

# Besluit gemeentelijke instrumenten warmtetransitie

<https://www.internetconsultatie.nl/bgiw/b1>

Uden, 14 september 2022

## Mijn reactie:

Er ontbreekt wat aan de voorlichting aan de Nederlandse burger. Zo wordt het begrip '**primaire energie**' te weinig genoemd in de media. Zo wordt elektriciteit als een gelijksoortige energiebron beschouwd als gas. Elektriciteit is een afgeleide energiebron, terwijl gas een primaire energiebron is. Zo wordt bijvoorbeeld gas gebruikt om energie op te wekken.

Bij de toepassing van elektriciteit als energiebron gaat er vast en zeker energie verloren. Of beter gezegd wordt er energie niet nuttig aangewend. Van de gebruikte primaire energie om elektriciteit op te wekken, wordt maar  $\frac{1}{3}$  (hooguit) effectief aangewend. Dit komt door energieverliezen die onvermijdelijk optreden.

Ook wordt er te weinig aandacht geschonken aan de drie vormen van warmteoverdracht, te weten door:

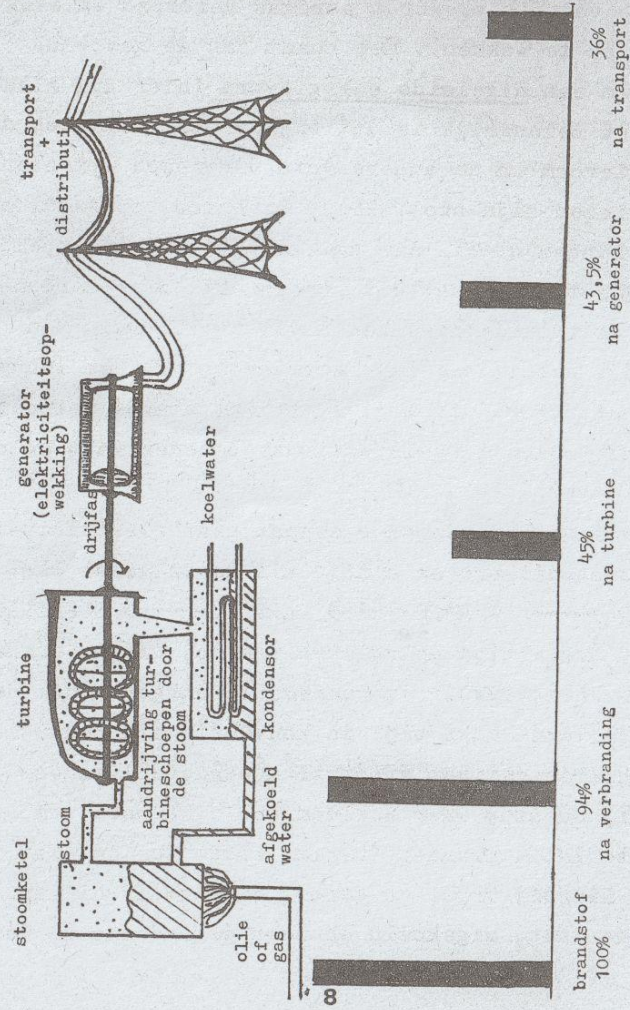
- geleiding (van toepassing bij vaste stoffen)
- stroming (van toepassing bij vloeibare stoffen)
- straling (van toepassing bij gassen; lucht is een samengesteld gas)

De nadelen van de warmtepomp staan verder op vermeld.

Wat verder ook van belang is dat bij een hogere spanning er weliswaar minder sprake is van energieverlies, maar dat de draden weer dikker moeten zijn en als gevolg daarvan er extra hoogspanningsmasten nodig zullen zijn. Daar ondergronds (dikkere) leidingen voor

elektriciteitstransport te kostbaar zal blijken de zijn. Onder meer door de toepassing van isolatie, die om elke draad zal dienen te komen. En die ook van hogere kwaliteit zal moeten zijn. Nadeel van meer hoogspanningsmasten is dat ze concurreren met andere gebruikstoepassingen van de schaarse ruimte in Nederland. Denk hierbij aan woningbouw en infrastructuur voor bijvoorbeeld openbaar vervoer ( de Lelylijn).

Om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen is het noodzakelijk om het gebruik van primaire energie te verminderen. Een prijsprikkel kan een goed instrument zijn om de vraag naar energie te verminderen. Daarbij zal er veel meer openheid moeten komen, hoeveel primaire energie een bepaalde activiteit kost. Het **primaire energieverbruik** kan enorm verminderd worden **door de elektriciteitsconsumptie te verminderen**.



Figuur 1: Schema van een conventionele elektriciteitscentrale met daaronder een staafdiagram dat het verlies aangeeft bij de omzetting van steenkool (of aardgas) in elektriciteit en bij de distributie.

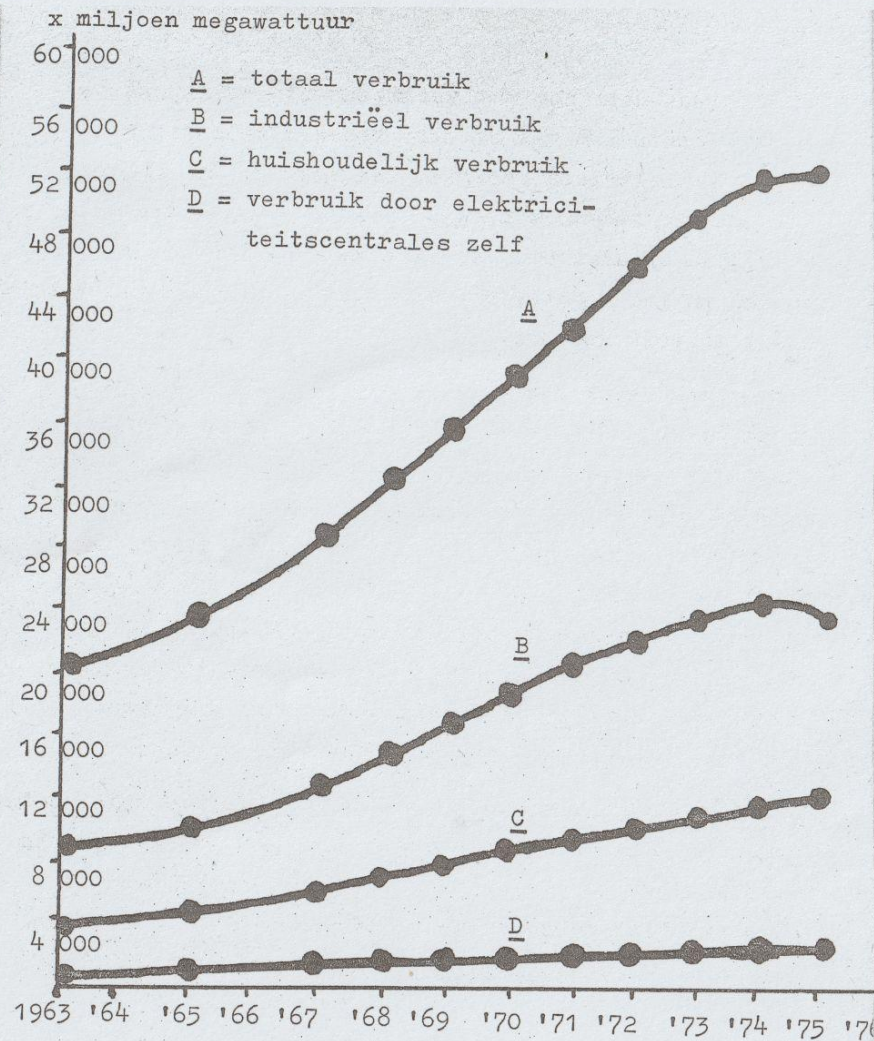
water.

Hierdoor en door nog wat verliezen bij transport e.d. wordt slechts 36% van de oorspronkelijke energie omgezet in elektrische energie. Het komt er dus op neer dat men met een hoeveelheid kolen een kachel 3 uur kan laten branden als deze rechtstreeks verbrand wordt in dat kachel, en slechts 1 uur als dat via elektriciteit gebeurt.

Dat er ook veel warmte verloren gaat bij het gebruik (konsumptie) van energie is gemakkelijk in te zien. Raak maar eens een gloeilamp aan. Deze is bijna net zo heet als een kachel. Dat komt omdat maar 5% van de gebruikte elektriciteit wordt omgezet in licht. De rest komt vrij als warmte. Hierdoor wordt dus slechts 2% van de oorspronkelijke energie omgezet in licht. Dit zelfde verhaal gaat ook op voor elektrische apparaten in fabrieken, het huishouden etc. Niet voor niets moeten sommige apparaten gekoeld worden.

Zoals we nu gezien hebben gaat er bij de elektriciteitsproductie een heleboel energie verloren in de vorm van warmte. Dus eigenlijk is het duur en verspillend om elektriciteit te gebruiken. Toch zijn er wel oorzaken aan te geven waarom elektriciteit nog steeds gebruikt wordt en waarom het verbruik nog steeds toeneemt (het elektriciteitsverbruik in Nederland wordt aangegeven in figuur 2.).





Figuur 2: elektriciteitsverbruik in Nederland

Deze redenen zijn:

--- Centrale productie: hierdoor is de benodigde leverantie veel beter te plannen en te verzorgen.

--- Eenvoudige distributie: eenvoudig voor zowel producent als konsument. (b.v. hoogspanningsnet en stekker in stopkontakt).

--- Schoon in gebruik (niet in produktie).

--- Kleine hoeveelheden zijn makkelijk af te nemen.

Een bijkomend voordeel voor elektriciteitsmaatschappijen en toeleveringsbedrijven is dat de elektriciteitsproductie, distributie en technologie gemakkelijk te monopoliseren zijn. Zoals we nog in de geschiedenis van de kernenergie in Nederland zullen zien, zijn de elektriciteitsmaatschappijen steeds autonomer geworden. Hierdoor versterkten ze hun monopoliepositie. Het leveren van de steeds grotere centrales (met tot nu toe als toppunt de kerncentrales) wordt een technies steeds moeilijker zaak. Bij kerncentrales zien we dan ook dat slechts enkele concerns deze centrales kunnen leveren. Voor deze concerns is het dan ook een goede zaak deze monopoliepositie te handhaven.

Door de elektriciteitsmaatschappijen wordt een sterk stijgend elektriciteitsverbruik voorspeld. Reden waarom men kerncentrales plande. Want kernenergie (een primaire energievorm) kan worden omgezet in elektriciteit. Het vervangt dus in feite de kolen, olie en gas



en vragen veel energie die voor een gedeelte direct door de bevolking betaald wordt (bedrijven die veel elektriciteit afnemen betalen een lagere prijs, b.v. Péchiney, een aluminiumfabriek in Zeeland).

Het beleid kan beter gericht zijn op arbeidsintensieve en minder energieverwendende industrieën. Er zijn nu een paar besparingsmaatregelen genoemd. De werkzaamheden die hieruit voortvloeien zouden vele arbeidsplaatsen creëren terwijl er ook gunstige neveneffecten optreden (o.a. minder verkeersongelukken door verminderd autogebruik, minder thermische vervuiling van water door afvalwarmte).

We zullen nu nog ingaan op de ontwikkeling van alternatieve energiebronnen. Door van deze energiebronnen gebruik te gaan maken en niet van kernenergie, zal niet alleen bereikt worden dat er nieuwe arbeidsplaatsen komen en het milieu behouden blijft maar ook dat alle maatschappelijke, sociaal-economische en politieke bezwaren die aan kernenergie kleven wegvallen (zie hoofdstuk 3).

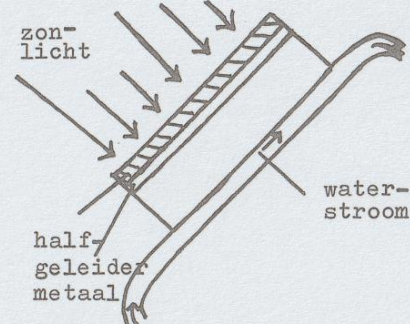
We kunnen ons daarom beter richten op de onuitputtelijke 'niet-fossiele' bronnen, zoals zonne-, wind-, waterkrachten-, geothermische- en bio-energie. Vooral de twee eerstgenoemde energiebronnen zullen

een belangrijke bijdrage moeten leveren aan de energievoorziening in Nederland. We zullen daarom met deze twee bronnen beginnen.

#### ZONNE-ENERGIE

Als je iets over alternatieve energie wilt vertellen dan zul je wel de zon als centrum moeten nemen, omdat vrijwel alle energie hier op aarde afkomstig is van de zon. De zon straalt een immense hoeveelheid energie naar de aarde (ter vergelijking: de hoeveelheid zonne-energie die de aarde bereikt is 10.000 maal zo groot als het totale wereldenergieverbruik).

Deze energie kan o.a. opgevangen worden d.m.v. kollektoren waarbij de straling omgezet wordt in warmte. Hierbij kunnen twee soorten kollektoren gebruikt worden, nl. vlakke kollektoren en parabool- of koncentrerijsse kollektoren. Vlakke kollektoren werken met speciaal gekonstrueerde oppervlakken. (zie figuur 8)



figuur 8.



zoninstraling (zoals centraal Noord-Afrika) m.b.v. gekoncentreerde zonnehitte. Deze synthetische brandstof kan dan door Nederland geïmporteerd worden met als nadeel weliswaar dat we afhankelijk blijven van steeds duurder wordende brandstof.

#### WINDKRACHT

Enkele tientallen jaren geleden stonden voornamelijk in Noord- en Zuid-Holland enkele honderden windmolens. Door de toenmalige sterke concurrentie met de olie zijn vrijwel alle molens verdwenen.

Toch kunnen windmolens een waardevolle bijdrage vormen voor de energievoorziening. Wanneer een molen van voldoende capaciteit een generator aan kan drijven, dan wordt elektriciteit opgewekt. Zo staat er op Texel een windmolen, die een klein aantal huizen van elektriciteit voorziet.

Windmolens op het land zijn niet zo wenselijk vanwege het ontsierende karakter voor het landschap, daarom is er een plan ontworpen dat er  $\pm$  7.000 molens in de noordzee geplaatst worden in groepjes van drie. Deze molens zouden ongeveer 10-15% van onze behoefte aan elektrische energie dekken.

#### WATERKRACHTEN-ENERGIE

Een indirecte vorm van zonne-energie is de waterkrachten-energie. Door de permanente kringloop van het verdampen van zeewater, neerslag hiervan in de vorm van regen en de terugkeer van dit water naar de zee door de rivieren, is er een mogelijkheid om aan deze kringloop energie te onttrekken.

De bekendste vorm hiervan is de 'witte steenkool': d.m.v. stuwmeren energiereservoirs aanleggen en elektriciteit opwekken. Verder is het mogelijk om via een thermo-dynamische weg warmte te onttrekken. Dit proces is te vergelijken met een ijskast, waarbij ook warmte uit de ijskast onttrokken wordt en vrijkomt aan de achterkant van de ijskast. Ook uit de zee kan energie onttrokken worden en wel door gebruik te maken van stromingen, van getijdeverschillen en van temperatuurverschillen. Het gebruik maken van getijdeverschillen wordt nu al toegepast in o.a. Frankrijk (La Roche) en zou ook zeer goed kunnen functioneren bij enkele inhammen in Engeland.

#### GEOOTHERMIESE ENERGIE

Geothermische energie is aardwarmte die ontstaat door het permanente radioactieve verval dat plaats vindt in het binnenste der aarde. Is er een poreuze



aardlaag, gevuld met water, in contact met zo'n warme aardlaag, dan ontstaat er stoom in deze poreuze laag. Door nu een boring te verrichten naar zo'n poreuze aardlaag kan de stoom ontsnappen en gebruikt worden voor het aandrijven van turbines en dus elektriciteit opwekken.

In Californië is het vermogen dat zo opgewekt wordt 30.000 megawatt. Ook in IJsland, Nieuw-Zeeland en Frankrijk past men deze energiebron reeds toe. Uit onderzoekingen is echter gebleken dat deze bronnen niet alleen voorkomen in vulkaniese gebieden maar overal, als men maar diep genoeg boort.

#### BIO-ENERGIE

In organiese afvalstoffen wordt, bij afwezigheid van zuurstof, door bacteriewerking methaangas geproduceerd.

Hiervan heeft men van oudsher reeds gebruik gemaakt bij boerderijen door een tank in een sloot te plaatsen die het opborrelende gas moest opvangen. Via een pijpleiding werd dit gas naar het huis getransporteerd waar men het kon verbranden. In de concurrentie met aardgas is deze vorm van energievoorziening hier ten onder gegaan. In China echter voorzagen in 1976 drie miljoen boeren d.m.v. kleine vergassings-

installaties zichzelf van brandstof voor verwarming en aandrijving van kleine machines.

Voorals in de derde wereld landen kan deze bron een belangrijke bijdrage leveren in de energievoorziening.

Verder heeft deze methode als voordeel dat men het afval kwijtraakt en er goede mest voor in de plaats krijgt.

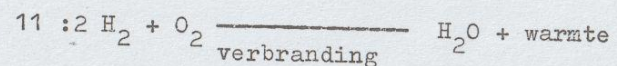
Een andere mogelijkheid om uit afval energie te verkrijgen is door verbranding (in Amsterdam verkrijgt men zo 6% van de gebruikte energie). Een probleem bij de verbranding van afval zijn de transportkosten (de verbranding gebeurt centraal, grootschalig). Men kan ook stoom onder hoge druk en temperatuur door het afval leiden waardoor olie, gas en teer ontstaat. Deze methode heeft hetzelfde nadeel als de afvalverbranding.

Het is nu wel duidelijk dat er een scala van mogelijkheden is om energie op te vangen, maar de moeilijkheid is dat men hiervoor bijna altijd afhankelijk is van wisselende grootheden (windstilte of storm, veel zon of bewolkte hemel enz.). Daarom worden de mogelijkheden voor opslag van kapitaal belang.



Hiervoor zijn de volgende mogelijkheden in onderzoek:

a. Waterstofgas. Door middel van elektrische energie kan water in een elektrolytische reactie ontleden in waterstof en zuurstof. Bij verbranding van waterstof ontstaat weer water en uiteraard warmte.



1 zou je de 'exploitatie' kunnen noemen en 11 het gebruik in de centrale. Natuurlijk hoeven 1 en 11 niet op dezelfde plaats te gebeuren, het H<sub>2</sub>-gas kan immers vervoerd worden. Waterstof is een zeer diffuus gas waardoor het niet mogelijk is dit gas voor langere tijd goed te bewaren. Er wordt in dit verband gedacht aan oude gasbekkens.

Verder is elektrolyse alleen mogelijk met platina, wat een vrij kostbare zaak is.

b. Opslaan van elektrische energie in accu's. Ook dit kan maar in beperkte mate en voor korte tijd gebruikt worden.

c. Opslaan van warmte d.m.v. waterbassins. Dit wordt b.v. toegepast in het kringloophuis in Bostel. Op het ogenblik is het grootste bezwaar dat het isoleren van dit warmtebad nog niet zodanig mogelijk is dat

warmte b.v. een half jaar opgeslagen kan worden.  
d. Opslag van warmte d.m.v. zouten. Zouten hebben nl. een grotere warmtecapaciteit dan water dus is voor de opslag van dezelfde hoeveelheid warmte een kleiner volume nodig. Nadeel is echter dat de zouten duurder zijn dan water.  
e. Een vorm van opslag die al langer gebruikt wordt is het gebruik maken van stuwmeren. In tijden van energieschaarste kunnen deze stuwmeren leeglopen en daardoor hun energie afgeven.

Zo te zien zijn er dus vrij veel mogelijkheden voor alternatieve energie, maar er is nog geen van deze mogelijkheden op het ogenblik goed bruikbaar, louter en alleen omdat het benodigde geld voor de ontwikkeling niet op tafel komt.

Is er nu een reden te vinden achter het feit dat er wel veel geld wordt uitgegeven aan de ontwikkeling van kernenergie en vrijwel niets aan andere alternatieven.

Op het ogenblik is de energievoorziening voornamelijk in handen van enkele grote maatschappijen en als deze ontwikkeling zich zo voortzet zal de groep van deze maatschappijen nog groter worden.

Het is niet toevallig dat juist kernenergie van



deze maatschappijen de voorrang krijgt. Kernenergie vraagt namelijk enorme investeringen zodat alleen de allergrootste maatschappijen overblijven en kernenergie is bij uitstek geschikt voor een gecentraliseerd beleid.

Zo denkt men aan het bouwen van enkele kerncentrales met een zeer groot vermogen (3.000 megawatt), i.p.v. vele gewone centrales met een klein vermogen.

Vrijwel lijnrecht hiertegenover staan de meeste alternatieve energiebronnen. Zij vereisen niet zo'n hoge investering als bij kerncentrales, hoewel ook bij deze vormen de bouwkosten per mW nog vrij hoog zijn. Hier staat echter tegenover dat de brandstof (zon, wind e.d.) gratis is.

Verder zijn de meeste alternatieve energiebronnen bij uitstek geschikt voor een gedecentraliseerd beleid met daardoor minder kans op het ontstaan van monopolies van enkele energiebedrijven.



de leidingen welke die toestellen verbinden met de elektriciteitsmeter en uit de leidingen of kabels, die de meter op zijn beurt verbinden met de centrale. Deze leidingen bezitten, zoals alle stroomgeleiders, een zekere weerstand, die kan worden berekend als aangegeven is in § 3. Om de stroom door deze leidingsweerstand te voeren is een zeker spanningsverschil tussen beginpunt en eindpunt van elke geleider nodig. Wanneer de totale weerstand van de leidingen (heen- en terugleider)  $R$  ohm bedraagt, dan is  $i.R$  het totale spanningsverschil in de leidingen, ook wel genoemd het spanningsverlies in de leidingen, omdat men bedoeld spanningsverschil of -verval in mindering moet brengen op de spanning in de centrale ten einde de spanning op de plaats van het gebruik te vinden.

$$E_{\text{verlies}} = i.R \quad (15)$$

Voor de goede werking van alle elektrische toestellen en gloeilampen is het noodzakelijk, dat zij worden aangesloten op de juiste spanning en de leidingen van de centrale tot op de gebruiksplaats moeten daarom zo worden gemaakt, d.w.z. van zodanig materiaal en zo dik, dat het spanningsverlies daarin binnen zekere grenzen blijft. Algemeen wordt toegelaten een grootste spanningsverlies van:

- 2% voor licht- en verwarmingsinstallaties,
- 5% voor krachtinstallaties.

Anderzijds komt men aan de wens naar constante spanning tegemoet door de spanning aan de centrale en in de voedingspunten van het zgn. *verdeelnet* of *distributienet* iets hoger te kiezen dan voor de verbruikstoestellen nodig is. Bedraagt bv. de *gebruiks- of netspanning* 220 volt en is in het verdeelnet een spanningsverlies toegelaten van ten hoogste 3%, dan moet de spanning aan de voedingspunten op 226 à 227 volt worden ingesteld.

Aangezien  $E_{\text{verlies}} = i.R$ , zal het spanningsverlies variëren met de stroomafname in het net ( $R$  is constant). Op momenten van grote belasting kan het spanningsverlies groter zijn dan 6 à 7 volt, om daarentegen op momenten van lage belasting, zoals gedurende de nachturen, zeer klein te worden. In de nacht wordt daardoor de netspanning veelal groter dan 220 V.

Nog een andere factor, nl. de ligging van de verbruiksplaats t.o.v. het voedingspunt van het verdeelnet, speelt hier een rol. Een plaats in de nabijheid van het verdeelpunt heeft minder spanningsverlies en dus een hogere gebruiksspanning dan een plaats ver daar vandaan, omdat voor de dichtbijzijnde verbruiksplaats  $R$  klein is en voor de verafgelegene groot.

Om al deze redenen zal er steeds enige variatie in de gebruiksspanning bestaan; het is dan ook onmogelijk om deze overal even groot en constant te houden.

## HOOFDSTUK II

### HOOFDZAKEN VAN DE WARMTELEER

#### § 12. Soortelijke warmte

In hoofdstuk I is reeds de *gramcalorie* als eenheid van warmte genoemd; de gramcalorie is de hoeveelheid warmte, die nodig is om 1 gram water  $1^\circ \text{C}$  in temperatuur te doen stijgen. In de praktijk gebruikt men bij voorkeur de kilocalorie (afgekort kcal). Een kilocalorie is de hoeveelheid warmte nodig om 1 kg water  $1^\circ \text{C}$  in temperatuur te doen stijgen. Neemt men in plaats van water een andere stof, dan blijkt de nodige hoeveelheid warmte een andere te zijn. Deze hoeveelheid warmte is voor alle stoffen verschillend; men heeft daarom het begrip *soortelijke warmte* ingevoerd.

Onder de soortelijke warmte van een stof verstaat men de hoeveelheid warmte, in kilocalorieën, nodig om 1 kg van die stof  $1^\circ \text{C}$  in temperatuur te doen stijgen. De soortelijke warmte van water is dus 1. Overigens blijkt de soortelijke warmte voor bijna alle stoffen kleiner dan 1 te zijn, d.w.z. er is voor bijna alle stoffen minder warmte nodig om een bepaalde temperatuur te bereiken, dan voor een gelijke gewichtshoeveelheid water.

Is dus de soortelijke warmte van een stof  $c$ , dan wil dit zeggen, dat 1 kg daarvan  $c$  kcal nodig heeft om  $1^\circ \text{C}$  in temperatuur te stijgen. Voor een verhitting van  $0^\circ \text{C}$  tot  $t^\circ \text{C}$  zijn  $c.t$  kcal nodig en als men  $G$  kg van die stof neemt  $G.c.t$  kcal. Wil men  $G$  kg van die stof verhitten van een temperatuur  $t_1^\circ \text{C}$  tot  $t_2^\circ \text{C}$ , dan is dus nodig een aantal kcal, gegeven door de volgende formule:

$$Q = c.G. (t_2 - t_1) \quad (16)$$

of in woorden: de hoeveelheid warmte in kcal = de soortelijke warmte  $\times$  gewicht (in kg)  $\times$  temperatuursverschil (in  $^\circ \text{C}$ ).

De volgende tabel geeft de soortelijke warmte voor een aantal stoffen:

water . . . . .	1
hout . . . . .	0,5—0,7
ijs . . . . .	0,49
aluminium . . . . .	0,21
glas . . . . .	0,185
ijzer . . . . .	0,11—0,12
koper . . . . .	0,094
messing . . . . .	0,092
lood . . . . .	0,0305

Zoals hieruit blijkt, is de soortelijke warmte van water verreweg het grootst, met andere woorden, water neemt per graad temperatuursstijging de meeste warmte op.



Moet een lichaam op een zekere temperatuur worden gebracht, dan is de hoeveelheid warmte, die daarvoor nodig is, afhankelijk van het gewicht, de soortelijke warmte en de begintemperatuur van dat lichaam. Twee lichamen, die even zwaar zijn en waarvan begin- en eindtemperaturen dezelfde zijn, hebben alleen dan gelijke warmtehoeveelheden voor de verwarming nodig, wanneer de soortelijke warmten dezelfde zijn.

Stelt men in form. (16),  $t_2 - t_1 = 1$ , dan is

$$Q = c.G,$$

de hoeveelheid warmte nodig om een zekere gewichtshoeveelheid G van een stof met een soortelijke warmte c, één graad Celsius in temperatuur te doen stijgen. Men noemt deze hoeveelheid warmte de *warmtecapaciteit*.

§ 13. Warmtegeleiding

De warmte kan op drie manieren van het ene lichaam op het andere worden overgebracht, nl. door *geleiding*, *convectie* en *straling*. Het eerste moge hier de *warmtegeleiding* of *warmteconductie* worden besproken.

De door formule (16) gegeven hoeveelheid warmte kan niet dadelijk aan een lichaam worden toegevoerd; daarvoor is een bepaalde tijd nodig, afhankelijk van de aard van het oppervlak, dat wordt verwarmd en van de samenstelling van de stof zelf. Een verdere factor is het temperatuursverschil tussen de stof, die wordt verwarmd en de warmtebron, die de verwarming teweegbrengt. Juist dit temperatuursverschil maakt het mogelijk, dat een *warmtestroming* ontstaat. Aangezien de warmte zich slechts begeeft van plaatsen van hoge naar die van lage temperatuur, moet dus het verwarmende lichaam steeds de hoogste temperatuur bezitten.

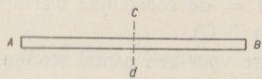


Fig. 8

Wordt een overal even dikke ijzeren staaf (fig. 8) aan de ene zijde (A) verhit door een warmtebron met een temperatuur van  $t_1^\circ \text{C}$ , terwijl aan de andere zijde (B) een lagere temperatuur van  $t_2^\circ \text{C}$  wordt onderhouden

(bv. door dat gedeelte in smeltend ijs te houden), dan zal een warmtestroming van A naar B ontstaan. Na enige tijd blijkt, dat elk gedeelte van de staaf AB een constante temperatuur heeft aangenomen. Zodra deze toestand is bereikt, vloeit er een constante (gelijkblijvende) stroom warmte van A naar B, veroorzaakt door het temperatuursverschil  $t_1 - t_2$ . Neemt men aan, dat geen warmte aan de omgeving wordt afgestaan, dan moet dus per uur bij A evenveel warmte worden aangevoerd als bij B wordt afgevoerd. Door een dikkere staaf zal onder overigens dezelfde omstandigheden wegens de grotere doorsnede meer warmte van A naar B vloeien. De hoeveelheid per uur door de staaf stromende warmte blijkt recht evenredig te zijn met de grootte F (het oppervlak) van de doorsnede. Ook zal

de hoeveelheid warmte groter worden naarmate het verschil in temperatuur tussen A en B ( $t_1 - t_2$ ) groter wordt en wel blijkt de hoeveelheid warmte ook recht evenredig met het temperatuursverschil ( $t_1 - t_2$ ) te zijn. Naarmate de lengte  $l$  van de staaf groter is zal de warmte een langere weg moeten afleggen en dus moeilijker van A naar B gaan. De hoeveelheid warmte

blijkt omgekeerd evenredig met de lengte  $l$  of recht evenredig met  $\frac{1}{l}$ . Ten

slotte is de hoeveelheid warmte recht evenredig met de tijd  $u$  gedurende welke A en B op de temperaturen  $t_1$  en  $t_2$  worden gehouden. De hoeveelheid warmte Q, die van A naar B stroomt, is dus evenredig met:

$$F. (t_1 - t_2). \frac{1}{l}. u$$

of wel Q is voor een bepaald materiaal gelijk aan een bepaald aantal malen

$$F. (t_1 - t_2). \frac{1}{l}. u.$$

Men kan dit verband in de volgende formule uitdrukken:

$$Q = \lambda.F. (t_1 - t_2). \frac{1}{l}. u. \quad (17)$$

Hierin wordt Q uitgedrukt in kcal, F in  $\text{m}^2$ ,  $t_1$  en  $t_2$  in  $^\circ\text{C}$ ,  $l$  in m en  $u$  in h (uren).

Het aantal malen,  $\lambda$  (de Griekse letter lambda), is voor elke stof anders en is in de formule de evenredigheidsfactor.  $\lambda$  is een constante, afhankelijk van de aard van de stof. Voor  $F = 1 \text{ m}^2$ ,  $(t_1 - t_2) = 1^\circ \text{C}$ ,  $l = 1 \text{ m}$  en  $u = 1 \text{ h}$ , wordt

$$Q = \lambda,$$

d.w.z.  $\lambda$  is de hoeveelheid warmte in kcal gemeten, die per uur vloeit door een doorsnede van  $1 \text{ m}^2$  bij een temperatuursverschil van  $1^\circ \text{C}$  per m lengte.

$\lambda$  wordt de *warmtegeleidingscoëfficiënt* genoemd.

De onderstaande cijfers geven de waarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt voor enige stoffen, die voor de warmtetechniek van belang zijn:

zilver . . . . .	360
koper . . . . .	325
aluminium . . . . .	175
messing . . . . .	94
ijzer . . . . .	50
lood . . . . .	30
porselein . . . . .	0,7—1,6
glas . . . . .	0,65



water . . . . .	0,5
micaniet . . . . .	0,26
hout (gemiddeld) . . . . .	0,23
olie . . . . .	0,14
asbestpapier . . . . .	0,13
magnesia in poedervorm . . . . .	0,04
kurk (gemalen) . . . . .	0,036
lucht . . . . .	0,021

Het blijkt dus, dat metalen goede warmtegeleiders zijn; glas, porselein, asbest, kurk, enz. daarentegen zeer slechte. Ook water geleidt de warmte vrij slecht. De slechtste warmtegeleider van de opgegeven stoffen is lucht.

Analoog met hetgeen in de elektrotechniek gebruikelijk is, noemt men materialen die de warmte slecht geleiden, ook wel *warmteïsoleerende materialen*.

De formule (17) vertoont een grote analogie met de reeds gevonden formule  $i = \frac{E}{R}$  van de elektriciteitsleer.

Dit blijkt nog duidelijker indien formule (17) als volgt wordt geschreven:

$$\frac{Q}{u} = \frac{t_1 - t_2}{\lambda \cdot F}$$

Hierin is  $\frac{Q}{u}$  de *warmtestroom* per uur (hoeveelheid warmte per uur).

Het temperatuurverschil  $t_1 - t_2$  komt dan overeen met  $E$ , terwijl het quotiënt  $\frac{1}{\lambda \cdot F}$  overeen komt met de elektrische weerstand  $R$  (zie formule (2)  $R = \frac{1}{\gamma \cdot q}$ ) en daarom dan ook *warmteweerstand* wordt genoemd.

In het algemeen kan men zeggen, dat goede geleiders voor elektriciteit ook goede warmtegeleiders zijn, terwijl elektrische isolatoren ook de warmte slecht geleiden.

#### § 14. Warmteconvectie

In vaste stoffen heeft de warmteoverdracht alleen door geleiding plaats, d.w.z. door directe overgang van het ene deeltje van die stof op het andere. Ook bij vloeistoffen en gassen treedt nog warmteoverdracht door geleiding op. Daar echter het geleidingsvermogen van vloeistoffen en gassen gering is, wordt op deze wijze slechts weinig warmte overgebracht. Hierin komt echter de *warmteconvectie* te hulp, d.w.z. alle deeltjes van de vloeistof of het gas beginnen zich te verplaatsen, tengevolge waarvan een veel snellere

overdracht van de warmte plaats vindt. Voor het *snel* verwarmen van een vloeistof is het dus noodzakelijk, dat deze warmteconvectie ontstaat, en dit kan het beste worden bereikt, door de vloeistof aan de onderzijde te verwarmen.

De verklaring voor de optredende vloeistof- of gasbeweging is de volgende. De met het verwarmde oppervlak in aanraking zijnde vloeistof- of gasdeeltjes worden warm en zetten daardoor uit, zodat ze soortelijk lichter worden. Tengevolge hiervan stijgen ze op en maken plaats voor de koudere delen van het gas of de vloeistof, die op hun beurt zich verwarmen aan het warme oppervlak en ook gaan opstijgen enz.

De beweging van vloeistofdeeltjes kan gemakkelijk zichtbaar worden gemaakt door in een glas, dat aan de onderzijde wordt verwarmd, wat zaagsel te doen. Wordt de vloeistof aan de bovenzijde verwarmd, bv. door een bakje met brandende spiritus, dan ontstaat de warmteconvectie niet, zodat de warmteoverdracht alleen maar door geleiding kan plaats vinden. De temperatuur van de vloeistof zal dan onderin slechts langzaam toenemen.

De convectie speelt niet alleen een rol in één en dezelfde middenstof, doch ook bij de warmteoverdracht van de ene middenstof op de andere. Bij een verwarmd vertrek bv. staat de lucht een zekere hoeveelheid warmte af aan de koudere wanden. De hoeveelheid warmte in kcal, die per uur en per graad Celsius temperatuurverschil en per m<sup>2</sup> wandoppervlak overgaat, noemt men het *warmteovergangscoefficient* (aangeduid door de Griekse letter  $\alpha = \text{alpha}$ ).

Dit getal is behalve van de aard van het wandoppervlak ook afhankelijk van de snelheid, waarmede de lucht langs de wand strijkt en deze snelheid wordt in normale gevallen bepaald door de natuurlijke convectie.

De warmteovergang van een warme wand naar koude lucht wordt door dezelfde factoren bepaald als die van warme lucht op een koude wand, waarvan hierboven sprake was.

#### § 15. Warmtestraling

Ging bij de conductie en de convectie de warmte van het ene deeltje door directe aanraking over op het andere, van geheel andere aard is de *warmtestraling*. Hierbij is nl. warmteoverdracht mogelijk over min of meer grote afstand, zonder dat er van directe aanraking sprake is.

Straling als zodanig is geen warmte, doch een andere vorm van energie (arbeidsvermogen). Aangezien zowel straling als warmte vormen van energie zijn, kunnen zij in dezelfde eenheden worden uitgedrukt. Op warmtetechnisch gebied neemt men hiervoor uit de aard der zaak de kilocalorie. Straling kan men dan naar zijn aard in kilocalorieën per tijdseenheid, bv. per uur, uitdrukken. Alle soorten straling, bv. zichtbare lichtstraling of warmtestraling, zijn in wezen gelijk. Het zijn alle zich voortplantende

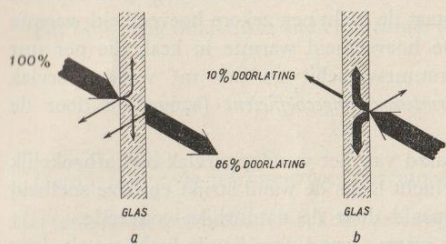


elektromagnetische golfbewegingen; zij verschillen slechts in de golflengte. Het is niet een eigenschap van de straling, doch een eigenaardigheid van ons oog, dat het bepaalde golflengten wel kan waarnemen en de straling van iets grotere of kleinere golflengte niet meer ziet.

Het gedrag van vaste stoffen ten opzichte van alle soorten straling is in beginsel steeds gelijk. De straling kan worden doorgelaten, teruggekaatst of geabsorbeerd. Wanneer straling wordt geabsorbeerd (opgenomen), wordt zij meestal omgezet in warmte, waardoor de temperatuur van de absorberende stof stijgt. Wanneer een voorwerp straling uitzendt, wordt de hiervoor nodige energie in de vorm van warmte-energie (die in straling wordt omgezet) onttrokken aan het voorwerp.

Hoewel het gedrag van vaste stoffen tegenover alle straling gelijksoortig is, kan een bepaalde stof wel de ene straling sterker absorberen dan de andere. Ook absorbeert de ene stof eenzelfde straling sterker dan een andere stof dit doet. Om dit duidelijker te maken kunnen de volgende voorbeelden dienen.

In fig. 9a is een glasruit onder invloed van lichtstralen uitgebeeld, waarbij



a. Lichtstralen.

b. Wärmestralen.

Fig. 9. Het gedrag van glas t.o.v. licht- en wärmestralen.

men ziet, dat van het opvallende licht het grootste deel wordt doorgelaten. Slechts een klein deel wordt gereflecteerd (teruggekaatst) en een ander klein deel wordt geabsorbeerd en verspreidt zich door geleiding in het glas in de vorm van warmte. Fig. 9b laat dezelfde glasruit zien, wanneer er een bundel wärmestralen op valt. Nu wordt slechts een klein deel doorgelaten en weer een klein deel gereflecteerd, maar het grootste deel wordt geabsorbeerd en als warmte in het glas door geleiding verspreid. Deze warmte geeft het glas, in de vorm van eigen wärmestraling en door convection aan de lucht, naar beide zijden af en wel in het algemeen meer naar buiten dan naar binnen, door de lagere temperatuur, wind e.d.

Men ziet hieruit, dat glas de onzichtbare wärmestraling veel sterker absorbeert dan het zichtbare licht.

Wil men een lichaam zoveel mogelijk warmte door straling laten opnemen, dan maakt men het oppervlak daarvan dof. Dezelfde omstandigheden die gunstig zijn voor het opnemen van wärmestralen, zijn dit voor het uitzenden daarvan. Doffe oppervlakken zenden de meeste, glimmende daarentegen de minste wärmestralen uit. Wil men dus wärmeverlies door straling tegengaan, dan kiest men een goed gepolijst oppervlak. Een

zeer bekend voorbeeld hiervan is de *thermosfles*. Hier is de vloeistof, die men warm wil houden, besloten in een glazen cylinder met twee wanden, waarvan de naar elkaar toegekeerde zijden verzilverd zijn. Wärmeverlies door straling wordt hierdoor tegengegaan. Bovendien heeft men de ruimte tussen beide wanden luchtledig gemaakt, ten einde wärmeverlies door convection en geleiding te beletten. Hoewel lucht een slechte wärmtegeleider is, zou vooral door convection toch nog een aanmerkelijke wärmteoverdracht plaats kunnen vinden.

In vele gevallen geeft het maken van een luchtledige ruimte (vacuum) in de praktijk bezwaar. Daarom vervangt men dan de luchtledige ruimte door een vaste stof. Deze laat de wärmestralen niet door. Tegelijk zorgt men ervoor, dat deze stof zeer poreus is, dus veel lucht in de poriën bevat. De lucht doet hier dan dienst als uitstekende wärmteisolator dank zij haar gering wärmtegeleidingsvermogen en dank zij de omstandigheid, dat zij in kleine ruimten wordt vastgehouden, waardoor overdracht van warmte sterk wordt belemmerd, omdat de warmte steeds moet overgaan van lucht op vaste stof en omgekeerd.

Uit het gedrag der wärmestralen is nu ook te verklaren, waarom een dofwarte kolenkachel meer warmte bij eenzelfde temperatuur en in eenzelfde tijdsverloop moet geven dan een glimmend gepolijste.

Bij een elektrische kachel brengt men een reflector aan om de straling, die naar achteren wordt uitgezonden, ook naar voren te doen gaan. Deze reflector moet een oppervlak hebben dat zoveel mogelijk de wärmestralen terugkaatst (reflecteert) en ze zo min mogelijk absorbeert. Men neemt hiervoor daarom een glimmend gepolijst metaaloppervlak. Door deze reflector een bijzondere vorm te geven, kan men bovendien bereiken, dat de warmte daarheen wordt gestraald, waar men er de meeste behoefte aan heeft. De kolenkachel daarentegen straalt haar warmte naar alle richtingen uit, terwijl bij deze ook wärmteoverdracht door convection een grote rol speelt.

Ten slotte zij nog opgemerkt, dat de meeste vaste lichamen en vloeistoffen de wärmestralen niet doorlaten; gassen, en dus ook lucht, echter wel.

Evenals bij de lichtstralen het geval is, is de hoeveelheid wärmestralen, die op een zeker oppervlak vallen, omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de wärmtebron.

Verder neemt de hoeveelheid warmte die wordt uitgestraald, snel toe met de temperatuur. Indien men de straling van een lichaam, dat een temperatuur heeft van  $100^{\circ}\text{C}$ , naar een lichaam met een temperatuur van  $0^{\circ}\text{C}$  gelijk stelt aan 1, dan is die van

$$200^{\circ}\text{C naar } 0^{\circ}\text{C} = 3,2$$

$$400^{\circ}\text{C naar } 0^{\circ}\text{C} = 14$$

$$800^{\circ}\text{C naar } 0^{\circ}\text{C} = 96 \quad \text{enz.}$$

Ten slotte zij nog opgemerkt, dat de hoeveelheid uitgestraalde warmte evenredig toeneemt met de grootte van het uitstralende oppervlak.



in de praktijk kan worden gerealiseerd, zal echter nog een lange periode van kostbare ontwikkeling moeten worden afgesloten.

#### **4.9 Brandstofcellen**

In brandstofcellen wordt chemische energie direct omgezet in elektrische energie. In principe kan dit met hoog rendement plaatsvinden (er is geen Carnotcyclus). Hetzelfde proces vindt in primaire batterijen plaats. Het verschil is echter dat in de primaire batterijen de elektrode materialen aan de reactie deelnemen, terwijl in de brandstofcel de reagerende stoffen voortdurend worden toegevoerd aan de elektroden die zelf niet worden verbruikt. Meer in het bijzonder denkt men bij brandstofcellen aan systemen waarin min of meer conventionele brandstoffen met lucht reageren. Het enige tot dusver in de praktijk toegepaste voorbeeld is de met waterstof gevoede brandstofcel met elektroden waarin platina het werkzame bestanddeel is. De waterstof kan worden bereid op een van de bekende manieren bijv. door reformeren van aardgas, kraken van nafta etc. Het directe gebruik van deze of soortgelijke brandstoffen is nog niet goed gelukt. In de loop der jaren is een groot aantal variaties onderzocht; deze variaties betreffen zowel de samenstelling en constructie van de elektroden, als de samenstelling van het elektrolyet (er zijn zure en alkalische elektrolyeten in onderzoek) en de samenstelling van de membranen. Bijkomende praktische problemen zijn de corrosie van constructiematerialen en het goedkoop bouwen van betrouwbare eenheden. Theoretische rendementen zijn ca. 60 à 70%, wanneer men van de bereikte spanningen uitgaat. Bij leveren van stroom daalt de spanning en loopt het rendement dus terug. Bovendien heeft men het rendement van eventuele voorgaande chemi-







omstandigheden. Voor het beperken van de investeringen zijn gunstige arbeidsfactoren vereist, hetgeen betekent dat alleen toepassingen met kleinere temperatuurverschillen in aanmerking komen. Daarenboven wordt de toepassing technisch beperkt, vanwege het werkgebied van de compressoren, de smeermiddelen en de koelmedia. De toepassingsgebieden die men, met het oog op de genoemde beperkingen, kan bedenken omvatten de verwarming in koeling van ruimten, en bepaalde industriële processen zoals droging en bevochtiging. Warmtepompen voor verwarmingsdoeleinden vereisen meestal aanvullende verwarming bijvoorbeeld in de vorm van olie of elektriciteit. De aanvullende verwarming wordt ingezet, wanneer het temperatuurverschil te groot en dus de warmteopbrengst te klein wordt. Binnen de industrie zijn warmtepompen al lang in gebruik. De toepassing bij industriële processen is dikwijls rendabel, dankzij geringe temperatuurverschillen, langdurig gebruik en eenvoudige regeling. De research met betrekking tot warmtepompen heeft zich in de laatste tijd hoofdzakelijk beziggehouden met warmtepompen voor verwarmingsdoeleinden. Men moet daarbij onderscheid maken tussen bedrijfsruimten en woningen, daar het verschil in toepassing erg groot is. Bedrijfsruimten – winkels, kantoren, vergaderzalen, enz – verschillen van woningen doordat bij de eerstgenoemde vrijwel geen behoefte bestaat aan warm water, zodat de installatie erg eenvoudig gehouden kan worden. In vele typen bedrijfsruimten is de vrijkomende warmte weer bruikbaar. Dat geldt vooral voor levensmiddelenwinkels, waar de warmte van condensoren van koel- en vrieskasten soms de gehele warmtebehoefte voor de winkelruimte dekt, indien nodig met naschakeling van warmtepompen.

Voor verwarmingsdoeleinden van woningen waren in april 1979 enkele tientallen warmtepompen in Nederland geïnstalleerd. Daarnaast was een enkele geplaatst voor verwarming van alleenstaande kleine huizen. De research richt zich vooral op de ontwikkeling van warmtepompen met een betere warmtefactor, van pompen die geschikt zijn voor hogere temperaturen en van systemen voor het gebruik en de distributie van warmte van lage temperatuur. Men verwacht dat kleine warmtepompen voor verwarming van afzonderlijke woningen slechts een marginale betekenis voor de energiebalans zullen krijgen tegen het midden van de tachtiger jaren. Grote warmtepompenaggregaten hebben daarentegen reeds nu de mogelijkheid economisch te concurreren met alternatieve vormen van verwarming.

#### 4.11 Referenties

1 Interim rapport van de Beleidsadviesgroep Stadsverwarming; VEEN/VEGIN



#### Bronnen:

- 1) De toepassing van electriciteit in de woning: Hoofdstuk II, Hoofdzaken van de warmteleer door IR. TH. Baart de la Faille (Oud-Hoofdingenieur bij het Gemeente Energiebedrijf te Amsterdam), zesde druk: bewerkt door het Centraal Bureau der V.D.E.N. te Arnhem, april 1960  
V.D.E.N. = Vereniging van Directeuren van Electriciteitsbedrijven in Nederland.
- 2) klein geel boekje met als titel Argumenten tegen kernenergie, 1973
- 3) De toekomstige Energiesituatie in Nederland door V.D.E.N, 1980, waarbij verwezen wordt naar...
  - a) [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:dBVctZf8B64J:https://puc.overheid.nl/PUC/Handlers/DownloadDocument.ashx%3Fidentificatie%3DPUC\\_61737\\_31%26versienummer%3D1&cd=2&hl=nl&ct=clnk&gl=nl](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:dBVctZf8B64J:https://puc.overheid.nl/PUC/Handlers/DownloadDocument.ashx%3Fidentificatie%3DPUC_61737_31%26versienummer%3D1&cd=2&hl=nl&ct=clnk&gl=nl)

“De mens is in het algemeen niet geneigd, zuinig te zijn met bepaalde verworvenheden als er geen sociale controle is die dit afdwingt en als zuinigheid niet resulteert in vermindering van de kosten, die men als individu moet betalen. Bij een individuele met gas of olie gestookte verwarmingsinstallatie wordt in het algemeen per woning een redelijke zuinigheid betracht. De sociale controle is binnen een woning een reëel feit; verspilling van energie wordt "gestraft" met een hoge gas- of olierekening. Bij sterk stijgende gasprijzen zal dit effect in de toekomst wellicht nog duidelijker worden.

#### 3.2. Nadelen

Aan het toepassen van stadsverwarming zijn uiteraard ook nadelen verbonden. Het belangrijkste nadeel van stadsverwarming is wel, dat het leidingnet aanzienlijke investeringen vergt. Tegenover de hoge kapitaalslasten van een stadsverwarmingssysteem staat echter dat de brandstofkosten relatief laag zijn, zodat opzet en exploitatie van een stadsverwarmingsbedrijf toch een bedrijfseconomisch zinvolle zaak kan zijn.

Een financieel probleem van wezenlijk belang bij nieuw aan te leggen stadsverwarmings-systemen is echter wel het tijdsverschil tussen het moment waarop grote investeringen in een leidingnet moeten worden gedaan en het moment, waarop de daarmee beoogde ontvangsten gerealiseerd

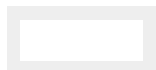


worden.

Een tweede punt, dat als een nadeel van stadsverwarming kan worden beschouwd, is de gecompliceerdheid van de ondergronds te treffen voorzieningen. Het wordt met stadsverwarming nog moeilijker, dan het normaal al is, om alle nutsvoorzieningen en andere buizenstelsels een plaats te geven in de straatprofielen. Men dient daarom van het begin af aan op de inpassing van stadsverwarmingsbuizen te rekenen. Bij toepassing van stadsverwarming heeft distributie van gas in de woongebieden alleen nog maar zin voor het koken (huishoudelijk verbruikswater kan gemakkelijk via de stadsverwarming worden verwarmd). Het ligt daarom voor de hand, om in nieuwe stedelijke gebieden bij toepassing van stadsverwarming af te zien van een gasdistributie-net in de woonwijken. Voor koken en bakken is men dan aangewezen op elektriciteit. Dit kan men zien als een beperking van de vrijheden, die aan de bewoner geboden kan worden. De Nederlander, die traditioneel gewend is, om op gas te koken, zal moeten overschakelen op elektrisch koken als hij komt te wonen in zo'n stad met stadsverwarming.

Elektrisch koken heeft uiteraard ook kostenconsequenties. Deze consequenties moeten bij het afwegen van de mogelijkheden pro en contra stadsverwarming uiteraard worden meegenomen. Op dit aspect wordt in detail ingegaan in hoofdstuk 7.

Ten slotte is een punt van belang, dat elektrisch koken energetisch onvoordeliger is dan koken op gas. Ook dit feit dient men in te passen in het totaal van een energie-beschouwing of energie-balans van stadsverwarming tegenover individuele verwarming. Op dit aspect wordt nader ingegaan in hoofdstuk 5.





- 4) De toepassing der Elektriciteit: Grondslagen der Elektronica door Philip Kogan, M. Sc en Joan Pick, S. SC., 1966, Deel Elektriciteitsvoorziening, Hoofdstuk 3: Overbrenging van elektriciteit