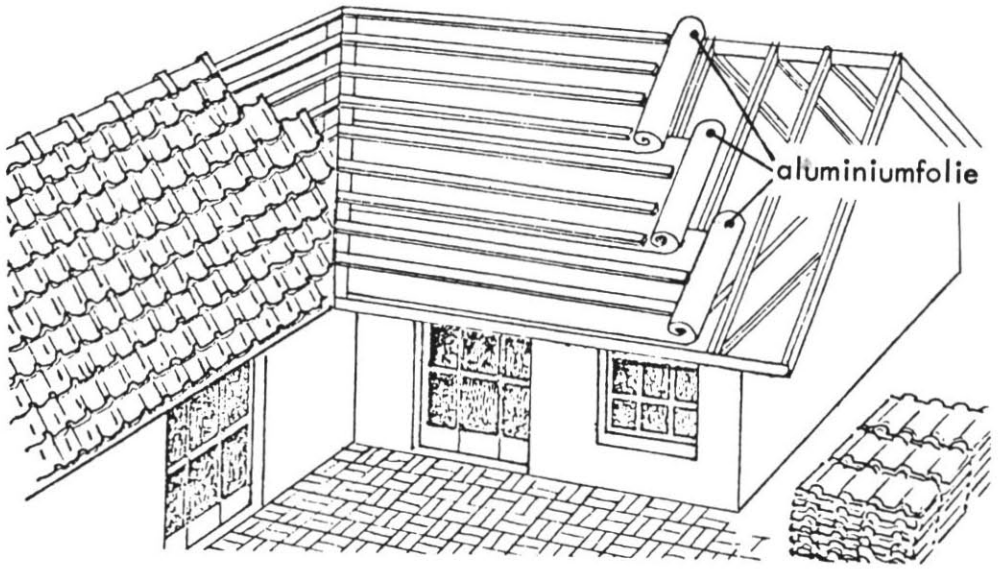
3 Doe dit ook met het ijzeren plaatje met de witte kant naar de zon toen en met de witte kant van de zon af.

4 Doe weer hetzelfde, nu met twee plaatjes tegen elkaar aan. Gebruik ook de witte erbij.

5 Doe weer hetzelfde, nu met plaatjes los van elkaar (zie foto). Gebruik ook het ijzeren plaatje met de witte kant, zowel in de eerste, als in de tweede laag.

6 Als je zin hebt, kan je de proef nóg eens doen, nu met wol of glaswol ertussen.

ISOLATIE ↓	TEMP. STIJGING NA 90 S ↓
1 IJZEREN PLAATJE	
1 IJZEREN PLAATJE WIT NAAR ZON	
1 KOPEREN PLAATJE	
1 HOUTEN PLAATJE	
2 IJZEREN PLAATJES TEGEN ELKAAR	
2 IJZEREN PLAATJES TEGEN ELKAAR (WIT NAAR ZON)	
2 IJZEREN PLAATJES VAN ELKAAR	
2 IJZEREN PLAATJES LOS (WIT NAAR ZON)	
. . . . .	
. . . . .	

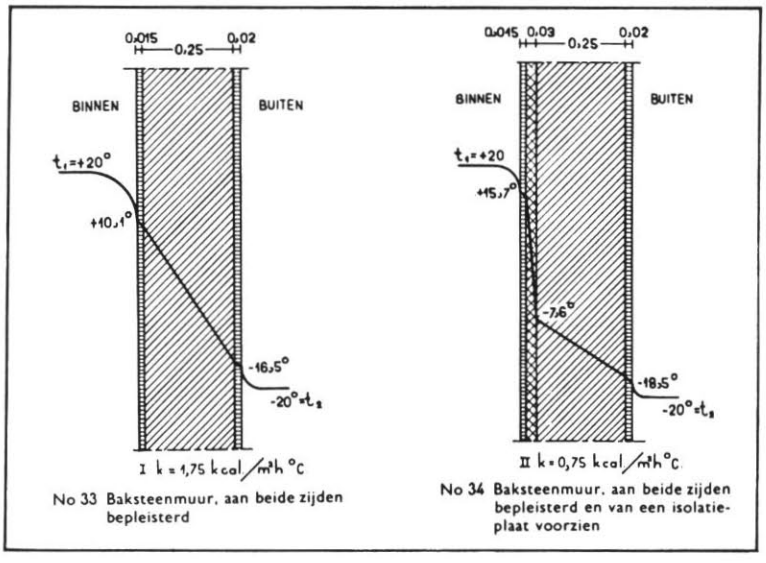


In een huis met aluminiumfolie onder het dak bleek het op zolder bij zonneschijn 6° koeler dan zonder aluminiumfolie

VRAGEN BIJ ISOLATIE

1 Maakt het wat uit of je een enkele plaat hebt, of een dubbele, of een dubbele met lucht ertussen? Kan je het verklaren?
2 Maakt de kleur van het plaatje wat uit?
3 Maakt het soort materiaal wat uit, dat je gebruikt? Hout staat bekend als een slechte geleider, ijzer als een redelijke geleider en koper is een goede geleider. Klopt dat?
4 Probeer bij je proeven na te gaan of je bij de isolatie het warmtetransport vooral van straling of van stroming of van geleiding tegengaat.

5 Kijk hoe je je gegevens kan gebruiken bij het construeren van een huis.
Zie ook bijgevoegde tekeningen en foto's. Ga ook eens bij een in aanbouw zijnd huis kijken.
6 Is het huis waar jij woont voldoende geïsoleerd? Zo ja, hoe?
Zo nee, welke (eenvoudige?) maatregelen zijn nodig om de isolatie te verbeteren. Overleg met je ouders of die uitvoerbaar zijn!



Voorbeeld van wat extra isolatie vermag. Let vooral op het verschil temperatuur aan de binnenwand

B ISOLATIE: ENERGIEBESPARING

Goed doordacht isoleren kan 50 tot 70% energie besparen. Om het huis warm te houden kan je dus met 50 tot 70% minder stookkosten toe!

Een rekenvoorbeeld

Om een en ander toe te lichten laten we hier een rekenvoorbeeld volgen.

– Reken mee. Dit is niet om te onthouden, maar om een idee te krijgen hoe groot de verwarmingsgetallen en de verliezen zijn.

Voor het *opwarmen* van een koude woonkamer (30 m^2 vloeroppervlak) van 10° tot 22° C in 1 uur met een buitentemperatuur van −10° C heb je ongeveer 22.000 kJ nodig (voor vloeren, lucht en stenen muren). Ongeveer 12.000 kJ gaat tijdens dat uur verwarmen verloren door ramen en deuren. Je voert in die tijd dus 34.000 kJ warmte toe.

Als de kamer warm is geworden (lucht, vloer, muren) blijven er warmteverliezen. De warmtetoevoer moet dan even groot zijn als de warmteverliezen.
Warmteverliezen zijn bij een ongeïsoleerde woonkamer per uur in diezelfde kamer ongeveer als volgt:

door ramen en deuren	8.400 kJ/h
door buitenmuren	1.200 kJ/h
door binnenmuren	300 kJ/h
door de vloer	3.600 kJ/h
door het plafond	400 kJ/h
door ventilatieverliezen	2.200 kJ/h

– Hoeveel warmte moet dus elk uur worden toegevoerd om de kamer warm te houden?

– Waar vinden de grootste warmteverliezen plaats? Wist je dat?

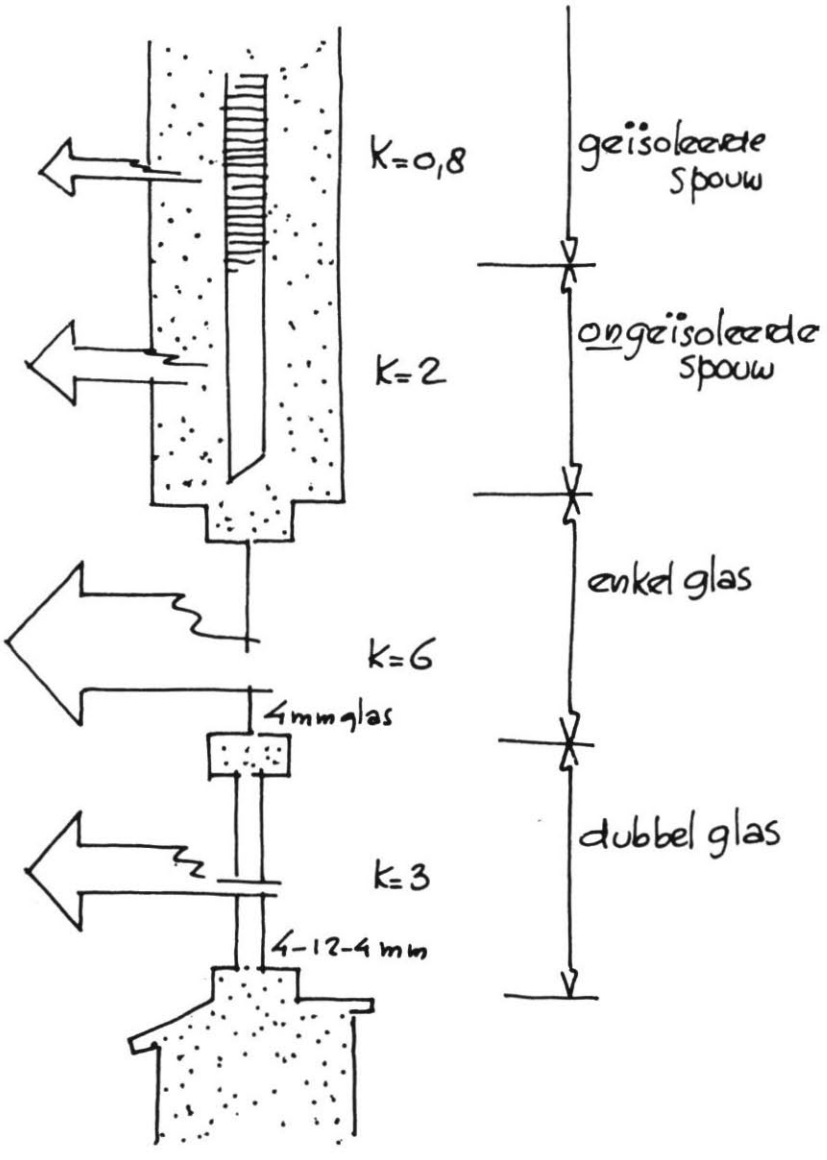
Als je goed isoleert, kun je de warmteverliezen tot 60% verminderen.

– Hoeveel warmte zou er elk uur toegevoerd moeten worden als de kamer goed geïsoleerd zou zijn geworden?

– Als je weet dat 1 m^3 aardgas *f* 0,50 kost en dat 1 m^3 aardgas 30 x 10^6 joule verbrandingswarmte geeft, hoeveel kost het dan per uur om de kamer warm te houden?

Om te zien wat een aantal isolatiemogelijkheden voor invloed hebben, bekijken we de onderstaande schets. De factor k is een warmte-doorlatingsfactor. k = 6 wil zeggen dat een muur of raam 3 x zoveel warmte doorlaat als een factor k = 2

Wat voor factor betekent de isolatie van muren én ramen? Vergelijk dat ook eens met de warmte-verliezen op de bladzijde hiernaast.



NB:
deze schets, met cijfers, dient slechts om een indruk te geven, niét als basis voor rekenwerk!

Geldbesparing door isolatie (om te lezen)

Het huis laten isoleren kost natuurlijk geld. De vraag is of er voldoende geld wordt terugverdiend door de energiebesparing om de kosten van isolatie te dekken.
Hieronder staat in een voorbeeld berekend hoeveel het een vakman of een doe-het-zelver (DHZ) kost om één woning te isoleren.
Ook staat de brandstofbesparing erbij. Er is gerekend met het gegeven dat 1 m^3 aardgas *f* 0,25 kost (1975). N.B.: In 1982 kost 1 m^3 aardgas al *f* 0,55!
Het 'totaal tussenwoning' (boven de streep) slaat op een woning in een rijtje. Het 'totaal eindwoning' slaat op het laatste huis in een rij. Zo'n laatste huis heeft immers een extra zijgevel, vergeleken met een tussenhuis. Een vrijstaande woning kost nog meer!

De berekening is gebaseerd op het prijspeil van eind 1975. Geen rekening is gehouden met het feit dat een huis door isolatie meer waard wordt.

Bestaande bouw/eigen woning

Investering voor het isoleren van één enkele woning door de vakman en doe-het-zelver (DHZ)	brandstof-besparing *f*/jaar	investering in *f*	
		vakm.	DHZ
35 m^2 dik vast kleed in woonkamer	70	2000	2000
30 m^2 spouwmuur vullen	70	600	600[1]
10 m^2 dubbel glas in woonkamer	70	2000	600
15 m^2 dubbel glas andere gevels	80	3000	900
70 m^2 dak isoleren	70	4000	1200
Totaal tussenwoning	360	11600	5300
65 m^2 eindgevelspouw vullen	150	800	800[1]
Totaal eindwoning	510	12400	6100

1 alleen door vakman uit te voeren.

* In hoeveel jaar heeft een doe-het-zelver (DHZ) zijn investering terugverdiend bij een eindwoning?

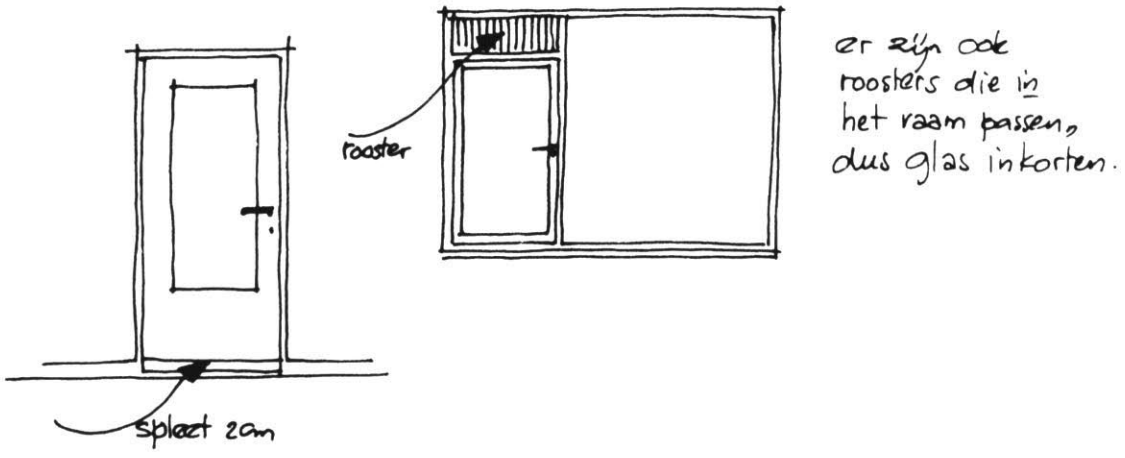
* Wat maakt het uit voor de tijd van het terugverdienen, als de energie (bijv. gas, olie) duurder wordt?

Bij nieuwbouw is isoleren goedkoper, omdat dan een groot aantal woningen tegelijk geïsoleerd kunnen worden.

Probleem van ventilatie (om te lezen)

Op het moment dat het hele huis goed geïsoleerd is, ontstaat er één probleem: alle naden en kieren zijn afgesloten, er is lang niet meer zoveel luchtverversing als toen het huis nog niet geïsoleerd was. Dit kan voorkomen worden door op de juiste momenten een raam open te zetten.

Waar achter die luchtverversing vooral een belangrijke rol speelt is op de plekken waar gas verbrandt wordt. Denk aan de keuken waar vaak een gasgeiser is, of aan de kamer met een gaskachel, of aan de overloop, waar soms een c.v.-ketel staat.
Een goed geïsoleerd huis is dan levensgevaarlijk!
Veilig is het om op belangrijke plaatsen niet-afsluitbare ventilatieroosters aan te brengen of openingen te maken in de deuren.



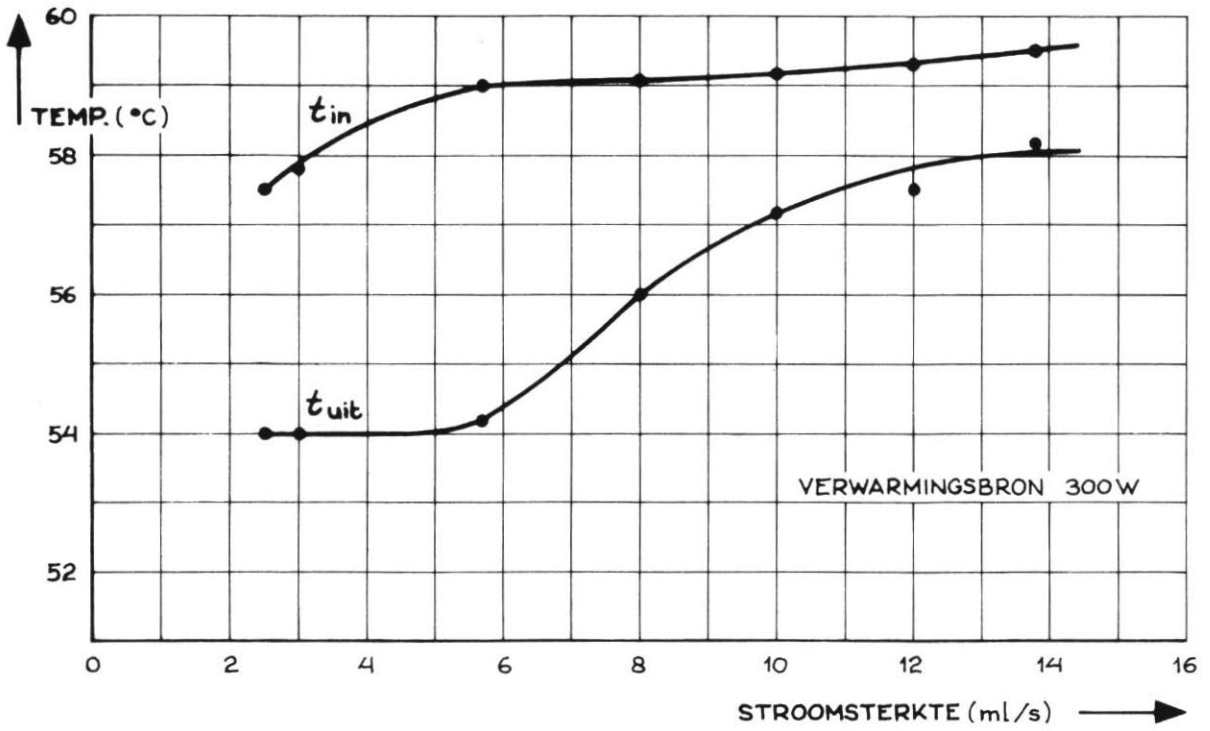
Zorg dat je niet op de tocht zit!

Onderzoek 7

het verbeteren van het rendement van het cv-model

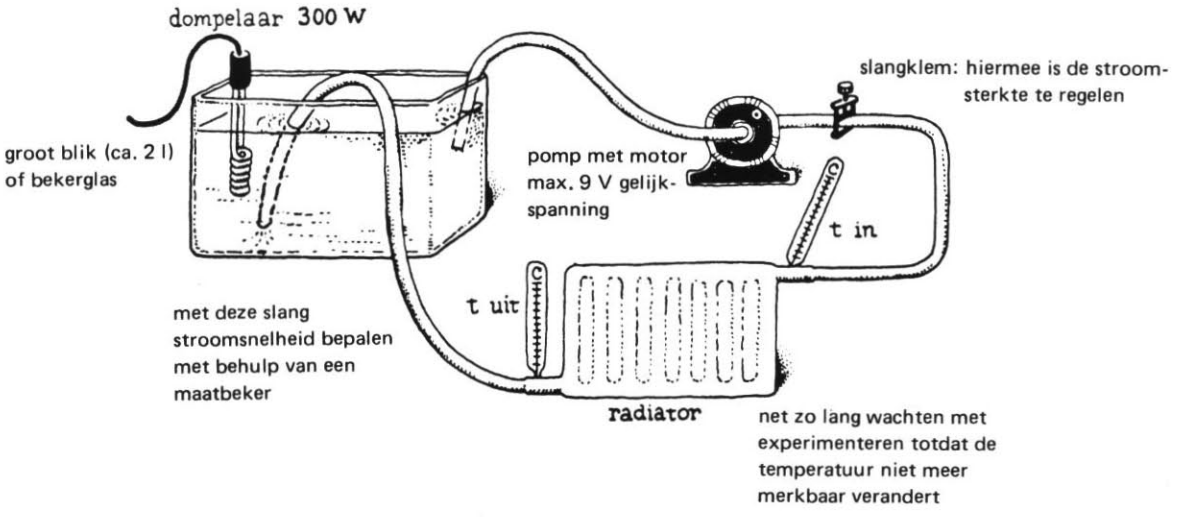
Je gebruikt het c.v.-model zoals in paragraaf 5.4. van het basisdeel beschreven is.
Je gaat nu onderzoeken of je het rendement kan verbeteren door de stroomsnelheid te variëren.

- Doe daarom een aantal metingen bij verschillende stroomsterkte en maak daarvan een grafiek zoals hieronder staat.
- Bereken de rendementen.
- Hoe zou je het rendement verder kunnen verbeteren?



- Wat zijn je conclusies?

PLON C.V.-MODEL



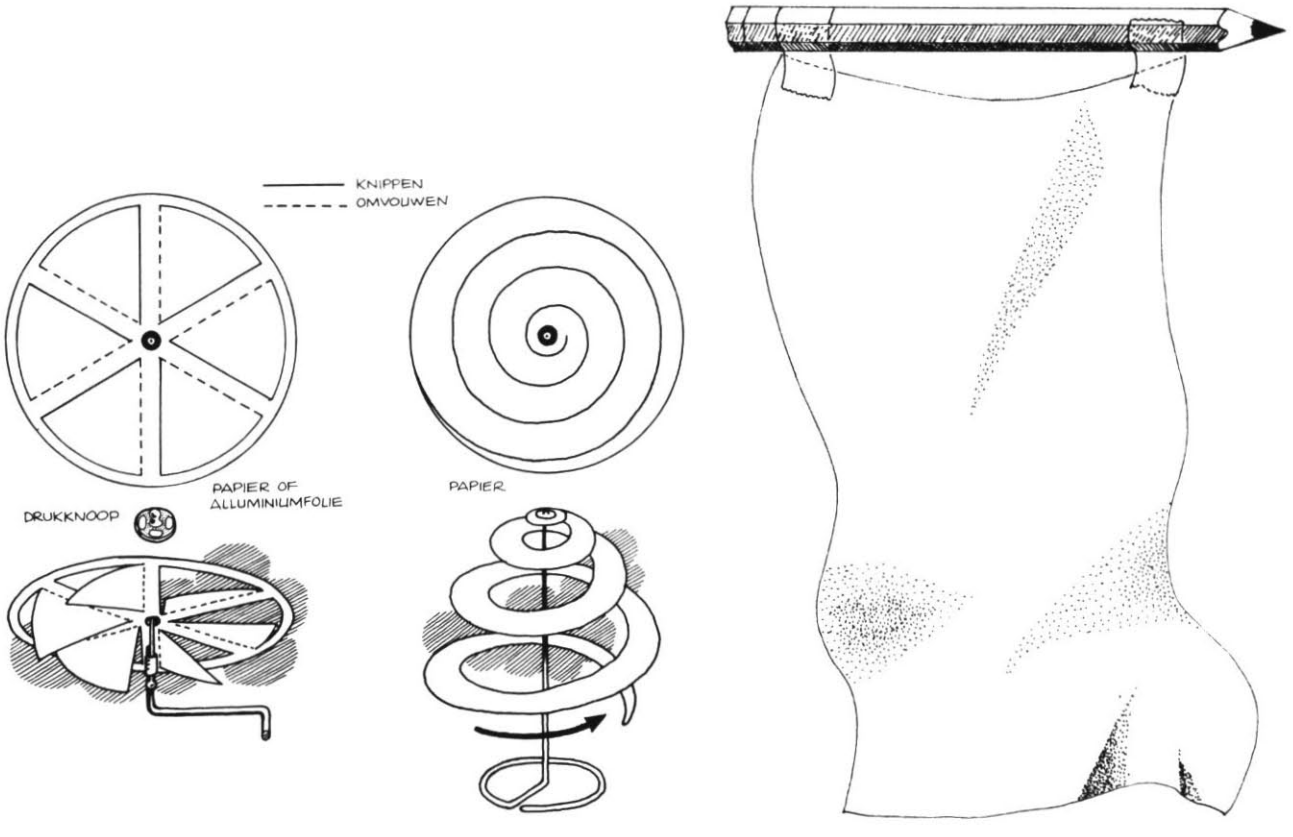
het binnenklimaat

Dit onderzoek gaat over het binnenklimaat. Daarmee bedoelen we de omstandigheden waardoor bepaald wordt of mensen het behaaglijk in huis vinden of niet.
Die omstandigheden zijn:

1 de temperatuur van de lucht. Belangrijk is ook de temperatuurverdeling: is het overal in de kamer even warm?
2 Het optreden van luchtstromingen (vooral tocht).
3 De temperatuur van de muren en van de ramen.

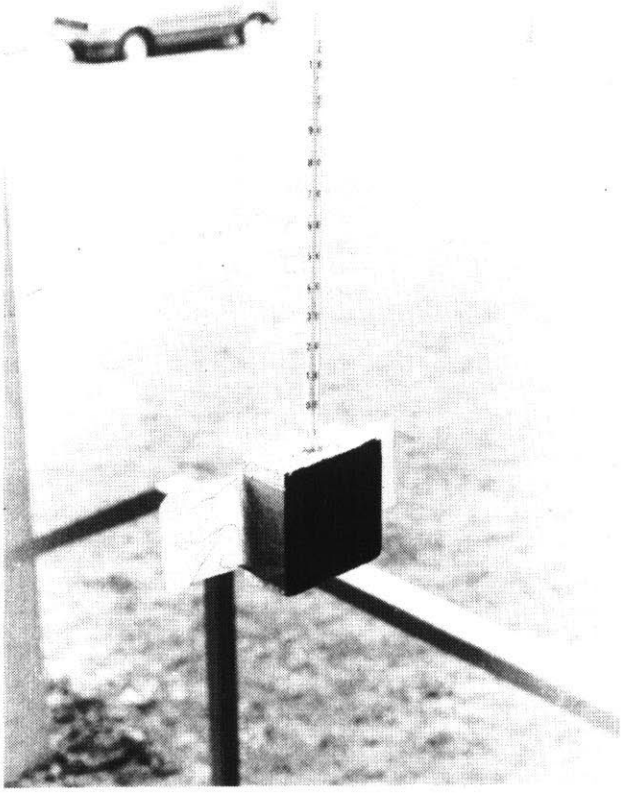
Dit onderzoek kun je alleen doen als het buiten koud is.

1 Meet de temperatuur van de lucht op allerlei plekken in het lokaal: in ieder geval hoog, op normale hoogte en aan de grond, zowel bij de ramen (zo mogelijk zonder én met verwarming) als bij een binnenmuur. Om de luchttemperatuur goed te meten moet je de thermometer een beetje laten slingeren aan een touwtje zo ver mogelijk van je lichaam af en ook niet te dicht bij een muur of een raam. Dat is nodig om temperatuurveranderingen door straling (bijv. van je hand) tegen te gaan.
2 Verticale luchtstromingen (bijv. boven de verwarming) kan je zichtbaar maken met een papiermolentje.
Horizontale luchtstromingen (die niet al te klein zijn) kun je zichtbaar maken met een tochtmeter.



Breng de luchtstromingen van het lokaal in kaart.
Ga na waardoor ze veroorzaakt worden.

3 De temperatuur van muren en ramen kun je meten met een wandthermometer.



Het meten van de temperatuur van de binnenkant van een raam

Meet de temperaturen van de wanden en de ramen. Probeer zo mogelijk de temperatuur van enkel- en dubbel-glasramen met elkaar te vergelijken. Vergelijk de temperatuur van binnen- en buitenmuren met elkaar.

Opdrachten

- Vraag een aantal leerlingen of ze het behaaglijk vinden in de klas of niet.
- Probeer aan de hand van je metingen na te gaan hoe dat komt, en ook wat de oorzaken van hun antwoord kunnen zijn.
  Gebruik ook leestekst 1 en de theorie van paragraaf 3.2.

inhoud leesteksten

Leestekst 1	Behaaglijkheid	blz. 57
Leestekst 2	Tips voor zuiniger energieverbruik	blz. 59
Leestekst 3	De verwarmingselementen	blz. 61
Leestekst 4	De hoge-rendementsketel	blz. 67
Leestekst 5	De 'Zuinige c.v.-ketel'	blz. 69
Leestekst 6	Keukenprobleem: gas of stroom?	blz. 70

behaaglijkheid

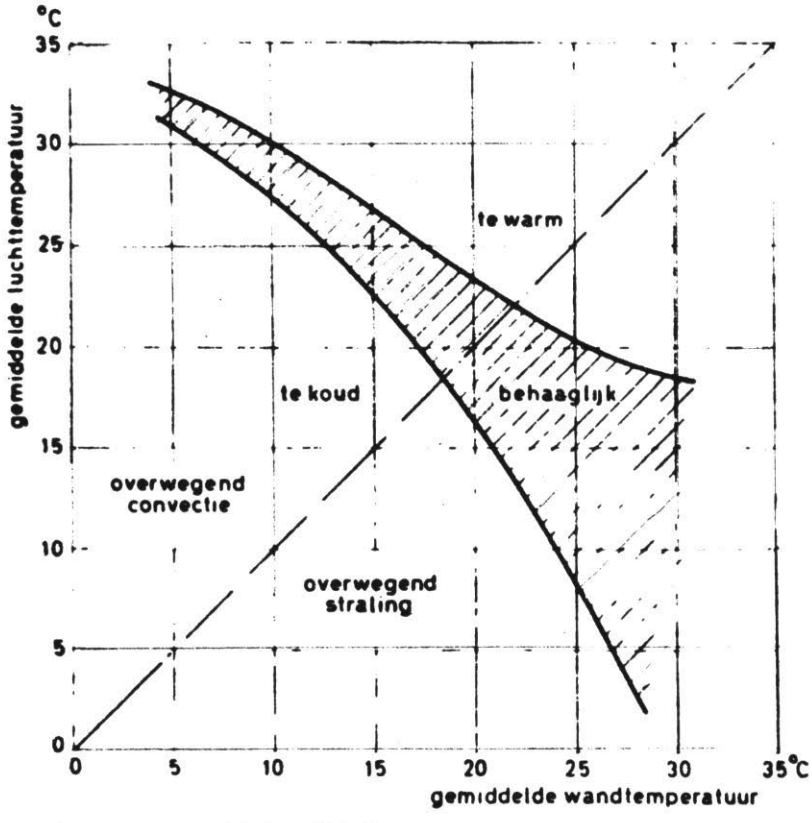
Een gezond mens, die een lichaamstemperatuur van nagenoeg 37° C heeft, moet om zich behaaglijk te voelen een zekere hoeveelheid warmte aan zijn omgeving afstaan. De hoeveelheid afgestane warmte is vooral afhankelijk van de verrichte arbeid, de kleding en de omgevingstemperatuur. Bij zware arbeid staat de mens aanzienlijk meer warmte af dan bij lichte arbeid. De mens draagt bij hoge buitentemperaturen lichte zomerkleren, bij lage buitentemperaturen zware winterkleren om de warmteafgifte en daardoor de behaaglijkheid binnen redelijke grenzen te houden. In de winter zal, zonder verwarming, de temperatuur in een vertrek waarin de mens zich bevindt in de regel zo laag zijn, dat de mens bij normale kleding te veel warmte aan zijn omgeving afstaat en zich daardoor onbehaaglijk gaat voelen. Daarbij kunnen verschijnselen als rillingen en kippevel optreden. Om deze warmteafgifte te beperken zal verwarming moeten worden toegepast, die uiteraard aan de behoefte van de warmteafgifte van de mens moet worden aangepast.
Omdat een volwassen normaal gekleed mens zich bijv. in een woonkamer behaaglijk voelt als zijn warmteafgifte door straling ca. 43% en die door convectie ca. 31% bedragen, zal de verwarming zodanig moeten worden uitgevoerd, dat aan deze voorwaarden kan worden voldaan. Is de temperatuur van de omringende wanden of de luchttemperatuur te hoog of te laag dan zal spoedig een gevoel van onbehagen optreden. Voor een goede behaaglijkheid is het dan ook een eerste vereiste, dat de gemiddelde luchttemperatuur in een vertrek en de gemiddelde wandtemperatuur, binnen bepaalde grenzen blijven. Met het oog op de behaaglijkheid moet ook nog met het volgende rekening worden gehouden:

- Ter vermijding van het euvel 'warm hoofd en koude voeten' mag het verschil van de temperatuur onder en boven in een vertrek niet te groot zijn.

- Ter voorkoming van koude of te warme voeten moet de oppervlaktetemperatuur van de vloer binnen bepaalde grenzen blijven (14° C en 26° C).

- De verwarming moet zó zijn aangebracht, dat een zo gelijkmatig mogelijke temperatuurverdeling wordt verkregen (geen koude hoeken of erkers).

- De bouwmaterialen en de constructie van de omringende wanden moeten zodanig zijn, dat geen te grote verschillen in oppervlaktetemperatuur van de wanden optreden.



Hoewel de luchtvochtigheid, de luchtsnelheid, de leeftijd, het geslacht, de leefgewoonten, de voeding en de lichamelijke conditie nog invloed op de behaaglijkheid van de mens hebben zijn deze factoren bij de woningverwarming meestal van nagenoeg geen betekenis. Alleen bij slechte bouw (kieren) en bij zeer hoge gebouwen (kerken) kan de luchtsnelheid een rol spelen. Is namelijk de luchtsnelheid te hoog, dan wordt daardoor de warmteafgifte van de mens door convectie te sterk, hetgeen spoedig als tocht wordt waargenomen.

Bij het verwarmen van woningen is het niet noodzakelijk dat alle vertrekken op dezelfde temperatuur worden gehouden aangezien de verrichte arbeid en de verblijfsduur in verschillende ruimten niet dezelfde zijn. Bijvoorbeeld in een keuken, waar in de regel meer wordt gewerkt dan in een woonkamer, kan de luchttemperatuur lager zijn dan in een woonkamer. In tabel I zijn de luchttemperaturen vermeld die voor het bereiken van een behaaglijk klimaat in verschillende vertrekken gewenst zijn.

TABEL I

aard van het vertrek	temperatuur in °C
woonkamer, zitkamer, eetkamer	18-22
keuken	15-18
hal, trap, gang, toilet	12-15
slaapkamer	15-18
badkamer, doucheruimte	22-24
studeerkamer, kinderkamer, hobbykamer	18

Voor het weren van vorst en vocht in garages en bergruimten kan in het algemeen worden volstaan met een luchttemperatuur van 5° C.

In ons klimaat worden bovengenoemde luchttemperaturen alleen in de zomermaanden bereikt. Voor de wintermaanden, het zgn. stookseizoen van ca. 200 dagen, zal dan ook verwarming moeten worden toegepast. Zoals uit het volgende zal blijken, kan dit met behulp van moderne elektrische ruimteverwarmingstoestellen uitstekend geschieden.

Leestekst 2

tips voor zuiniger energiegebruik

Het is opmerkelijk dat u behalve door isoleren ook door bepaalde — vaak eenvoudige — handelingen aardig wat energie kunt besparen. Wat hieronder volgt is een vrij willekeurige verzameling tips, die men stellig kan aanvullen. Het een is iets dóen, het ander is iets laten, soms is het iets op een andere manier-dan-u-gewend-was doen.
Leest u ze eens, er is wellicht iets bij waaraan u nog nooit heeft gedacht.

- Gebruik de geiser, gas- of elektrische boiler met mate, laat geen warmwater nutteloos wegstromen, gebruik geen warmwater als 't net zo goed met koud water kan.

- De waakvlam van geiser en fornuis kunnen 's avonds uit, dat scheelt ca. 200 m^3 gas per jaar. Zo kan ook de waakvlam van de c.v.-ketel rustig 's zomers uit wanneer het geen gecombineerde c.v.-warmwatervoorziening is. Dat vermindert bovendien de roestvorming in de ketel.

- Sommige mensen laten de spruitjes uren koken, wist u dat het zuiniger (en bovendien gezonder) is ze niet langer te koken dan ca. 20 minuten? In deze richting is nog veel meer mogelijk: een drukpan, ander voedsel.

- Uw kooktoestel is géén verwarmingsapparaat!!!

- De verlichting. Natuurlijk is wat lichtspreiding gezellig, maar lampen onnodig laten branden is verspilling! Wist u dat een T.L.-balk 60% minder energie vraagt? En ze zijn er tegenwoordig in even mooie kleuren als gloeilamplicht.

- Wassen, drogen en strijken zijn eveneens handelingen die zuinig kunnen worden uitgevoerd. Een half lege wasautomaat of droogtrommel is niet zuinig.

- Sluit de koelkast of diepvriezer goed af. Ontsnappen van kou kost stroom. Houd de deur zo kort mogelijk open als u iets pakken of wegbergen moet. Plaats geen warme etenswaren of dranken in de kast.

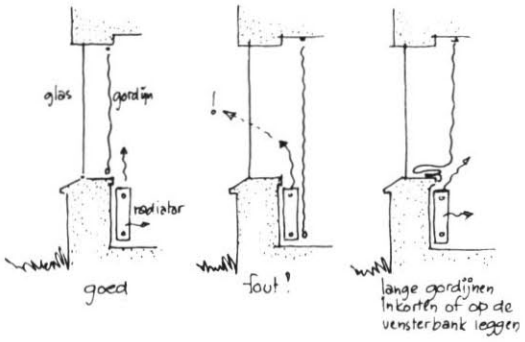
- Laat niet de keukenventilator of afzuigkap, de hele dag de warmte uit huis zuigen!

- Ventileer de woonkamer alleen overdag, de slaapkamer alleen 's nachts. Ventileren is wat anders dan een raam open en de kachel aan!
  Als u 'lucht', draai dan de thermostaat laag of de radiatoren dicht.

- Houd de warmte in de kamer, de gang mag gerust wat kouder zijn. Hetzelfde geldt voor de zolder, houd de deur dicht. Plaats desgewenst een lichte deurdranger, die doet 't werk voor u.

- Laat de voordeur niet wagenwijd openstaan als u iemand aan de deur heeft.

- Zware gordijnen weren beter koude dan lichte. Sluit de gordijnen als het donker wordt, sluit de radiator niet op tussen het raam en de gordijnen.



- Zonnewarmte is gratis warmte, benut ze!

- Centrale verwarming. Verwarm alleen waar nodig. Wellicht hoeven gang en slaapkamers (nog) niet verwarmd te worden. De thermostaat staat dikwijls te hoog, enkele graden afstellen (20° C in plaats van 22° C). Draai de thermostaat vast van 20° naar 15° een uurtje vóór u gaat slapen, de kamer blijft lang genoeg op temperatuur.

- Hou de c.v.-installatie in goede staat, laat de ketel ieder jaar nazien en schoonmaken.

- Stook uw gas-, olie- of kolenkachel alleen daar waar nodig. Temper het apparaat vóór het luchten van de ruimte.

- Beperk elektrische bijverwarming tot het hoogst noodzakelijke.

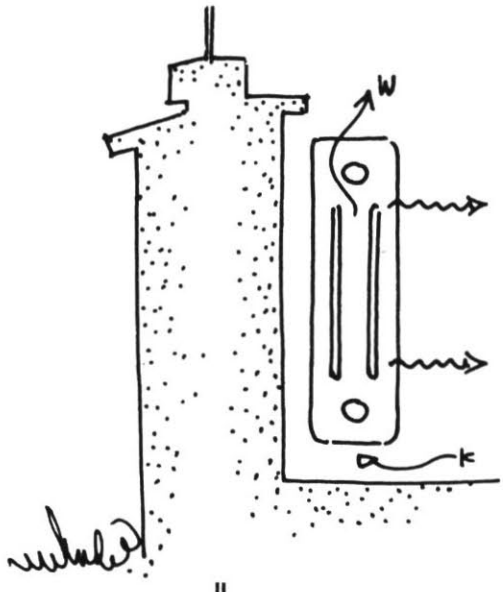
Het sparen op het gebruik van alle mogelijk kleine elektrische huishoudelijke apparaten, zoals koffiemolen, mixer, scheerapparaat enz. is een te verwaarlozen besparing. Het sparen op warmteopwekkende apparaten (koffiezetapparaat, grill, elektrische tosti, broodrooster enz.) is zinvoller!

de verwarmingselementen

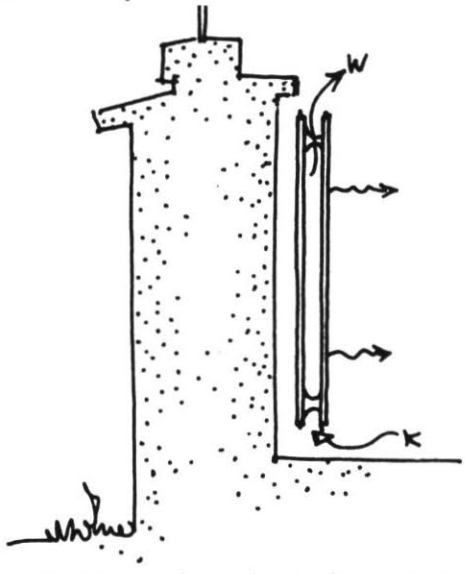
Deze leestekst is genomen uit het boek *Centrale verwarming*, Bouwcentrum Informatie/Weena 700 te Rotterdam.

Radiatoren

Leden- of kolomradiatoren zijn opgebouwd uit — het woord zegt het al — leden. Elk lid kan weer bestaan uit één of meer kolommen. De ledenradiatoren zijn door hun compacte bouw niet gemakkelijk te reinigen. Er zijn speciale borstels voor het onderhoud van deze radiatoren in de handel.
Een bijzondere uitvoering van de ledenradiator is de zogenaamde ziekenhuis- of doorkijkradiator. Hierbij is de afstand tussen de leden groter. Voor toepassing in een ruimte met een tot op de vloer doorlopend glasoppervlak kunnen deze radiatoren esthetisch een goede oplossing bieden. Ledenradiatoren worden gemaakt van plaatstaal of gietijzer.

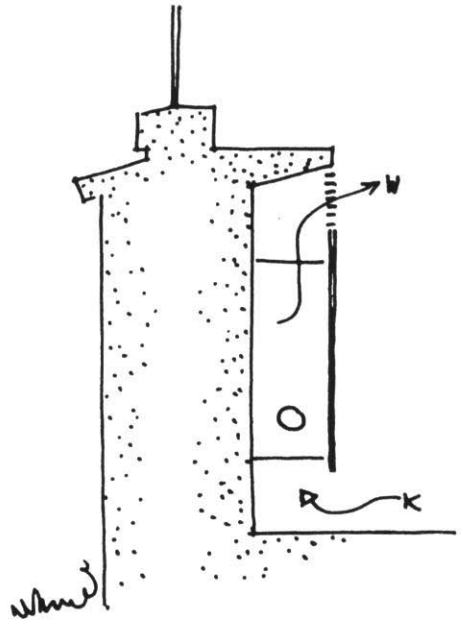


Paneel- of plaatradiatoren kunnen bestaan uit één tot vier platen. De één-plaats-paneelradiator geeft vrij veel straling. Door de plaatsing van meer panelen achter elkaar neemt ten opzichte van de totale warmteafgifte, het convectieaandeel toe en kan dan gelijk zijn aan dat van de ledenradiatoren.
De één- en twee-plaatsradiatoren hebben het voordeel dat ze vrij smal zijn, wat belangrijk is bij plaatsing in smalle gangen en dergelijke.

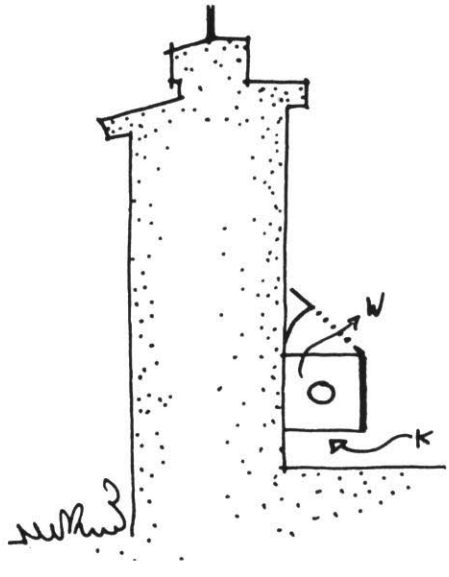


Om de warmteafgifte van deze radiatoren bij gelijk oppervlak te vergroten worden achter of tussen de platen lamellen aangebracht. Hierdoor neemt de convectiewarmte toe. Deze radiator wordt daarom vaak *paneelconvector* genoemd.
Behalve rechte radiatoren zijn ook hoekvormige en gebogen uitvoeringen mogelijk.
Paneelradiatoren worden gemaakt van plaatstaal, ook wel van aluminium. Bijzondere uitvoeringen, bijv. typen met geringe waterinhoud, hebben de eigenschap dat de installatie zich snel kan aanpassen aan de warmtebehoefte in de woning. De installatie zal evenwel sneller afkoelen wat tot gevolg kan hebben dat de kamertemperatuur aan grote schommelingen onderhevig is. Het is daarom belangrijk dat tussen de waterinhoud van de ketel, de waterinhoud van de verwarmingslichamen en het regelsysteem een juist verband bestaat.
Enkele factoren die bij het kiezen van radiatoren als verwarmingselementen dienen te worden overwogen zijn:
— het al dan niet op prijs stellen van stralingswarmte
— de mogelijkheid om de benodigde warmte geheel onder de ramen toe te voeren
— de vormgeving en afwerkingsdetails, zoals weggewerkte afsluitingen
— er is weinig kwaliteitsverschil tussen de diverse merken radiatoren.

Convectoren

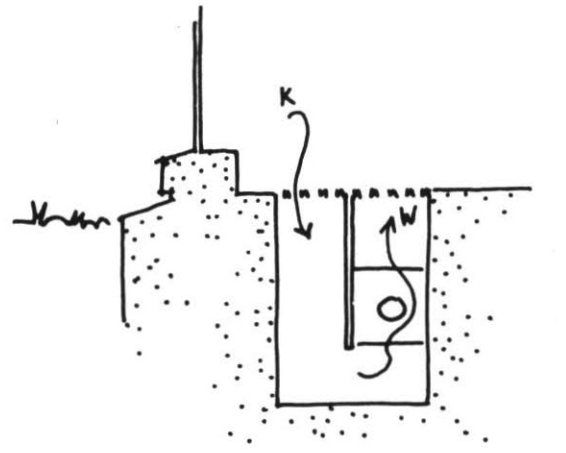


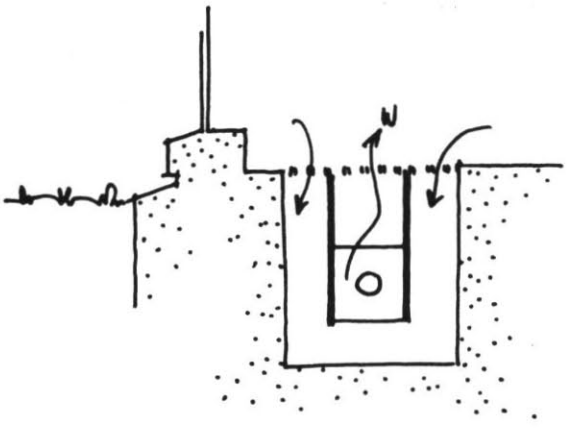
Deze bestaan uit ommantelde ribbenbuizen (buizen waarop – enkele millimeters uit elkaar – dunne metalen plaatjes, de zgn. lamellen, zijn aangebracht). Het warme water stroomt door de buizen en verwarmt zodoende ook de lamellen. De kamerlucht, die in aanraking komt met de lamellen, wordt verwarmd en stijgt op. De ommanteling (of convectorkast) heeft aan de onderzijde en bovenzijde openingen voor toevoer van de kamerlucht en afgifte van de verwarmde lucht. Deze ommanteling kan bij voldoende hoogte als 'schoorsteen' werken, waardoor de luchtstroom en daardoor de warmteafgifte wordt vergroot. Deze verwarmingselementen geven vrijwel uitsluitend convectiewarmte af. Convectoren zijn over het algemeen voorzien van kleppen, om de warmteafgifte te kunnen regelen. De totale warmteafgifte kan door sluiten van de kleppen tot 1/3 à 1/5 worden teruggebracht.
De warmteafgifte van convectoren kan ook – zoals bij radiatoren – door kranen worden geregeld; deze uitvoering is duurder en minder gebruikelijk.



Een bijzondere vorm is de *plintconvector*. Dit is een convector van geringe hoogte, waarbij de ribbenbuizen gewoonlijk achter een metalen plint worden weggewerkt. De centrale waterverwarming met de plintconvector als verwarmingselement wordt wel 'plintverwarming' genoemd.
Daar de warmteafgifte per strekkende meter bij watertemperaturen van bijv. gemiddeld 80° C vrij gering is, is het niet altijd mogelijk dergelijke verwarmingselementen uitsluitend onder de ramen aan te brengen.
In vele gevallen zullen dan ook plintconvectoren tegen een binnenmuur moeten worden aangebracht. Hierdoor kan de plaatsing van het meubilair in het gedrang komen, aangezien dit dan enige centimeters van de muur verwijderd moet blijven. Bovendien kan de achterkant van de meubelen door de opstijgende warme lucht uitdrogen.

Als men voor glaspuien géén verwarmingselement wil of kan plaatsen (deuren) kunnen zogenaamde *vloerconvectoren* worden toegepast.
Deze bestaan uit een ommanteling (put), een convectorelement en een afdekrooster (metaal of hout). Zij zijn kant-en-klaar in de handel, maar een vloerconvector kan ook worden gemaakt. In de vloer wordt dan over de breedte van de glaspui een put gemaakt. Deze kan gemetseld worden, maar ook met behulp van een plaatmateriaal gevormd worden. Enige centimeters isolatiemateriaal is daarbij belangrijk. In de put wordt dan een convectorelement gemonteerd. Voor een gunstige warmteafgifte is het nodig dat in de put een tussenschot wordt aangebracht, zodat de te verwarmen lucht gescheiden van de verwarmde lucht wordt geleid. De plaats van het tussenschot is afhankelijk van de situatie.





Als de buitenwand een groot raam bevat en de overige wanden aan verwarmde vertrekken grenzen, dan ligt het warmteverlies bijna geheel aan de raamzijde van de convector en is de warmtebehoefte van het vertrek relatief klein. In dit geval moet de convector aan de vertrekzijde gemonteerd worden, zodat de valkoude van het raam ongehinderd in de vloerput kan stromen, langs de convector strijkt en door de warme lucht meegenomen wordt. Ook als in de kamer een andere convector/radiator staat opgesteld, wordt van deze opstelling gebruik gemaakt. Moet daarentegen de convector het warmteverlies van kamer en raam dekken, dan wordt de convector in het midden van de vloerput gehangen met aan weerszijden een schot, zodat de koude lucht van het raam, zo ook van de kamer ongehinderd naar de convectoren kan stromen. De 'convectorput' wordt afgedekt met een rooster.

N.B. Soms wil men een radiator aan het oog onttrekken door de radiator in een vloerput te laten verzinken. Dit is geen goede oplossing, aangezien de warmteafgifte in grote mate wordt belemmerd.

Enkele factoren, die bij het kiezen van convectoren als verwarmingselementen in overweging moeten worden genomen, zijn:

- door de relatief geringe waterinhoud van het systeem is snel reageren op wisselende warmtebehoefte mogelijk

- veelal worden hogere watertemperaturen toegepast dan bij radiatorverwarming (max. 110° C). Bij een temperatuur van 70° C en hoger treedt echter ontleding op van het stof, dat zich op en in de verwarmingselementen heeft afgezet. Hierbij worden hinderlijke geuren ontwikkeld. Om dit te voorkomen zal men aan het begin van het stookseizoen dit stof moeten verwijderen.
  Als de convectoren langs de muren zijn geplaatst, kan vervuiling van het muuroppervlak optreden

- de bevestiging van de elementen dient vakkundig te geschieden in verband met de mogelijke geluidhinder door lengteverandering ten gevolge van temperatuurvariaties

- een convector is duurder dan een radiator: de wandconvector ten gevolge van de ommanteling, de vloerconvector ten gevolge van de vloerput en roosters. Het convectorsysteem kan echter beter in het interieur opgenomen worden, hoewel de vormgeving en kleur (verven met speciale radiatorverf) van radiatoren momenteel ook meer mogelijkheden biedt.
  Het combineren van plint- of vloerconvectoren en radiatoren is, mits goed berekend, mogelijk.

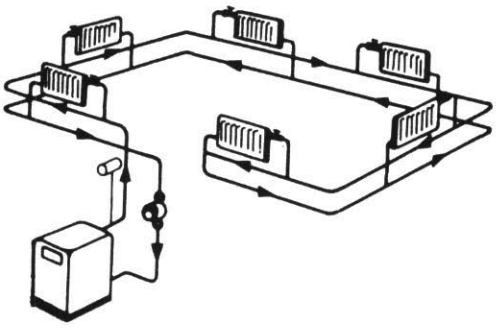
Leidingen, circulatiepomp, expansievat en ontluchting

De *leidingen*, waardoor het water getransporteerd wordt, kunnen worden vervaardigd van staal of koper.
Bij stalen centrale verwarmingsleidingen voor woningen kan een onderscheid gemaakt worden tussen normale stalen draadpijp en de tegenwoordig ook in de handel zijnde dunwandige stalen pijp.
Voor centrale verwarmingsleidingen in woningen is in het algemeen een maximale diameter van 22 mm uitwendig voor dunwandige stalen of normale koperen pijp voldoende. Vaak kan een kleinere diameter, bijv. 18, 15 of 12 mm toegepast worden. Koperen pijpen en dunwandige stalen pijpen kunnen

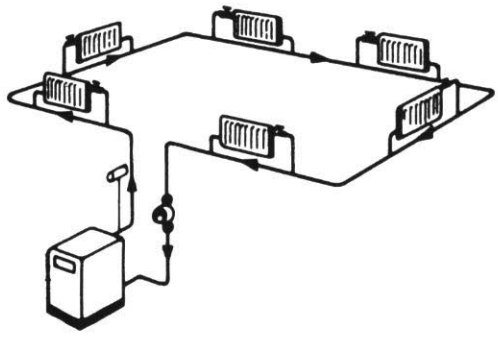
gemakkelijker worden gebogen dan stalen draadpijpen, wat vooral bij toepassing in bestaande woningen, waar de ruimte beperkt is, van grotere betekenis is. Bovendien kunnen dunne leidingen gemakkelijker worden weggewerkt. Indien zij in het zicht gelegd worden zijn zij minder opvallend en daardoor minder storend.

Bij toepassing van koperen pijpen in combinatie met radiatoren, moet rekening worden gehouden met de kans op corrosie (zgn. contactcorrosie) van de stalen radiatoren. Deze kans is des te groter naarmate er meer zuurstof in het water aanwezig is. Installaties, die uitgevoerd zijn met een open expansievat en installaties die vaak worden afgetapt bevatten zuurstofrijk water.

De installatie van de leidingen kan volgens onderstaande methoden geschieden:



a. de leidingen voor het heen- en teruggaand water worden gescheiden gehouden (twee-pijpsysteem)



b. één leidingcircuit doet dienst als aanvoer- en retourleiding (één-pijpsysteem)

Bij de laatstgenoemde methode komt het afgekoelde water uit het verwarmingselement in de 'aanvoerleiding' terug. Bij elk volgend element is de watertemperatuur derhalve lager, zodat de warmteafgifte per m^2 verwarmingsoppervlak minder zal zijn. Bij de berekening van het verwarmend oppervlak dient hiermede rekening te worden gehouden. De radiatoren of convectoren die aan het eind van het circuit zijn opgenomen, moeten dus verhoudingsgewijs groter zijn dan de eerste elementen in het circuit.
De regeling van de verwarmingselementen beïnvloedt in sterke mate de temperatuur van de andere verwarmingselementen.

De *circulatiepomp* zorgt voor een versnelde circulatie van het water. In de zomer, als de c.v. uitgeschakeld is, is het raadzaam eenmaal per maand de pomp te laten draaien gedurende ongeveer een kwartier om vastlopen te voorkomen.

Een *expansievat* moet in de installatie worden opgenomen om de volumevermeerdering van het water bij stijgende temperatuur op te vangen. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen een 'open expansievat', dat op het hoogste punt van de installatie aangebracht dient te worden en een 'gesloten expansievat', dat in de retourleiding vlak voor de ketel kan worden opgenomen. Het water in het laatste geval is zuurstofarm, waardoor roestvorming in het systeem wordt tegengegaan.

Om tijdens het vullen van de installatie de aanwezige lucht te kunnen laten ontsnappen zijn er *ontluchtingskraantjes* op radiatoren en ketel aangebracht. Doordat de lucht in eerste instantie niet volledig uit de installatie verdwijnt, zal vooral gedurende het eerste jaar regelmatig bijgevuld en ontlucht moeten worden. Of er lucht in de installatie zit, hoort u aan het borrelen of klotsen van het water. Tegenwoordig zijn er ook automatische ontluchtingskraantjes.

De regelapparatuur

De *kamerthermostaat*, reageert op de luchttemperatuur van het vertrek waar de thermostaat is aangebracht.
De kamerthermostaat schakelt in de meeste gevallen de ketel aan-uit of hoog-laag; ook is het mogelijk de pomp aan-uit te schakelen.

Een groot nadeel van het regelsysteem met een kamerthermostaat is, dat de temperatuur in de woning geregeld wordt naar de behoefte van de woonkamer.

De warmteafgifte van een radiator wordt meestal geregeld door het open- en dichtdraaien van de radiatorkraan (ook wel radiatorventiel of -afsluiter genoemd). Een betere regeling wordt verkregen door het gebruik van een thermostatische radiatorkraan, die reageert op de luchttemperatuur van de omgeving waar de kraan is aangebracht. De kraan regelt de watertoevoer naar de radiator om de ingeschakelde temperatuur constant te houden. De temperatuurvoeler kan direct aan de kraan zijn bevestigd of door middel van een afstandleiding aan die kraan verbonden zijn. Dit laatste wordt toegepast, als warmteophoping te verwachten is bij de kraan; bijv. door gordijnen of een omkasting van de verwarmingselementen.
De temperatuurvoeler wordt dan aan de muur bevestigd op een plaats, waar de gemiddelde vertrekstemperatuur verwacht kan worden, bijv. één meter van de vloer.
Met thermostatische radiatorkranen wordt op die wijze de temperatuur in ieder vertrek naar behoefte automatisch geregeld.

Als thermostatische radiatorkranen worden toegepast, kán het echter voorkomen, dat alle radiatoren afgesloten staan. In dat geval wordt de druk in het systeem te hoog, omdat de pomp te weinig te verstuwen krijgt (alleen het leidingnet). Dit geeft geluiden, extra slijtage aan de pomp en is slecht voor de thermostatische radiatorkranen. Daarom wordt óf een zogenaamde 'bypass'-leiding in het systeem opgenomen óf één (niet te kleine) radiator van een gewone radiatorkraan voorzien, die dan altijd open blijft staan.

Ketelthermostaten vervullen bij eenvoudige installaties, zoals die veel in woningen voorkomen, meestal een tweeledige functie. Veelal doen zij namelijk dienst als regel- en als maximaalthermostaat.
Door het ketelwater op een bepaalde temperatuur in te stellen door middel van een regelknop die zich in de ketel bevindt, wordt bij het bereiken van die temperatuur de gasklep gesloten, zodat de brander dooft. Bij een bedrijfszekere werking zal het ketelwater de ingestelde temperatuur niet overschrijden, zodat deze temperatuur tevens de maximale temperatuur is. In de winter bedraagt deze temperatuur veelal 90° C.
De ketel kan ook voorzien zijn van 2 ketelthermostaten. De ene, de maximaalthermostaat, doet dan dienst als veiligheid en wordt op een bepaalde temperatuur ingesteld en daarop ook vergrendeld. De andere, de regelthermostaat, is voorzien van een knop, waarmee de gewenste temperatuur kan worden ingesteld.
In de winter bij een buitentemperatuur van +5° C tot −10° C zal hij op een 80 à 90° C staan; in het voor- en najaar bij een buitentemperatuur van 0° C tot 12° C op een 50 à 60° C.

Een zogenaamde 'weersafhankelijke regeling met buitenthermostaat' is een betere uitvoering, omdat de buitenthermostaat automatisch de ketelwaterthermostaat bijstelt zodra de weersomstandigheden dit noodzakelijk maken.

Ook komen er andere typen ketelbeveiligings- en regelthermostaatcombinaties voor. Veelal worden deze in speciale gevallen toegepast of in grotere installaties. Wij gaan daar verder niet op in.

Tijdklok. Het is mogelijk de kamerthermostaat of de ketelthermostaat uit te voeren met een tijdschakelklok, die ervoor zorgt dat de ingestelde temperatuur automatisch voor het naar bed gaan wordt teruggeschakeld en de volgende dag op een gekozen uur voor het opstaan weer terugkomt op het oude niveau.

Welke regeling toe te passen?
De meest gunstige regeling, gezien vanuit temperatuurregeling en energiebesparing, zal de combinatie zijn van de weersafhankelijke regeling met buitenthermostaat en thermostatisch geregelde radiatorkranen in vertrekken, die op de zuidkant zijn gelegen en in kamers die een goede temperatuurregeling vereisen, zoals slaap- en studeerkamers.
Met bovengenoemde regeling kunt u ongeveer 20% energiebesparing verwachten ten opzichte van een eenvoudige regeling. De koppeling met de tijdklok is zeker de moeite waard.

Wat betreft de regeling van de warmteafgifte van het centrale-verwarmingsysteem met *een c.v.-haard* kunnen verschillende systemen worden toegepast, te weten:

- regeling door middel van een kamerthermostaat. De thermostaat commandeert de brander, bij te hoge temperatuur wordt de brander lager gesteld of uitgeschakeld.
  Als in de woonkamer te veel capaciteit is geïnstalleerd, dan doet het bezwaar zich voor dat bij het uitgaan van de brander de overige ruimten nog niet de gewenste temperatuur hebben bereikt. Belangrijk is dus, dat in de woonkamer niet te veel radiatoroppervlak wordt geïnstalleerd of beter dat een haard wordt gekozen die een beperkte directe warmteafgifte heeft

- regeling door middel van een ketelthermostaat. Ook bij toepassing van deze regeling kan het bezwaar van te lage temperatuur in de overige vertrekken zich voordoen bij een te grote capaciteit van de installatie in de woonkamer

- van de met gas gestookte c.v.-haarden zijn enkele haarden zó uitgevoerd, dat een gedeelte van de warmteafgifte van de haard geregeld wordt door een waterthermostaat en een ander gedeelte door een kamerthermostaat (twee onafhankelijk geregelde branders). De temperatuur in de kamer kan dan min of meer afhankelijk van de temperatuur in de overige vertrekken worden geregeld.

de hoge-rendementsketel

Technische gegevens

- Het toestel is ontworpen voor een nuttige capaciteit van 16 kW.
- Afhankelijk van de ketelwatertemperatuur is het waterzijdig vollastrendement 86–96% op bovenste verbrandingswaarde (= 94–106% op onderste verbrandingswaarde).
- Bij een gemiddelde ketelwatertemperatuur van 45 °C (normaal gemiddelde) is het gebruiksrendement bepaald volgens de zogenaamde deellastmethode, 93% op bovenste verbrandingswaarde (= 102% op onderste verbrandingswaarde).
- Het opgenomen elektrisch vermogen bij 6 schakelingen per uur is 6 Wh.
- De brander wordt elektrisch ontstoken, de vlambewaking is uitgevoerd volgens het ionisatiesysteem.
- De bewaking van de ventilator is in het voornoemde circuit van de beveiliging opgenomen.

Opengewerkte schets van de nieuwe generatie c.v.-ketel

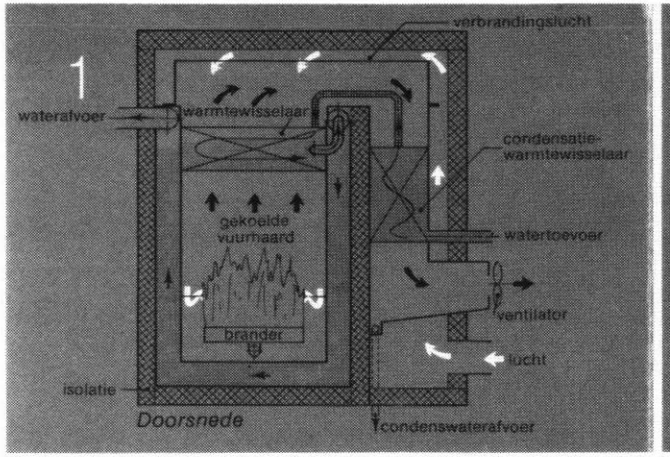
nieuwe generatie c.v.-ketel

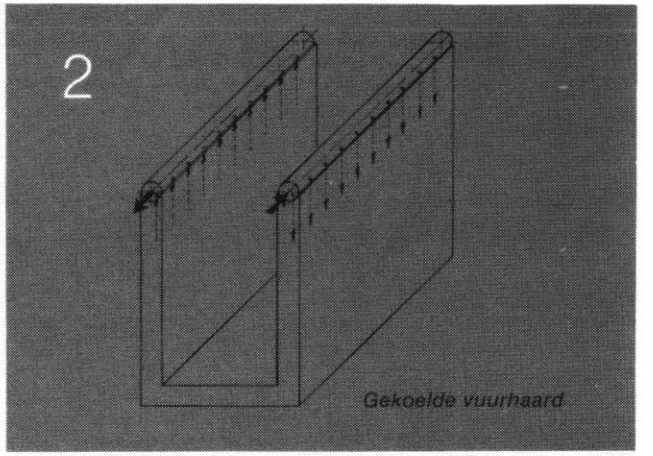
N.V. Nederlandse Gasunie

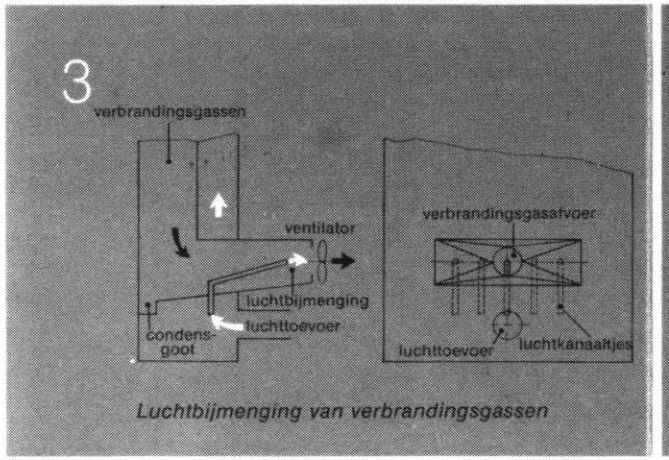
N.V. Nederlandse Gasunie
Postbus 19
9700 MA Groningen

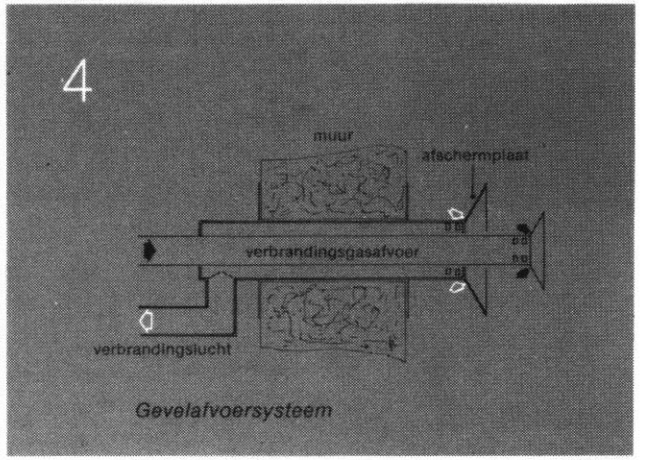
November 1979
tweede herdruk

Gasunie ontwikkelde een nieuwe generatie c.v.-ketel. Als de grootste energieleverancier in Nederland is Gasunie zeer betrokken bij een optimaal verbruik van aardgas.
Omdat in de huishoudelijke markt het aardgas voornamelijk verbruikt wordt voor verwarmingsdoeleinden, ligt het voor de hand dat de invoering van ketels met hogere rendementen aanzienlijke besparingen zal opleveren. Om deze reden heeft Gasunie haar speciale aandacht gericht op de ontwikkeling van een prototype van deze apparatuur.









Beschrijving. In een c.v.-ketel wordt de bij de verbranding vrijkomende warmte voor een deel aan het circulerende water overgedragen. De resterende warmte verdwijnt enerzijds door de schoorsteen en wordt anderzijds door straling en/of convectie afgegeven aan de omgeving.
De ketel van de nieuwe generatie onderscheidt zich van de conventionele, doordat hierbij zoveel mogelijk warmte uit de verbrandingsgassen aan het c.v.-water wordt overgedragen, terwijl de verliezen naar de omgeving tot een minimum worden beperkt. Om dit te realiseren wordt in een gesloten toestel aardgas verbrand (figuur 1). De hete verbrandingsgassen, die met behulp van een ventilator door het toestel worden gezogen, staan een deel van hun warmte af aan de gekoelde vuurhaard (figuur 2) en aan een daarboven geplaatste warmtewisselaar. Daarna wordt de stroom verbrandingsgassen omgekeerd en door een tweede warmtewisselaar geleid. Deze is opgenomen in een kast waaromheen de verbrandingslucht stroomt en deze verbrandingslucht wordt voorverwarmd. In dit deel van het toestel worden de verbrandingsgassen afgekoeld tot een temperatuur die enige graden lager ligt dan die van het inkomende c.v.-water. Dit wordt mede veroorzaakt door warmtewisseling met de aangezogen verbrandingslucht.
Tevens worden in dit deel van het toestel de verbrandingsgassen zo ver afgekoeld dat er condensatie van de in deze gassen aanwezige waterdamp optreedt; er wordt dus een deel van de warmte, die bij dit condensatieproces vrijkomt, als het ware teruggewonnen, en als warmte opgenomen in het c.v.-water.
De aanwezige waterdamp wordt 'omgezet' in condenswater, dat via een spuileiding wordt afgevoerd.
Dit condensatieproces dient zoveel mogelijk in deze tweede warmtewisselaar plaats te vinden en niet in het verbrandingsgasafvoerkanaal, aangezien in deze warmtewisselaar het condenswater op een eenvoudige wijze kan worden verzameld en afgevoerd.
Bij het verlaten van het toestel worden de met het restant van de waterdamp verzadigde verbrandingsgassen vermengd met lucht, zodanig dat condensatie in de afvoer onderdrukt dan wel vermeden wordt (figuur 3).

Doordat de ventilator de verbrandingsgassen uit het gesloten toestel zuigt, en er dus in het toestel een onderdruk heerst, wordt de verbrandingslucht aangezogen. Deze wordt in het toestel voorverwarmd en gelijkmatig onder de brander verdeeld. Aangezien het toestel geheel gesloten is, is de geluidsproduktie ervan minimaal. Het toestel kan naar believen als schoorsteen- of als geveltoestel worden uitgevoerd. Deze laatste uitvoering is zelfs nog gunstiger met betrekking tot het rendement (figuur 4), omdat in het gecombineerde toe- en afvoerkanaal nog warmte gewisseld wordt.

'Zuinige' CV-ketel is 1000 gulden duurder

Uit: *Utrechts Nieuwsblad* 11 maart 1981

(Door Bert Bakker)

De veelbesproken „zuinige" cv-ketel, die momenteel door de verwarmingsindustrie wordt gefabriceerd, zal naar verwachting aan de particulier 1000 gulden meer gaan kosten dan een gewone cv-ketel. In de loop van dit jaar zullen de nieuwe ketels in kleine aantallen te koop zijn.

De introductie van deze energiebespaarders wordt begeleid met een voorlichtingsfolder van Gasunie en Vegin (de vereniging van gasbedrijven). Deze folder vertelt onomwonden dat de nieuwe ketels nog talrijke beperkingen hebben. Het zijn beslist niet de wonderapparaten waarvoor zij door sommige enthousiastelingen wel eens zijn gepresenteerd.

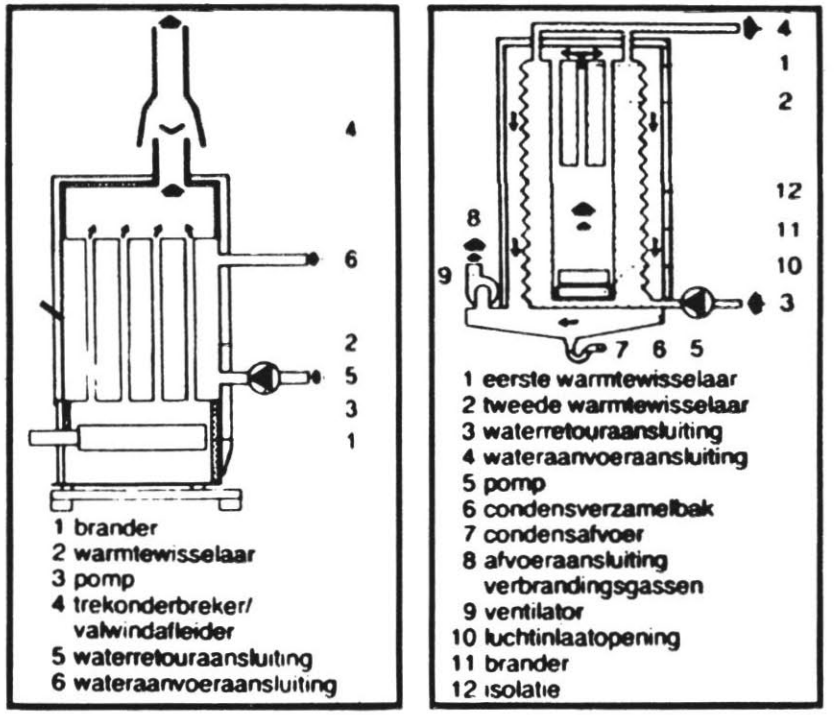
— Om te beginnen gaan de nieuwe ketels ongeveer 1000 gulden méér kosten dan de normale ketels. De prijzen komen te liggen tussen de 1900 en 2300 gulden.

— Daar bovenop komen ook nog hoge installatiekosten. Die kunnen oplopen tot een paar honderd gulden per ketel.

— Extra kosten heeft men óók als men de ketel neerzet op een plaats waar al een andere heeft gestaan. Er moet namelijk een afvoer worden aangelegd voor het condenswater dat in de nieuwe ketels vrijkomt. Voorts vergen de ketels een rookafvoer die niet lang mag zijn.

— In flats blijken de nieuwe ketels niet te kunnen worden geplaatst.

— De nieuwe cv-ketel mag ook niet op een gemetseld schoorsteenkanaal worden aangesloten, wegens te vrezen vochtdoorslag.



HET WERKINGSPRINCIPE van de gebruikelijke ketel, (links) en dat van de HR-ketel (rechts).

— De afvoer moet van aluminium zijn. Er wordt aangeraden die pijp niet weg te werken, omdat hij gecontroleerd moet kunnen worden.

— Voorts vermelden Gasunie en Vegin dat de jaarlijkse onderhoudskosten van de nieuwe ketels hoger zullen liggen dan bij gewone ketels, omdat er meer onderdelen aan zitten die nagekeken moeten worden. Door die meerdere onderdelen kunnen er ook eerder storingen optreden.

De nieuwe ketels hebben een zogeheten Hoog Rendement. Dat wil zeggen, dat ze 90 procent van het verbruikte gas omzetten in warmte voor de cv. Slechts 10 procent gaat de schoorsteen uit, en dat is beter dan bij vele oudere ketels.

Bij de nieuwe ketels wordt extra warmte uit de afvoergassen gehaald. Doordat die gassen daardoor afkoelen voordat ze de lucht in gaan, komt er eerst nog veel waterdamp uit. Het is dit vocht in de „koude" afvoergassen, dat maakt dat oude schoorstenen nat zouden gaan doorslaan.

De nieuwe ketels zijn dus veel duurder dan de normale. Voordat een nieuwe ketel er staat, zal hij veelal zo'n 1200 gulden méér hebben gekost dan een gewone. Haal je die extra uitgave eruit?

Volgens de Gasunie en de Vegin zou bijvoorbeeld iemand met een gasverbruik van 4600 kubieke meter per jaar er bij de huidige gasprijs f 376 per jaar mee kunnen besparen.

Je zou dus pas in het vierde jaar je extra uitgaaf eruit hebben, als je het geld voor de aanschaf zomaar contant uit een oude kous hebt gehaald. Maar heb je het moeten lenen dan kan het zijn dat je zelfs vijf jaar nodig hebt voordat je quitte speelt.

Bij een snelle stijging van de gasprijs zou de „terugverdienperiode" wat korter kunnen zijn. Heb je nog een goedwerkende „oude" ketel, en zou je die nu maar meteen wegdoen uit enthousiasme voor de nieuwe zuiniger soort, dan wordt het bezuinigen nog onvoordeliger. Je moet dan eigenlijk ook eerst nog de „restwaarde" van die oude ketel terugverdienen. Want die ben je ook kwijt. Voor een tweedehands cv-ketel vind je immers zelden een gegadigde.

Als je dus denkt dat zo'n nieuwe ketel je meteen winst in de schoot werpt, heb je het mis.

Inbouwkomforen

Keukenprobleem: gas of stroom, dat is de vraag

Ga ik elektrisch koken of houd ik het op gas? Dat is de knoop die in elk mensenleven een paar maal moet worden doorgehakt. Bijvoorbeeld als je je voor het eerst 'gaat inrichten'. Maar ook als er een nieuwe keuken moet komen omdat de oude echt niet meer kan. Als de keus tussen stroom of gas alleen een kwestie is van geld, zijn we gauw uitgepraat. Koken op gas is in de meeste gevallen een stuk goedkoper. Zet je alle gemakken en ongemakken op een rij, dan is de keus zo simpel nog niet.

De Stichting Vergelijkend Warenonderzoek heeft een aantal elektrische en gaskomforen getest, die alle bestemd zijn voor inbouw. Uit dit onderzoek komen de voor- en nadelen van koken op gas of op elektriciteit stuk voor stuk naar voren.

Energieverbruik

Het energieverbruik van uw kooktoestel vormt echt niet het leeuwedeel van uw gas- of elektriciteitsrekening. Maar ook kleine beetjes helpen, dus laten we eerst kijken naar de energiekosten van het koken.

Tussen gas en stroom is een goede vergelijking te maken, dat bleek duidelijk uit het onderzoek. De onderzochte elektrische komforen verbruikten namelijk ongeveer evenveel stroom en de gaskomforen bleken zo'n beetje evenveel aardgas te verbruiken.

Voor de vergelijking is ervan uitgegaan dat elke dag een warm maal wordt gekookt en dat er verder dagelijks nog een paar keer wat wordt opgewarmd. De onderzoekers gebruikten een vast menu voor 4 personen van groentesoep (uit een pakje), varkenslappen, worteltjes en aardappelen. Daarnaast brachten ze nog viermaal anderhalve liter water aan de kook.

Als je dat elke dag zou doen, dan heb je daarvoor in een heel jaar met een gaskomfoor ongeveer 90 kubieke meter aardgas nodig. Bij de huidige aardgasprijs kost dat ruim 40 gulden per jaar.

De vergelijkbare kosten bij elektrisch koken zijn meer dan het dubbele: over de 100 gulden (433 kilowattuur). De twee bedragen zijn allebei inclusief BTW, maar exclusief het vastrecht.

De konklusie: koken op gas is ongeveer de helft goedkoper dan elektrisch koken. Het verschil van pakweg zes tientjes per jaar wordt echter door het vastrecht praktisch tot nul gereduceerd als u behalve uw kooktoestel geen andere gasapparaten in huis hebt.

Tenslotte moet u bedenken dat hier een vergelijking is gemaakt vooral op basis van een eenvoudige maaltijd. Als u veel meer werk maakt van uw maaltijden en misschien ook nog tussendoor aktief bent in de keuken – vergeet ook de oven niet – dan worden de kostenverschillen tussen elektriciteit en gas natuurlijk groter.

Andere kosten

Elektrisch koken is ook in andere opzichten vaak wat duurder dan koken op gas. Het begint al met de aanschaf van het komfoor. De gaskomforen zijn in doorsnee goedkoper dan elektrische.

Elektrische kookplaten vragen om pannen met een dikke en vlakke bodem. Dus ook in dit opzicht kunt u duurder uit zijn. De duurdere kwaliteitspannen zijn meestal zowel voor gas als voor elektrische kookplaten geschikt. Als u op gas kookt, kunt u echter eventueel ook met goedkope pannen toe, die voor een elektrisch komfoor echt onbruikbaar zijn. Rekent u tenslotte bij een elektrisch komfoor ook op extra aansluitkosten.

(On)gemakken

Ook in het gebruik komen er nogal wat verschillen voor tussen elektrisch koken en koken op gas. Beide hebben duidelijke voor- en nadelen, maar er zijn ook verschillen die de een heel anders zal waarderen dan de ander. Een kwestie van smaak dus.

Opwarmtijd. Een elektrische kookplaat doet er ontegenzeglijk wat langer over om uw potje aan de kook te krijgen dan een gaspit. Het verschil is echter niet zo groot meer als nog weleens wordt gedacht. De onderzochte gaskomforen brachten een ketel met anderhalve liter water in bijna zes minuten aan de kook. Tenminste als we de grote brander gebruikten. Op de grote (snelkook) kookplaat (18 cm) van de elektrische komforen duurde het tussen de zeven en acht minuten.

In tabel 1 wordt een vergelijking gemaakt van de opwarmtijd en het energieverbruik voor gasbranders en elektrische kookplaten.

Bediening

Een gasbrander is over het algemeen wat moeilijker in te stellen dan een elektrische plaat.

Een nadeel van een elektrische plaat is dat zij na het uitschakelen nog een tijdje warm blijft. Dat betekent bijvoorbeeld dat melk die dreigt over te koken, meteen van de plaat af moet, ook als u direkt uitschakelt, anders kookt de zaak geheid over.

Schoonmaken. Een elektrisch komfoor is wat gemakkelijker schoon te maken dan een gaskomfoor. Bij een gasstel is vooral het schoonmaken van het rooster lastig. Bij ▶

tabel1 **OPWARMTIJD EN VERBRUIK**

soort	vermogen	opwarmtijd (gemiddeld)	verbruik (gemiddeld)
		opwarmen van 1½ liter water (20 tot 95 °C)	
	watt	min	
gaskookbrander			
groot	ca. 2800	5¾	30 l gas
normaal	ca. 2000	6¾	27 l gas
sudder	ca. 900	15¾	26 l gas
elektrische kookplaat			
14,5 cm			
automatisch	ca. 1500	9¼	234 Wh
snel	ca. 1500	10¼	238 Wh
normaal	ca. 1000	13¼	224 Wh
18 cm			
automatisch	ca. 2000	7½	264 Wh
snel	ca. 2000	7¾	265 Wh
normaal	ca. 1500	9½	245 Wh

een elektrische plaat moet u er wel voor zorgen dat u niet op de plaat morst. Eén van de redenen waarom de pan altijd even groot moet zijn als de plaat waar hij op staat.

Nog een paar gebruiksverschillen. Een elektrische kookplaat geeft de warmte gelijkmatig aan de pan af. De kans op aanbranden is daardoor kleiner. Als u elektrisch kookt kunt u ook met heel weinig water toe, waardoor u vooral bij groenten wat minder voedingsstoffen en smaak verliest.

Veiligheid

Koken op gas houdt altijd een extra gevarenkansje in. Bij de onderzochte gaskomforen liep het nogal los met de tochtgevoeligheid. Ze voldeden allemaal aan de eisen. Maar bij een behoorlijke windstoot kan de vlam toch altijd uitwaaien, vooral in de laagste stand.

Tot slot nog dit: aan een elektrische kookplaat is niet te zien of zij heet is.

Grote keus in gaskomforen maar schijn

Veel keus in gaskomforen voor inbouw. Tenminste, dat schijnt zo. Wie de komforen goed op de korrel neemt, merkt algauw dat de meeste erg op elkaar lijken. Dat bleek ook bij dit onderzoek.

De negen onderzochte merken, die in tabel 2 bij elkaar staan, kwamen maar uit drie fabrieken. Etna maakt niet alleen het eigen merk, maar blijkt ook de fabrikant van zes andere produkten: van Bauknecht tot en met Siemens. Alle produkten uit de Etnastal zijn over één kam geschoren. Alleen de merken Atag, Etna en Scholtès zijn volledig onderzocht. Alles wat verder in dit verhaal over Etna wordt gezegd, gaat ook op voor de andere merken uit dezelfde fabriek. Het merk Pelgrim ontbreekt op de lijst van onderzochte komforen, omdat deze fabrikant zijn kookbranders ging veranderen.

De keus voor dit onderzoek is gevallen op losse gaskomforen die apart van de oven kunnen worden ingebouwd. De bedieningsknoppen zitten opzij naast het komfoor. Meestal zitten ze rechts, maar Etna kan ook met de knoppen aan de linkerkant worden gemonteerd. Gekozen is voor komforen met elektrische vonkontsteking. Dat gemak maakt zo'n toestel ongeveer 100 gulden duurder.

Plaatsen/aansluiten

De inbouwkomforen moeten worden ingebouwd in het aanrechtblad. Bij het inbouwen moet u er rekening mee houden dat elk komfoor weer andere maten heeft.

Aan de onderkant van de komforen zit het gasaansluitpunt. Bij Scholtès en drie van de zeven Etna-produkten waren we niet erg te spreken over de kwaliteit van de schroefdraad. Dat kan problemen geven bij de aansluiting. Voor de vonkontsteking moeten de komforen worden aangesloten op een goed geaard stopkontakt. Een advies: breng de gasaansluiting en het stopkontakt zó aan, dat ze na inbouw gemakkelijk bereikbaar zijn.

Branders

Een gezin van niet meer dan vier personen is meestal het best af met een komfoor dat één grote kookbrander heeft, twee normale kookbranders en één sudderbrander. Atag en Etna hebben zo'n branderverdeling. Scholtès heeft twee grote kookbranders, één normale en één kleine. Een sudderbrander ontbreekt dus. Dat kan behoorlijk lastig zijn, want de kookbranders zijn zelfs in hun laagste stand in het algemeen ongeschikt voor stoven en sudderen. In tabel 2 staat precies welke branders elk merk heeft en hoeveel warmte elke brander kan produceren (dat wordt tegenwoordig in kilowatts gemeten, niet meer in kalorieën).

Het Giveg-keur eist dat de kleinste stand van elke brander hooguit 15 procent is van de hoogste stand. Atag en Etna voldeden daar net aan. Aan de wens van 10 procent of minder, waar de keuringseisen het ook over hebben, kunnen ze dus niet tippen. Scholtès ging ver over de schreef met een kleinste stand van 19 tot maar liefst 29 procent.

Snelheid en gasverbruik

De verschillen in opwarmtijd tussen de onderzochte komforen waren niet spectaculair. Over het algemeen had Scholtès iets meer tijd nodig dan andere merken.

De komforen gebruikten allemaal ongeveer evenveel gas. Alleen Scholtès sprong er uit met een tien procent hoger verbruik van de grote en de normale branders.

Bij de proeven bleek ook hoe belangrijk het is dat niet een te kleine pan op een te grote brander wordt gezet. Anderhalve liter water opwarmen in een pan van 20 centimeter kostte op een normale brander ruim tien procent minder gas dan op een grote brander. Grote kookbranders zijn dan ook bedoeld voor pannen van zo'n 22 centimeter en meer; normale branders voor pannen van 18 tot 20 centimeter.

Een eenvoudige standaardmaaltijd koken kostte bij Scholtès heel wat meer gas dan bij Atag en Etna: 0,15 tegenover 0,13 kubieke meter. Het grotere verbruik van Scholtès komt vooral doordat de branders niet laag genoeg kunnen worden gedraaid. Dat geeft ook problemen bij het koken van zaken die snel aanbranden. Scholtès viel door de mand bij een proef met het koken van rijstebrij, bedoeld om de gelijkmatigheid van de verwarming vast te stellen.

Problemen met veiligheid

Alle gaskomforen in dit onderzoek hadden het Giveg-keur. Toch bleek één merk elektrisch onvoldoende veilig, terwijl de branders onvoldoende laag konden worden gesteld. Dat zou eigenlijk niet mogen bij een produkt met Giveg-keur. Het Gasinstituut zal nog strenger moeten toezien op de naleving van de keuringseisen.

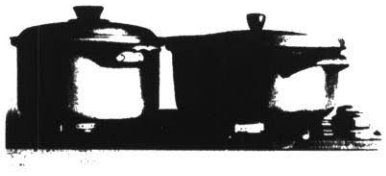
De onderzochte elektrische komforen zijn getest met internationale normen, die gelijk lopen met de Kema-eisen. In veel gevallen bleek er op de onderzochte toestellen nog wel wat aan te merken. De feiten zijn aangemeld bij het Ministerie van Economische Zaken, dat moet toezien op de naleving van het Elektriciteitsbesluit.

tabel 2 **GASINBOUWKOMFOREN**

merk en type [1]	adviesprijs ca.	afmetingen buitenkant	aantal en soort branders: grote	normale	kleine	sudder	snelheid van opwarmen en gasverbruik: klein stellen	ontsteken branders	bedieningsgemak	schoonmaken	gebruiksaanwijzing	elektrische veiligheid	testresultaat	totaal
	f	cm	aantal/kW											
ATAG GKC 121 OH [2]	555	56 x 50	1 2,8	2 2,1	...	1 0,9	□	+	+	□ +	+	+	□ +	goed
ETNA 010 V [3]	525	55 x 50	1 2,7	2 2,0	...	1 0,9	□	+	□	□ +	□	□	□	redelijk
SCHOLTÈS T 478 G luxe	620	58 x 49	2 3,2	1 1,9	1 1,6	...	--	□	+	□ +	□	□	-	onvoldoende veilig

[1] de type-aanduiding betreft steeds de bruin geëmailleerde uitvoering met uitzondering van Philips (roestvast staal)
[2] is volgens fabrikant opgevolgd door het gastechnisch gelijke type GKC 421 (adviesprijs f 555) met andere knoppen
[3] hieraan gelijk zijn de merken en typen:
BAUKNECHT GVM 125, adviesprijs f 550
JUNKER + RUH GM 1162, adviesprijs f 530
KÜPPERSBUSCH MG 514 EM, adviesprijs f 540
NEFCO 1751, adviesprijs f 495
PHILIPS AKB 218/01, adviesprijs f 545
SIEMENS GM 6122, adviesprijs f 535

fabrikanten/importeurs
ATAG: Atag, Ulft, 08356-7911
BAUKNECHT: Bauknecht, Oosterhout (N.B.), 01620-29111
ETNA: De Etna, Breda, 076-224221
JUNKER + RUH: Junker + Ruh, Bleiswijk, 01892-5688
KÜPPERSBUSCH: Contact Roestvrijstaal, Ridderkerk, 01804-14433
NEFCO: Mebro Huis & Techniek, Heemstede, 023-339150
PHILIPS: Philips Nederland, Eindhoven, 040-784478
SIEMENS: Siemens, Den Haag, 070-782782
SCHOLTÈS: Scholtès Distribution, Beilen, 05930-3121
+ + = zeer goed, + = goed, □ = redelijk, - = matig, -- = slecht, ... = niet aanwezig



Allemaal grote pannen op één komfoor: dat is dringen geblazen. Knoppen opzij kunnen dan extra lastig zijn

Ontsteken

De vonkontsteking werkt met een knop op het bedieningspaneel. Druk je de knop in, dan springt een vonkje over, dichtbij de brander.

De werking van de ontsteking is getest onder verschillende omstandigheden. In de hoge stand duurde het aansteken alleen bij enkele Etna-komforen soms te lang bij een warme brander mèt pan. In de lage stand duurde het zowel voor Etna als voor Atag vaak te lang.

Na een duurproef, overeenkomend met ongeveer tien jaar gebruik, bleek de werking bij Scholtès en Etna duidelijk achteruit te zijn gegaan. Opvallend was dat tussen de Etna-produkten onderling duidelijke verschillen optraden.

Pandragers

Scholtès heeft een pandrager (rooster) van roestvrij staaldraad. Bij Atag is het geëmailleerd gietijzer en bij Etna geëmailleerd staal.

Een inbouwkomfoor met knoppen opzij heeft wat minder ruimte voor de pannen. Grote pannen steken wat uit en als u meer grote pannen tegelijk gebruikt, gaan ze elkaar algauw in de weg zitten. Vaak zult u ook wiebelende pannen voor lief moeten nemen. Van alle Etna's was er maar één met een vlak rooster. Atag was nieuw niet helemaal vlak, maar dat ging na een tijdje koken over. Bij Scholtès was het net andersom: eerst vlak, maar later wiebelen.

Bedieningsgemak

Het bedieningsgemak van de komforen is beoordeeld naar de plaats en de groepering van de knoppen, de aanduidingen op de knoppen en de hanteerbaarheid ervan. Zowel bij Scholtès als bij Atag was het niet zo duidelijk welke knop bij welke brander hoorde. Bij Etna waren de vlammetjes die de stand moeten aangeven niet goed van elkaar te onderscheiden.

Schoonmaken

De fabrikanten van alle gaskomforen zouden meer rekening moeten houden met de gebruikers die het allemaal iedere keer weer schoon moeten maken. Vooral bij Etna hebben de bedieningsknoppen lastige randjes en gleuven. Het rooster van Scholtès verkleurt al na eenmaal koken. Laat je wat overkoken, dan is het flink schuren geblazen. Bij de laspunten van het rooster kan zich gemakkelijk vuil ophopen. Dit laatste geldt ook voor Etna, die scherpe punten en randen heeft.

Gebruiksaanwijzing

Scholtès geeft zijn aanwijzing alleen in het Frans. Eén Nederlandse versie moesten we bij de importeur in de wacht slepen. Alleen Atag zegt ook iets over een doelmatig gebruik van de branders en het verhelpen van storingen.

Elektrische veiligheid

Bij het testen van de elektrische veiligheid liet Scholtès het afweten. De aarding van aanraakbare metalen delen bleek onvoldoende. Ook verder bleek er op de geteste toestellen nog het een en ander aan te merken. Bij alle komforen hadden de draden naar de vonkontsteking beter gescheiden moeten zijn van de lichtnet-bedrading. Bij Etna vonkte de ontsteking wat te snel.

konklusie

Van negen gaskomforen, bestemd voor inbouw, kwam de Atag GKC 121 OH (adviesprijs f 555)* als beste uit de bus. Zeven merken kwamen alle uit dezelfde Etna-fabriek.

* Inmiddels opgevolgd door type GKC 421, met andere knoppen, maar gastechnisch en qua prijs gelijk.

uitkomsten en tabellen

	blz.
Uitkomsten	75
Tabellen	76

Uitkomsten

Par. 3.4
2. $4 \cdot 10^5$ J
3. $4 \cdot 10^5$ J/K of $4 \cdot 10^5$ J/°C
6. $4{,}2 \cdot 10^4$ J
7. $8{,}4 \cdot 10^3$ J
8. $1{,}6 \cdot 10^4$ J
9. 9,5 l (bij 100% rendement)
10. $1{,}24 \cdot 10^8$ J
12. $0{,}13 \cdot 10^3$ J/kg · K; lood
13. $5{,}4 \cdot 10^5$ J

Par. 4.4
1. 12 kWh
2. 0,2 kWh
3. 1 kWh
4. 8,3 kWh
5. 0,05 kWh; 0,05 kWh
6. $7{,}2 \cdot 10^5$ J
7. $7{,}2 \cdot 10^6$ J
8. 9000 J
9. 7,2 kWh = 2,6 · 10 J
10. $2{,}16 \cdot 10^4$ J
11. 1,8 W; $1{,}62 \cdot 10^3$ J
13.
15. 78%
16. 56%; 1,5 kW
18. 933 s (15 min. 33 s)
19. 61%; 0,022 m^3
20. 25%; 3,9 kW

Par. 5.5
4. 0,78 mm
5. 4,7 mm
10. 42%

aggregatietoest. (T = 293 K)		dichtheid (T = 293 K)	lineaire uitzettingscoëfficiënt	kubieke uitzettingscoëfficiënt	soortelijke warmte	smeltpunt (smelttemperatuur)	smeltwarmte	kookpunt (p = p_0)	verdampingswarmte bij kookpunt	dichtheid t.o.v. waterstof	soortelijke weerstand (T = 293 K)	samenstelling
		10^3 kg m^{-3}	10^{-5} K^{-1}	K^{-1}	10^3J kg^{-1} K^{-1}	K	10^5J kg^{-1}	K	10^5J kg^{-1}		$10^{-8}\Omega$ m	massa - %
aardgas (Gron.)	g	0,83 · 10^{-3} [4]		1/273						9,2		
aceton	l	0,79		1,5 · 10^{-3}	2,2	178	0,92	329	5,2			
alcohol (ethanol)	l	0,80		1,1 · 10^{-3}	2,4	159	1,1	351	8,4			
aluminium	s	2,7	2,4		0,88	932	4,0				2,7	
ammoniak	g	0,77 · 10^{-3} [4]		1/273		195		240	13,7	8,5		
argon	g	1,8 · 10^{-3} [4]		1/273						20		
benzeen	l	0,88		1,2 · 10^{-3}	1,7	279	1,3	353	3,9			
benzine	l	0,72										
bismut	s	9,8	1,3		0,12	545	0,54				119	
brons	s	8,9	1,9		0,38	1280						90 Cu, 10 Sn
cadmium	s	8,6	3,1		0,23	594	0,57				7,5	
calcium	s	1,6	2,2		0,65	1123	3,3				4,3	
chloor	g	3,21 · 10^{-3} [4]		1/273		172		239	2,9	35,5		
chroom	s	7,1	0,7		0,45	2176	2,8				13	
constantaan	s	8,9	1,5		0,41	1540					45	54 Cu, 45 Ni, 1 Mn
diamant	s	3,5	0,13		0,49	> 3900	170				10^{21}	
eboniet	s	1,2	8,5		1,7						10^{16}	
ether	l	0,71		1,7 · 10^{-3}	2,3	157	1,2	308	3,8			
fosfor (wit)	s	1,8	12		0,79	317	0,22				10^{25}	
glas gewoon	s	2,6	0,80		0,84						10^{20}	
glas flint	s	3,6	0,80		0,50							
glycerol	l	1,3		0,5 · 10^{-3}	2,4	292	1,8	563				
goud	s	19,3	1,4		0,13	1336	0,66				2,2	
grafiet	s	2,3	0,20		0,69	3820	170				10^3	
graniet	s	2,7	0,70		0,82							
helium	g	0,18 · 10^{-3} [4]		1/273		1,0 [5]		4,3	0,21	2,0		
hout balsa-	s	0,15										
ebbe-	s	1,3	0,4									
hout eike-	s	0,78	0,4								10^{18}	
vure-	s	0,58	0,5									
invar	s	8,1	0,2		0,50	1720					10	64 Fe, 36 Ni
keukenzout	s	2,2			0,88	1081						
kobalt	s	8,7	1,4		0,42	1768	2,6				6,5	
koolstofdioxide	g	2,0 · 10^{-3} [4]		1/273						22		
koper	s	8,9	1,7		0,39	1356	2,1				1,7	
kurk	s	0,20										
kwarts	s	2,5	0,040		0,75	1880					10^{28}	
kwik	l	13,5 [1]		0,18 · 10^{-3}	0,14	234	0,12	630	3,0		96	
lood	s	11,3	2,9		0,13	601	0,25				21	
lucht	g	1,3 · 10^{-3} [4]		1/273						14		
magnesium	s	1,7	2,7		1,0	923	3,7				4,6	
manganien	s	8,5	1,6		0,41	1270					43	84 Cu, 12 Mn, 4 Ni
marmer	s	2,7	1,2		0,88						10^{17}	
messing	s	8,5	2,1		0,38	1170					6,0	60 Cu, 40 Zn
natrium	s	0,97	7,1		1,3	371	1,2				4,7	
nichroom	s	8,2	1,3								110	60 Ni, 22 Fe, 18 Cr
nieuwzilver	s	8,9	1,8		0,40						33	50 Cu, 35 Zn, 15 Ni
nikkel	s	8,8	1,3		0,46	1728	3,0				7,8	
olijfolie	l	0,92		0,72 · 10^{-3}	1,7							
paraffine	s	0,89	11		2,9	325					10^{23}	
petroleum	l	0,79			2,1							
platina	s	21,4	0,90		0,13	2043	1,1				11	
plexiglas (perspex)	s	1,2	8,0		1,5						> 10^{27}	
polyetheen	s	0,93	18		2,2							
polyvinyl-	s	1,3	2,4		1,0						10^{22}	
chloride (pvc)												
porselein	s	2,4	0,35		0,80	1900					10^{20}	

(Vervolg)

aggregatietoest. (T = 293 K)		dichtheid (T = 293 K)	lineaire uitzettingscoëfficiënt	kubieke uitzettingscoëfficiënt	soortelijke warmte	smeltpunt (smeltemperatuur)	smeltwarmte	kookpunt ($p = p_0$)	verdampingswarmte bij kookpunt	dichtheid t.o.v. waterstof	soortelijke weerstand (T = 293 K)	samenstelling
		10^3 kg m^{-3}	10^{-5} K^{-1}	K^{-1}	10^3J kg^{-1} K^{-1}	K	10^5J kg^{-1}	K	10^5J kg^{-1}		$10^{-8}\Omega$ m	massa - %
rubber	s	1,2	20		1,6						10^{21}	
staal (roestvrij)	s	7,8	1,0		4,6	1780						85 Fe, 13 Cr, 0,2 C
steen bak-	s	1,8	0,6									
stikstof	g	$1,3 \cdot 10^{-3}$ [4]		1/273				77		14		
tetra	l	1,6			0,84	250	0,17	350	1,9			
tin	s	7,3	2,2		0,23	505	0,59				11,5	
water	l	1,00		$0,21 \cdot 10^{-3}$ [3]	4,2	273	3,3	373	23			
waterstof	g	$0,090 \cdot 10^{-3}$ [4]		1/273				20		1		
wolfraam	s	19,3	0,45		0,13	3650	1,9				5,5	
ijs	s	0,92[2]	5,0[2]		2,2	273	3,3					
ijzer	s	7,9	1,2		0,46	1812	2,7				11	
zand	s	1,6			0,80							
zilver	s	10,5	1,9		0,24	1234	1,1				1,6	
zink	s	6,9	3,0		0,39	693	1,1				6,2	
zuurstof	g	$1,4 \cdot 10^{-3}$ [4]		1/273				90		16		
zwavel	s	2,0	8,0		0,74	392	0,46				10^{31}	
zwaveldioxide	g	$2,9 \cdot 10^{-3}$ [4]		1/273				263		32		
zwavelzuur	l	1,8		$0,56 \cdot 10^{-3}$	1,4	284		603	5,1			

[1]) bij T = 273 K : 13,6
[2]) bij T = 269 K
[3]) bij T = 293 K
[4]) $p = po$
[5]) $p = 2,5 \cdot 10^6$ Pa

s = vast (solid)
l = vloeibaar (liquid)
g = gasvormig (gaseous)

Begeleidingscommissie S.V.O.-project 0213 (vooronderzoek voor het PLON, 1972-1974)

F. van de Maesen (voorzitter tot 1973); hoogleraar natuurkunde Technische Hogeschool Eindhoven
N.J. Heijkoop (voorzitter 1973-1974); inspecteur voortgezet onderwijs
W.P.J. Lignac (secr.); secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
S. Auer, algemeen didacticus Universiteit van Amsterdam
F. Balkema, inspecteur voortgezet onderwijs
H.P. Hooymayers, lector natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
H.J.L. Jongbloed (1972-1973), mediadeskundige NIAM
J. Schweers, leraar natuurkunde havo/vwo
J. Smit, inspecteur voortgezet onderwijs
E. Warries, hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
M. van Wieringen (1973-1974), mediadeskundige NIAM

Stuurgroep PLON (1974-heden)

H.P. Hooymayers (voorzitter), hoogleraar natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
W.P.J. Lignac (secr. tot 1978), secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
A.A.M. Agterberg (secr. sedert 1978), secretaris Advies Commissie voor de Leerplan Ontwikkeling Natuurkunde in oprichting
P. Broekman (sedert 1980), hoofd afdeling Bèta en Gamma-vakken CITO
F. Dekkers (sedert 1979), hoofddocent natuurkunde Moller Instituut
H. Lengkeek (tot 1977), leraar natuurkunde mavo
D.A. Lockhorst (tot 1978), leraar natuurkunde havo/vwo
J. Schipper (sedert 1980), medewerker A.P.S.
A. Snater (tot 1980), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
F.J. Steenbrink (tot 1978), leraar natuurkunde vwo
J.M.F. Teunissen (tot 1975), onderwijskundige Rijks Universiteit Utrecht
W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo te Putten
R. de Vries (sedert 1980), leraar natuurkunde havo, vwo, namens de NVON
E. Warries (tot 1975), hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
S.A. Wouthuysen (tot 1976), hoogleraar natuurkunde Universiteit van Amsterdam

Kerngroep mavo

G.H. Frederik, vakdidacticus Rijksuniversiteit Utrecht; tot 1979 voorzitter van de ACLO-n i.o.
H. Eeftink (sedert 1980), leraar natuurkunde mavo
D. Hobo (tot 1979), directeur van de Chr. Mavo de Lier
S.G.C. Markering, hoofddocent natuurkunde Gelderse Leergangen
Ch. van Raemdonck (sedert 1980), leraar natuurkunde mavo (PLON)
J. Vastbinder (sedert 1980), leraar natuurkunde M.T.S.
W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo Putten

PLON-team mavo/havo/vwo-onderbouw

H.F. van Aalst
W. van Bochoven (1976-1978)
W. Bijker (1979-1981), Rijks Universiteit Utrecht
H. Boelhouwer (sedert 1979), S.V.O.
S.O. Ebbens (1976-1980)
C. Floor (1979-1980)
A.C.L. van Gameren (sedert 1977)
D. van Genderen, Rijks Universiteit Utrecht
F.L. Gravenberch (sedert 1978)
C.A.S. Groen (tot 1980)
W.H. Kamphuis (sedert 1975)
J. Kortland (sedert 1980)
B.M. de la Parra (sedert 1977)
B. Pelupessy
P. de Raad (1977-1978), onderzoeksassistent
A.E. van der Valk (sedert 1980)
R.F.A. Wierstra
Th. Wubbels (1978-1979)
J. Zwarts (1977-1978), onderzoeksassistent

PLON-administratie

E. van den Broek (1976-1979)
R. Lindeman (1977-1980)
M. Rolff van den Baumen (1974-1979)
B. Schillert (sedert 1980)
A.G. Schwering (sedert 1980)
H. Veurink (tot 1974)

Tekeningen

A. Lurvink (Onderwijsmedia instituut – Rijks Universiteit Utrecht)
H. de Waal (Onderwijsmedia instituut – Rijks Universiteit Utrecht)

Foto's

A.C.L. van Gameren (PLON)
W.H. Kamphuis (PLON)

PLON-CITO (namens CITO)

F. Boessenkool
P. Broekman
C. Hellingman
T. Heuvelmans
H. Jaspers
J. de Kanter

Proef- en volgscholen 1980-1981

Chr. Mavo Putten te Putten
Chr. Mavo de Lier te De Lier
Thorbecke S.G. te Arnhem (mavo-afdeling)
Edith Stein College te Den Haag
Chr. Mavo Mariahoeve te Den Haag
Maasveld Mavo te Blerick
Regina Pacis Streekschool te Oudewater
R.S.G. Schagen te Schagen
Hertog Jan College te Valkenswaard
Marnix College te Ede
Niels Stensen College te Utrecht
Ashram College te Alphen a/d Rijn
Mavo de Bark te Zaandam
S.G. Oost Betuwe te Bemmel
R.S.G. Broklede te Breukelen
Eemland College Noord te Amersfoort
Grotius College te Heerlen
S.G. Nijmegen Oost te Nijmegen
Chr. S.G. de Brug te Lelystad
Dr. Edith Stein Mavo te Eindhoven
Michaël Mavo te Beek-Ubbergen
Chr. S.G. Jan van Arkel te Hardenberg
Mavo 't Fregat te Zaandam
Chr. S.G. Revius te Deventer

Overzicht van PLON-thema's voor mavo en onderbouw havo-vwo

VOOR DE 2e KLAS

- Een eerste verkenning in de natuurkunde
- Mensen en metalen – themaboek
- Keuzeonderzoeken
- Werken met water – themaboek
- Leven in lucht
- IJs, water en stoom (I en II)

Tevens zijn beschikbaar:
- Terugblik 2e klas, avol/app. gidsen, rommelpakket Leven in lucht, waterbladen en demonstratiebladen Werken met water.

VOOR DE 3e KLAS

- Bruggen
- Zien bewegen
- Geluid weergeven
- Natuurkunde in de samenleving: Water voor Tanzania
- Elektrische schakelingen – instructieboekje
- Energie thuis
- Natuurkunde in de samenleving: Energie in de toekomst

Tevens zijn beschikbaar:
- Kleur en licht
- Avol/app. gidsen

VOOR DE 4e KLAS MAVO EN DE 3e KLAS HAVO-VWO

- Verkeer en veiligheid
- Krachten – instructieboekje
- Natuurkunde in de samenleving: Stoppen of doorrijden?
- Verwarmen en isoleren
- Schakelen en regelen
- Machines en energie
- Natuurkunde in de samenleving: Kernwapens

Tevens zijn beschikbaar:
- Repeteerthema voor het eindexamen mavo
- Examenboekje voor mavo
- Avol/app. gidsen