

## Systeemkeuze op basis van warmtebehoefte

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: ing. T.A.J. Schalkoort, dr.ir. Peter van den Engel

### 1 Algemeen

Bij woonruimten en andere verblijfsruimten met een geringe interne warmtebelasting wordt de keuze van de klimaatregeling vooral bepaald door de maximale warmtebehoefte. Tabel 1 geeft een overzicht van het specifieke verwarmingsvermogen van verschillende systemen, afhankelijk van de hoogte van de ruimte en - bij luchtverwarming - van het ventilatievoud en de plaats van de luchttoevoer.

tabel 1 Maximaal te bereiken specifiek verwarmingsvermogen in  $W/m^2$  vloeroppervlakte van verschillende systemen bij verschillende ruimtehoogten

systeem	ventilatievoud		netto ruimtehoogte in meter					
	$h^{-1}$	2,4	2,7	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
radiatoren/convectoren	<sup>1)</sup>	200	200	200	<sup>2)</sup>			
luchtverwarming $\Delta\theta = 20\text{ }^\circ\text{C}$ <sup>3)</sup>	4	65	70	80	95	110	135	160
	6	95	110	120	140	160	200	240
	10	160	180	200	230	270	335	400
,, $\Delta\theta = 40\text{ }^\circ\text{C}$ <sup>4)</sup>	4	130	144	160	185	215	265	320
	6	192	220	240	280	320	400	480
	10	320	360	400	465	535	665	800
vloerverwarming (staan/zitten)	<sup>1)</sup>	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90
plafondverwarming (staan/zitten)	<sup>1)</sup>	45/60	50/70	55/80	<sup>2)</sup>			

<sup>1)</sup> zie verder in deze module voor de beperkingen

<sup>2)</sup> minder of niet geschikt voor hoge ruimten

<sup>3)</sup> luchttoevoer vanuit plafond met tangentiële stroming

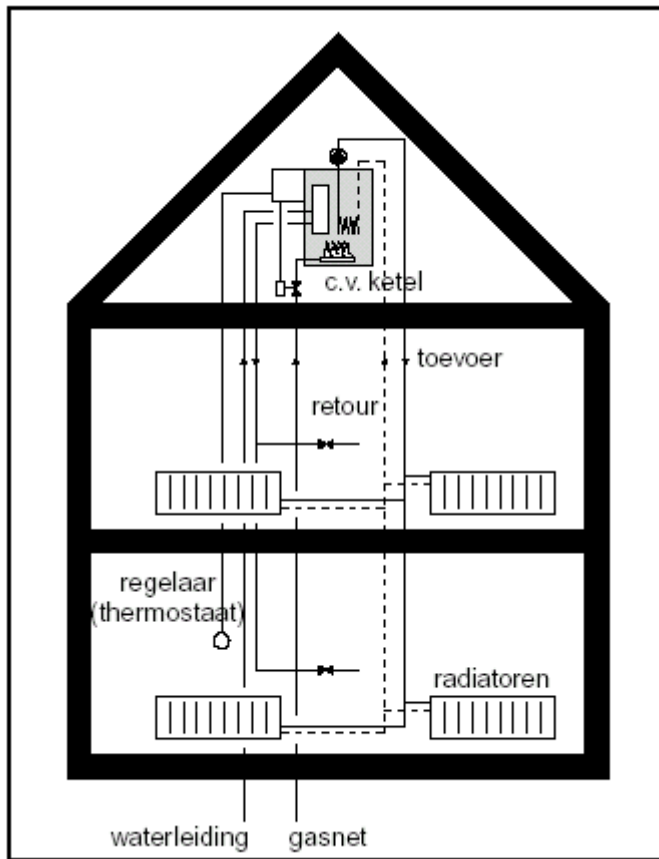
<sup>4)</sup> luchttoevoer vanuit vloer en toevoer vanuit plafond met diffuse stroming

In deze module worden in meer in detail mogelijkheden en beperkingen van de bovengenoemde systemen besproken.

### 2 Afgiftesystemen

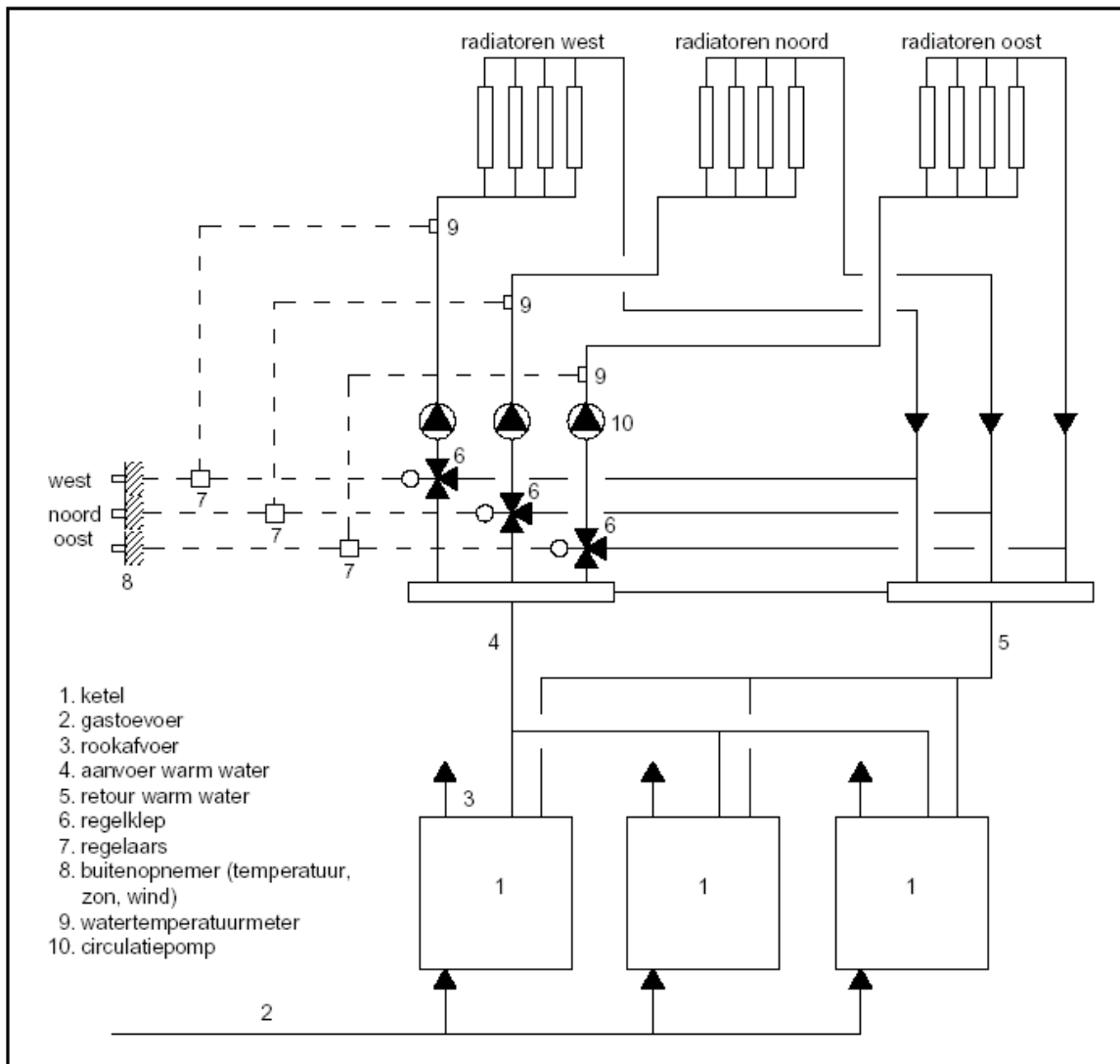
#### 2.1 Regeling

De centrale verwarming van woningen wordt meestal geregeld met een thermostaat in de woonkamer die de brander van de ketel beïnvloedt (zie figuur 1). De temperatuur van de overige vertrekken is met thermostatische radiatorcransen na te regelen. Indien er bij woningen sprake is van vloerverwarming als hoofdverwarming is worden er per verblijfruimte aparte groepen gemaakt die meestal apart regelbaar zijn. In toenemende mate wordt de comfortkwaliteit vastgelegd in GIW-bepalingen die bij woningen normaliter als uitgangspunt worden genomen.



figuur 1 schema centrale verwarming (combiketel) in woning met thermostaatregeling  
Tegenwoordig wordt de watertemperatuur meestal daarnaast weersafhankelijk voorgeregeld op basis van de buitentemperatuur. In dat geval moet er een aparte buitenvoeler worden geplaatst, bij voorkeur op een noordgevel.

Bij utiliteitsgebouwen past men vaak aparte verwarmingsgroepen toe voor vertrekken met gelijke oriëntatie of gelijke functie (zie figuur 2). De watertemperatuur wordt dan per groep voorgeregeld op basis van de buitentemperatuur met correcties voor de invloed van zon en wind. Ook bij deze groepen is de temperatuur per ruimte met thermostatische radiatorcranken na te regelen.



figuur 2 schema centrale verwarmingssysteem utiliteitsbouw met meerdere ketels en verwarmingsgroepen  
 De driewegregelkleppen (6) maken het o.a. mogelijk dat als er weinig warmtevraag is het water kan circuleren zonder dat de verwarmingsketel in bedrijf is. Dit voorkomt dat de ketel voortdurend aan en uit kan gaan.

## 2.2 Bepaling afgiftevermogen

Om een snelle indruk te krijgen welk vermogen een bepaald vlak ongeveer heeft bij een bepaalde oppervlaktetemperatuur kan gebruik worden gemaakt van de volgende vergelijking:

$$\Phi_{w;sp} = \alpha \cdot \Delta\theta \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

waarin:

$\Phi_{k;sp}$  = specifieke warmtestroom in  $\text{W/m}^2$

$\Delta\theta$  = temperatuurverschil tussen oppervlak en ruimtelucht in K

$\alpha$  = warmteoverdrachtscoëfficiënt (straling + convectie) in  $\text{W/m}^2\text{K}$

Voor een verwarmd plafond is de alpha-waarde vrij laag, ca. 6 W/m<sup>2</sup>K. Dit komt omdat warmte van nature naar bovenstroomt. De convectiestroom wordt geblokkeerd bij het plafond.

Voor een verwarmde vloer of wand is de alpha-waarde daarom hoger, ca. 10 W/m<sup>2</sup>K.

Uiteraard wordt e.e.a. beïnvloed door de ventilatie- of convectiestroom bij en de temperatuur van het vlak.

Bij een temperatuurverschil tussen plafond en ruimte van 5 K is de warmteafgifte  $\alpha \cdot \Delta\theta = 6 \cdot 5 = 30 \text{ W/m}^2$ .

Een verwarmingsbuis in de vloer of het plafond ligt normaliter op een afstand van h.o.h. 100 tot 300 mm. De totale lengte is maximaal ca. 100 m. Indien de buizen op een afstand van h.o.h. 200 mm van elkaar liggen wordt door 5 m buis per m<sup>2</sup> vloer 30 W afgegeven. Per m buis is dit 6 W. Met 100 m buis kan een vloerveld of groep van 20 m<sup>2</sup> van warmte worden voorzien (zie figuur 6). Hiervoor is een vermogen van 20 x 30 W = 600 W nodig.

Om na te gaan hoeveel water hiervoor nodig is bij welk temperatuurverschil kan de volgende vergelijking worden gebruikt:

$$\Phi_w = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (\text{W}) \quad (2)$$

waarin:

$\Phi_w$  = warmtestroom in W

$q_v$  = volumestroom in m<sup>3</sup>/s

$\rho$  = volumieke massa van water  $\approx 1.000 \text{ kg/m}^3$

$c$  = soortelijke warmte van water  $\approx 4.200 \text{ J/(kg.K)}$

$\Delta\theta$  = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in K

Een warmteafgifte van 600 W en een temperatuurverschil van 1 K tussen toe- en afgevoerd water leidt in bovenstaande vergelijking tot de volgende volumestroom: 0,000143 m<sup>3</sup>/s = 0,143 l/s = 514 l/h (= 26 l/hm<sup>2</sup>). Indien in een vloer verwarmingsbuizen zijn opgenomen met een inwendige diameter van de buis van 15 mm, is de stroomsnelheid:

$$U = q_v / A = \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

$U$  = stroomsnelheid in m/s

$q_v$  = volumestroom in m<sup>3</sup>/s

$A$  = inwendig oppervlak buis in m<sup>2</sup>

$$U = 0,000143 / ((\pi \cdot 0,015/2)^2) = 0,81 \text{ m/s}$$

Om pompenergie te beperken moet de stroomsnelheid zo laag mogelijk zijn en bij voorkeur onder de 1 m/s blijven. Hier is dit al geval en ook bij hogere warmteafgiftes is dit mogelijk omdat de  $\Delta\theta$  ook hoger mag zijn, zoals 5 - 10 K.

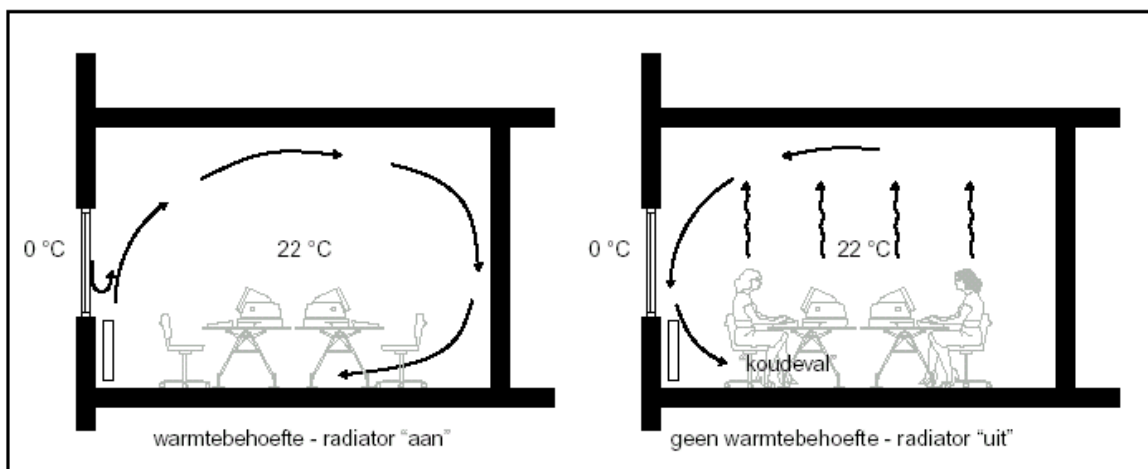
In bovenstaand rekenvoorbeeld is nog geen rekening gehouden met het trage opwarmeffect door verwarmingsbuizen in beton (bufferwerking), waardoor in dat geval meer vermogen nodig is, maar waardoor dit vlak ook langer warmte blijft afgeven. Dit kan ook gunstig zijn als bijvoorbeeld in de nacht wordt verwarmd of gekoeld. Als de buizen in een metalen plafond zijn opgenomen wordt wel sneller warmte (of koude) afgegeven.

### 2.3 Radiatorverwarming

Met radiatoren kan aan de comforteisen worden voldaan mits de radiatoren zich bevinden op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt, zoals bij ramen. Radiatoren kunnen daar - door hun hoge temperatuur - "koudestraling" compenseren, "koudeval" opvangen en - bij geopende ramen - tegengaan. "Koudestraling" is het gevoel dat ontstaat als onbedekte huid door straling warmte verliest aan een koud oppervlak. Het lijkt op tocht. "Koudeval" is de neerwaartse luchtstroom die bij koude vlakken ontstaat en tocht veroorzaakt over de vloer, vensterbanken en tegen de koude vlakken aangeschoven tafel- of bureaubladen.

Radiatoren zijn minder geschikt voor het verwarmen van hoge ruimten (>3,5 m) omdat ze beperkt invloed hebben op de luchtcirculatie, waardoor bovenin de ruimte een warme luchtdeken kan ontstaan. Dit verschijnsel doet zich minder voor in mechanisch geventileerde ruimten.

Indien er sprake is van veel interne warmteontwikkeling, bij voorbeeld door personen en apparatuur, blijven radiatoren koud. In dat geval wordt koudestraling niet gecompenseerd, koudeval niet opgevangen en wordt de luchtstroom bij open ramen niet verwarmd (figuur 3). Dit risico is te beperken door geen grote en/of hoge glasvlakken toe te passen of door die vlakken van extra isolerende glassoorten ("HR-glas") te voorzien dan wel ze als klimaatraam of klimaatgevel uit te voeren en door gerichte mechanische ventilatie.

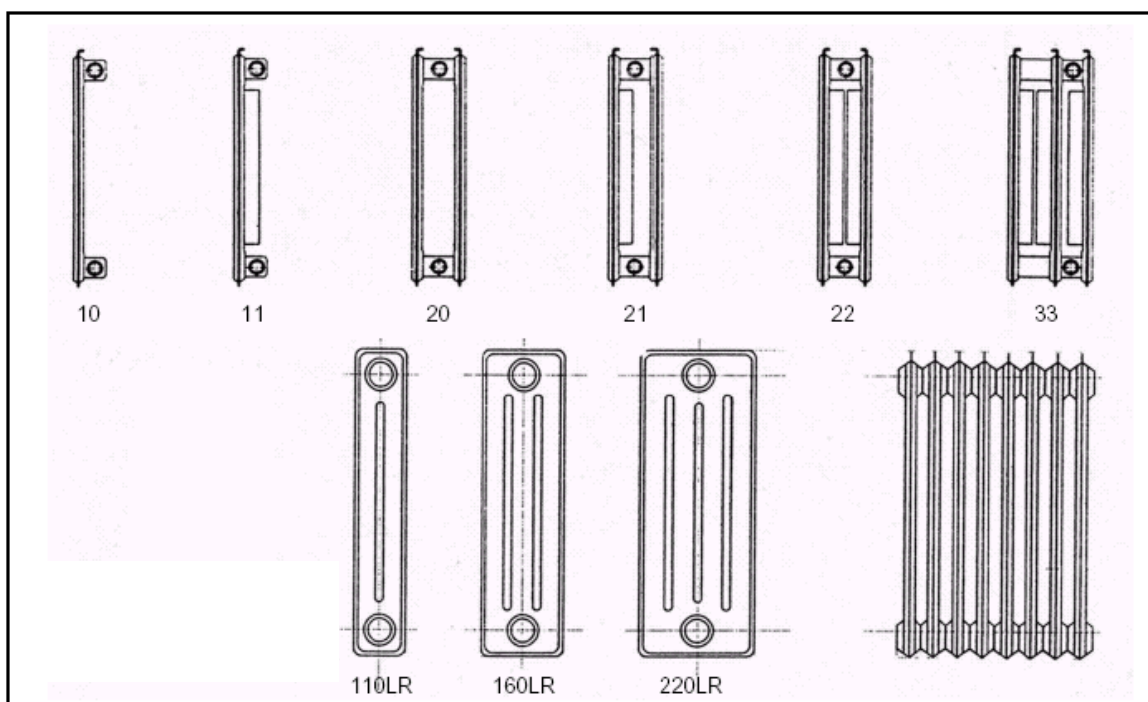


figuur 3 radiatorverwarming en koudeval

We kennen paneel-, leden- en designradiatoren. Verder zijn er paneelconvectoren, dat zijn paneelradiatoren waarvan de buitenoppervlakte is vergroot met geprofileerde platen of ribben aan de achterzijde of tussen de panelen. Radiatoren en paneelconvectoren zijn er in hoogten van 200, 300, 400, 500, 600, 800 en 1000 mm. Designradiatoren hebben een glad oppervlak (vaak met ribben aan de achterzijde) of zijn samengesteld uit ronde of rechthoekige buizen. Ze zijn te leveren in standaard hoogten maar ook in langgerekte/lage of smalle/hoge vormen.

Het verwarmingsvermogen van radiatoren is evenredig met de oppervlakte, zie tabel 2. Deze tabel geldt voor een aanvoer- en retourtemperatuur van respectievelijk 90 en 70 °C. Bij radiatoren met aansluitleidingen in de deklaag van de vloer is het beter om geen hogere temperatuur toe te passen dan 60°C. Het verwarmingsvermogen is dan ongeveer de helft van de in tabel 2 aangegeven waarden.

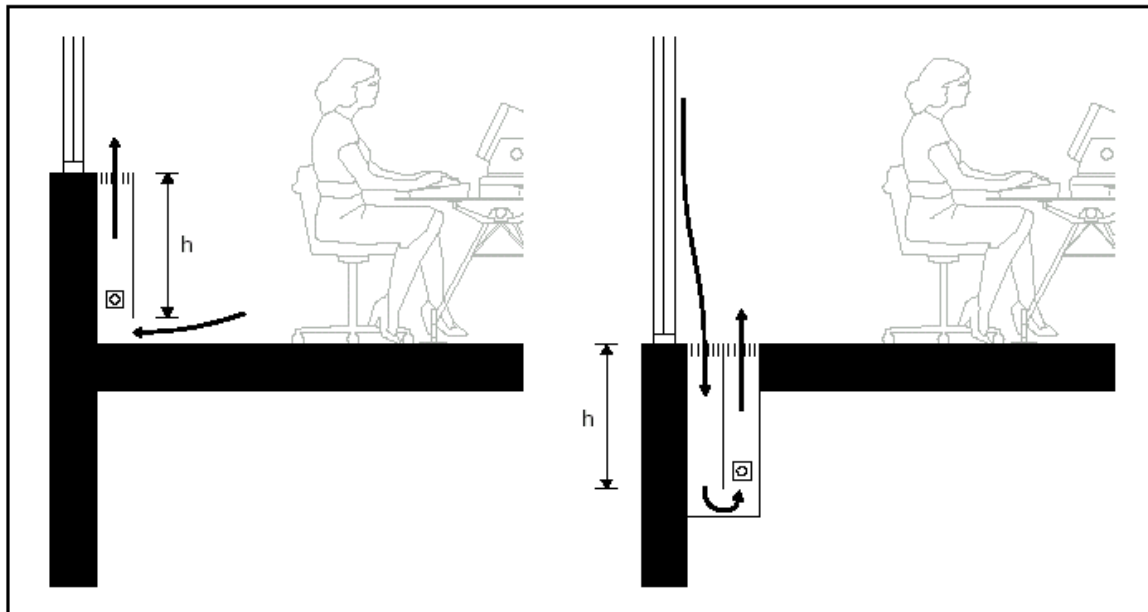
type		W/m <sup>2</sup>
10	éénplaats paneelradiator	1300
11	éénplaats paneelconvector	1900
20	tweeplaats paneelradiator	2200
21	tweeplaats paneelconvector	2700
22	tweeplaats paneelconvector	3300
33	drieplaats paneelconvector	4500
110LR	tweekoloms ledenradiator	2400
160LR	driekoloms ledenradiator	3300
220LR	vierkoloms ledenradiator	5000



figuur 4 verschillende typen radiatoren

## 2.4 Convectoren en ribbenbuizen

Convectoren zijn buizen waarvan de oppervlakte is vergroot met dunne metalen plaatjes ("lamellen"). Ribbenbuizen zijn steviger omdat voor de ribben dikkere metalen plaat wordt gebruikt. Net als radiatoren zijn ribbenbuizen vrij op te hangen. Convectoren zijn kwetsbaar en moeten in een omkasting of convectorput zijn aangebracht. Convectoren en ribbenbuizen geven hun warmte hoofdzakelijk convectief af. Door een aantal elementen boven of naast elkaar te plaatsen is een verwarmingsvermogen van enkele duizenden Watts per strekkende meter te realiseren. Het vermogen van convectoren wordt beïnvloed door de hoogte van de schacht, zie figuur 5.

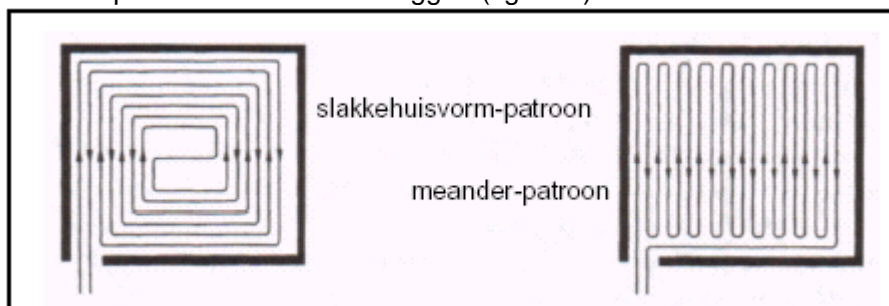


figuur 5 convectorschacht en convectorput

Convectoren en ribbenbuizen moeten, net als radiatoren, zijn aangebracht op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt. Door het ontbreken van compensatie voor "koudestraling" moet voor gelijk comfort de gevel een hogere isolatiewaarde hebben en de luchttemperatuur 0,5 tot 1,0 °C hoger zijn dan bij radiatorverwarming (vuistregel). Om met convectoren en ribbenbuizen op 0,6 m vanaf de gevel aan de gebruikelijke comforteisen voor verblijfruimten te kunnen voldoen mag de gevel niet meer dan 30% transparant zijn. Deze vuistregel geldt voor dubbel glas. Bij hogere percentages moet HR-glas zijn toegepast of het glasvlak als klimaatraam of klimaatgevel zijn uitgevoerd. Net als radiatoren zijn convectoren en ribbenbuizen minder geschikt voor het verwarmen van hoge ruimten (>3,5 m) omdat ze een relatief geringe luchtcirculatie veroorzaken waardoor bovenin de ruimte een warme luchtdeken ontstaat. Dit verschijnsel doet zich in mindere mate voor in mechanisch geventileerde ruimten.

## 2.5 Vloerverwarming en betonkernactivering

Vloerverwarming bestaat uit metalen of kunststof buizen die in een slakkenhuisvorm of meanderpatroon in de dekvloer liggen (figuur 6).



Figuur 6 Spiraalvormen bij vloerverwarming

De gemakkelijk te buigen buizen worden "op rol" geleverd. Met een buislengte van 100 m is - afhankelijk van de van de buisafstand - 10 tot 20 m<sup>2</sup> vloer te verwarmen. Om de weerstand en daarbij benodigde pompenergie te beperken worden langere buislengtes dan ca. 100 m meestal

niet toegepast. Om lekkage te voorkomen is het tevens beter om geen buisverbindingen in de dekvloer toe te passen.

Daarom zijn bij grotere oppervlakten meer vloervelden of groepen nodig die apart worden aangesloten op een verdeler die goed bereikbaar in een kast of wand (achter een wegneembaar paneel) is geplaatst. De slakkenhuisvorm geeft de meest gelijkmatige vloertemperatuur. Met het meanderpatroon kan plaatselijk, bij voorbeeld bij een buitengevel, voor meer verwarmingsvermogen worden gezorgd. Warmteschade aan de dekvloer of vloerafwerking is te voorkomen door geen hogere watertemperatuur toe te passen dan 50 °C. Daarom wordt vloerverwarming bij toepassing in combinatie met radiatorverwarming meestal apart geregeld met een eigen regelset en een eigen circulatiepomp.

Vloerverwarming is alleen geschikt als hoofdverwarming als de warmtebehoefte per m<sup>2</sup> laag is, zoals als bij energiezuinige woningen het geval is bij weinig transmissie-, ventilatie- en infiltratiewarmteverlies en beperkte raamhoogtes. Dat komt door het volgende:

- Het vermogen is beperkt omdat de vloertemperatuur niet te hoog mag worden. In ruimten waarin hoofdzakelijk wordt gezeten is dit maximaal 28 °C en in ruimten waarin hoofdzakelijk wordt gestaan maximaal 25 °C mag zijn. Het verwarmingsvermogen is dan respectievelijk 90 en 55 W/m<sup>2</sup>.
- De warmte wordt voor een groot deel niet toegevoerd op de plaats waar het grootste warmteverlies optreedt zodat o.a. de koudeval bij ramen niet wordt opgevangen.

Vloerverwarming is een traag systeem. Opwarmen duurt veel langer dan bij een radiator. Nachtverlaging heeft nauwelijks zin. Als de vloerverwarming 's avonds wordt uitgezet is het de volgende dag hooguit 1 tot 2°C kouder.

Indien warmteverlies naar de benedenverdieping moet worden tegengegaan - wat zeker bij gestapelde appartementen het geval is - moet onder de vloerverwarming minstens 20 mm isolatie worden aangebracht. Vloerverwarming wordt daarbij in de afwerkvloer opgenomen die voldoende dikte moet hebben om de buizen + warmteverdelende deklaag op te nemen. Als richtlijn voor de dikte van het totale pakket moet 100 mm worden aangehouden. Uiteraard hangt de opbouwdikte af van de systeemkeuze.

Vloerverwarming is ook zinvol voor verwarming van vloeren boven onverwarmde ruimten en wordt vaak in gecombineerd met radiatorverwarming of luchtverwarming. Een voordeel van de combinatie met aanvullende verwarming is het grotere verwarmingsvermogen, de snellere opwarmtijd en mogelijkheid tot compensatie van koudeval en koudestraling.

Een toepassingsvorm van vloerverwarming die steeds meer voorkomt is betonkernactivering. Hierbij worden de buizen met warm water normaliter in de kern van het beton aangebracht, bij voorkeur daar waar er sprake is van de minste dwarskracht (neutrale zone). Bij betonkernactivering wordt niet alleen de vloer, maar ook het plafond verwarmd. Indien onder de vloerverwarming geen isolatie wordt aangebracht en de vloerverwarming is opgenomen in een afwerkvloer die warmte goed geleid is het effect vrijwel gelijk aan dat van betonkernactivering, zie module I-431 voor meer details.

## 2.6 Muur- of wandverwarming

Voor muurverwarming kan hetzelfde materiaal worden gebruikt als voor vloerverwarming. Voorbeelden zijn te vinden in de woningbouw met wanden van gips of kalkzandsteen, waarin sleuven aanwezig zijn t.b.v. verwarmingsbuizen. Er bestaan ook "droge"opbouwsystemen waarbij



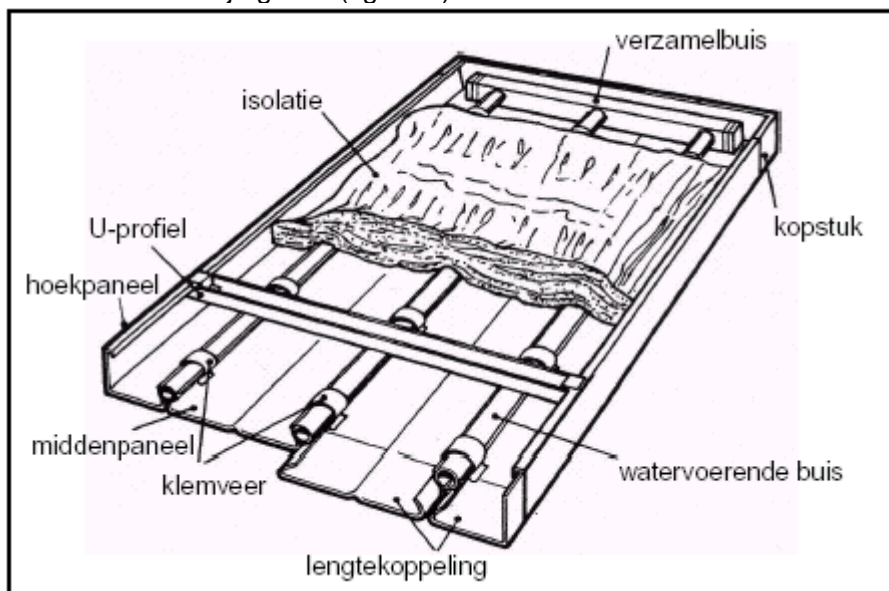
de buizen in voorgevormde aluminium platen zijn geplaatst waar overheen gipsplaat wordt aangebracht.

Een nadeel van wandverwarming is dat de warmte niet wordt toegevoerd op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt. Een ander bezwaar is dat door uitzetten en krimpen van de wand scheurvorming kan ontstaan, om die reden is het - afhankelijk van het systeem - beter om geen hogere watertemperatuur toe te passen dan 30 - 40 °C.

Het verwarmingsvermogen per m<sup>2</sup> wand is - door de hogere toelaatbare temperatuur vergeleken met vloerverwarming - hoger dan bij vloerverwarming en is bij genoemde oppervlaktetemperaturen 100 - 200 W/m<sup>2</sup> wand.

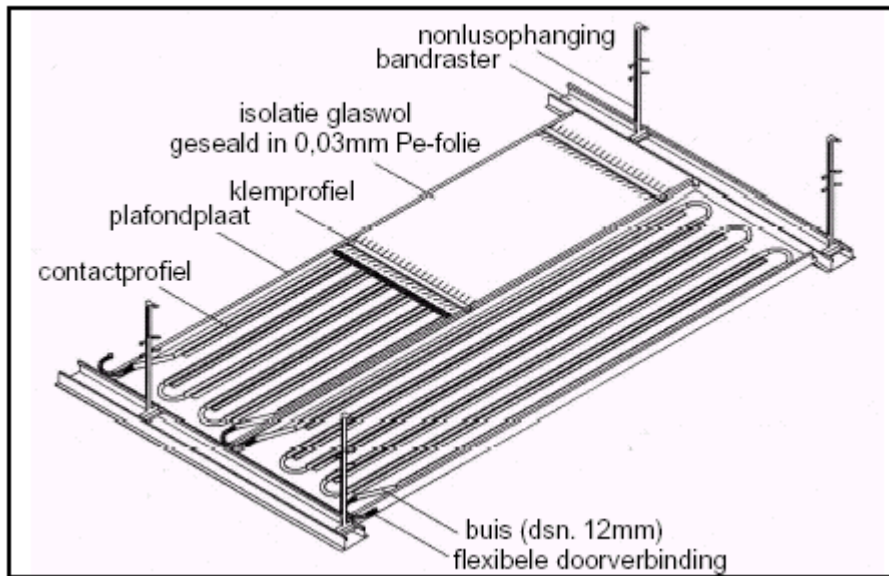
## 2.7 Plafondverwarming

Verwarmingsplafonds kunnen metalen stroken of cassettes zijn die aan buizenregisters worden geklemd. Registers bestaan uit evenwijdig lopende watervoerende buizen die aan de uiteinden aan verzamelbuizen zijn gelast (figuur 7).



figuur 7 verwarmingsplafond met buizenregister (systeem Frenger)

Het geheel wordt afgedekt met in folie gesealde isolatiedekens. Bij een tweede type liggen in spiraalvorm gebogen metalen buizen (figuur 8) of matten van kunststofbuisjes los op standaard metalen plafondplaten.



figuur 8 verwarmingsplafond met in spiraalvorm gebogen buizen

Bij een derde type zijn de spiralen of matten in de fabriek aan de platen gehecht of in een sandwichpaneel opgenomen. De platen of sandwichpanelen worden aan frames bevestigd. Registers, spiralen en matten sluit men met gepantserde slangen aan op verwarmingsleidingen die boven het plafond liggen. De inbouwhoogte van verwarmingsplafonds is, inclusief aansluitleidingen, 100 tot 150 mm.

Een vierde type verwarmingsplafond bestaat uit buigbare matten van kunststofbuisjes die met een stuclaag worden afgewerkt en daardoor als gebogen vlak zijn uit te voeren (figuur 9).



figuur 9 voorbeeld van een gebogen verwarmingsplafond

Omdat de ruimte boven het plafond ontoegankelijk is moeten verbindingen, afsluiters, aansluitleidingen e.d. in een koef, gang of andere plaats zijn aangebracht waar ze bereikbaar zijn voor controle en onderhoud.

Omdat plafondverwarming een beperkt vermogen heeft en de warmte voor een groot deel niet wordt toegevoerd op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt is het meestal niet geschikt als hoofdverwarming. Het beperkte vermogen hangt samen met de maximaal toelaatbare plafondtemperatuur die weer afhankelijk is van de afstand tussen het plafond en het hoofd van de mensen in de ruimte. Bevindt het plafond zich op een hoogte van 2,7 m in een ruimte waarin mensen hoofdzakelijk zitten dan is het verwarmingsvermogen maximaal  $70 \text{ W/m}^2$  en in ruimten waarin veel wordt gestaan maximaal  $50 \text{ W/m}^2$ . De hier beschreven verwarmingsplafonds zijn eveneens te gebruiken als koelplafond.

Voor plafondverwarming zijn ook stralingspanelen te gebruiken. Dit zijn stevige stalen platen die aan buizen zijn gelast (figuur 10) en op paneelradiatoren lijken.

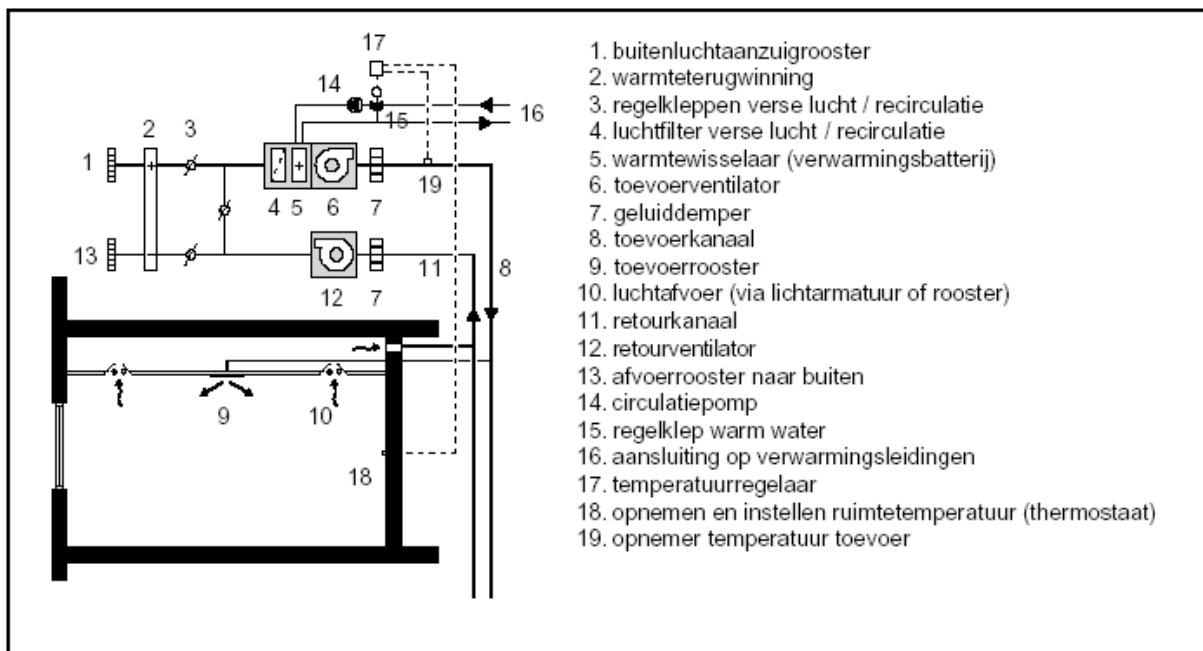


figuur 10 toepassing van stralingspanelen in een winkel en in het National Space Centre in Leicester

Ze worden vaak in het vlak van het plafond of net onder het plafond aangebracht. Stralingspanelen hebben een hogere temperatuur dan de hiervoor besproken verwarmingsplafonds en hebben een vermogen van maximaal  $700 \text{ W/m}^2$ . Door hun hoge temperatuur zijn ze alleen geschikt voor hoge ruimten ( $> 5\text{m}$ ). Omdat stralingspanelen veel steviger zijn dan verwarmingsplafonds beschadigen ze minder snel en worden ze om die reden vaak toegepast in sportzalen, montagehallen en dergelijke.

## 2.8 Luchtverwarming

Een voorbeeld van luchtverwarming in een kantoor wordt weergegeven in het schema van figuur 11. Vaak wordt per ruimte nog een naverwarming toegepast die gecombineerd met het toevoerkanaal is opgenomen.



figuur 11 schema luchtverwarming in kantoren

Bij luchtverwarming gelden dezelfde van op het comfort gerichte aanwijzingen als bij convectieverwarming. Zo is voor verblijfruimten aan te bevelen om bij een meer dan 30% transparante gevel HR-glas of klimaatramen of -gevels toe te passen en aandacht te besteden aan het voorkomen van koudeval bij koude wanden.

Voor luchtverwarming geldt als vuistregel dat bij toevoer vanuit de vloer de luchttemperatuur maximaal 60 °C mag zijn ( $\Delta\theta$  ca. 40 °C) mits de luchtstroom niet op personen is gericht. Bij toevoer vanuit het plafond mag de lucht niet warmer zijn dan 40 °C ( $\Delta\theta$  ca. 20 °C) om het ontstaan van een warme luchtdeken onder het plafond te voorkomen. Bij hogere ruimten (> 4 m) en toevoer vanuit het plafond is een hogere toevoertemperatuur dan 40 °C mogelijk als de lucht met een hoge snelheid, bij voorbeeld via wervelroosters, naar beneden gericht wordt ingeblazen.

### 3 Bijlagen

#### 3.1 Bepaling specifiek verwarmingsvermogen

De voor luchtverwarming aangegeven waarden zijn bepaald met hieronder weergegeven vergelijkingen. Andere waarden zijn ontleend aan handboeken.

"Specifiek vermogen" is hier gedefinieerd als het maximale verwarmings- of koelvermogen dat een klimaatregelsysteem kan leveren zonder dat tocht of onaangename temperatuurverschillen in de te klimatiseren ruimte ontstaat. Het specifieke vermogen wordt uitgedrukt in Watt per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte.

Het verwarmingsvermogen van lucht is:

$$\Phi_w = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (\text{W}) \quad (4)$$

waarin:

$q_v$  = volumestroom in m<sup>3</sup>/s

$\rho$  = volumieke massa van lucht  $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$

$c$  = soortelijke warmte van lucht  $\approx 1000 \text{ J/(kg.K)}$

$\Delta\theta$  = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in K

Het **specifieke** verwarmingsvermogen van het systeem bedraagt:

$$\Phi_{w,sp} = \Phi_k / A_{vl} \quad (\text{W/m}^2) \quad (5)$$

waarin:

$A_{vl}$  = vloeroppervlakte van de ruimte in m<sup>2</sup>

De volumestroom kan ook worden geschreven als:

$$q_v = n \cdot A_{vl} \cdot h / 3600 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (6)$$

waarin:

$n$  = ventilatievoud in h<sup>-1</sup>

$A_{vl}$  = vloeroppervlakte van de ruimte in m<sup>2</sup>

$h$  = hoogte van de ruimte in m

Na substitutie leidt dit tot de vergelijking:

$$\Phi_{w,sp} = \frac{n \cdot A_{vl} \cdot h \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot \Delta\theta}{A_{vl} \cdot 3600} = \frac{n \cdot h \cdot \Delta\theta}{3} \quad (\text{W/m}^2) \quad (7)$$

### 3.2 Comfort en temperatuur van vlakken

Het vermogen dat kan worden afgegeven door een verwarmingselement wordt beperkt door:

1. De toelaatbare oppervlakte temperatuur: Bij directe aanraking met de voeten is deze relatief laag max. ca. 28°C, zoals bij vloerverwarming. Bij hoge hallen worden soms stralingspanelen toegepast die een temperatuur van 160°C kunnen hebben. Door de grote afstand t.o.v. de gebruiker en het relatief kleine oppervlak levert dit geen discomfort op.
2. De grootte van het oppervlak: Hoe groter het oppervlak hoe meer invloed.
3. De afstand van het oppervlak tot de gebruiker: Het effect van de combinatie van 2 en 3 - het vaststellen van de gemiddelde stralingstemperatuur op een bepaalde plek - kan worden berekend met zicht- of blikfactoren.
4. De plaats en oriëntatie van het oppervlak: De temperatuur van een wand kan in relatie tot het comfort hoger zijn dan van een vloer of een plafond. Te warme voeten of een te warm hoofd is niet plezierig. In de NPR-CR 1752 en de NEN-EN-ISO 7730 staan enkele grenswaarden aangegeven. Belangrijk is daarbij dat de stralingsasymmetrie tussen vloer en plafond niet meer dan 5 tot 7 °C mag zijn. Om de stralingsasymmetrie te bepalen mag de gemiddelde temperatuur van alle vlakken onder en boven de gebruiker worden berekend (afgeleid van de zichtfactoren).