

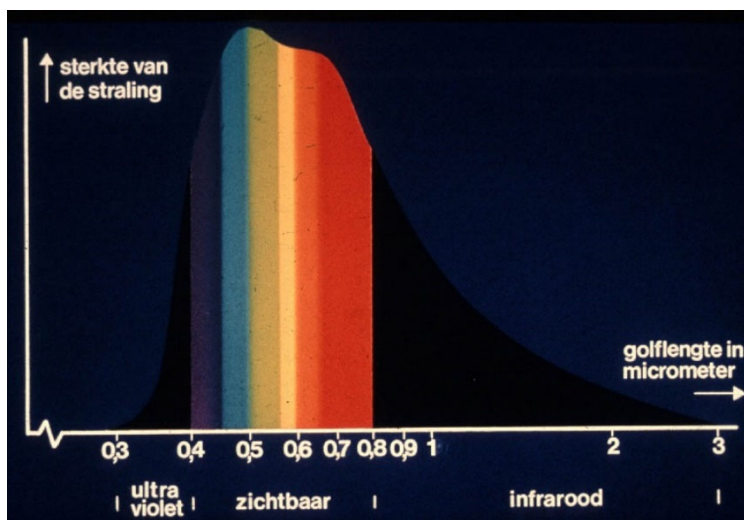
Hoe zit het nu echt met stralingsverwarming?

Inleiding

De laatste jaren is “stralingsverwarming” in opmars. Op zich is dat prima, want verwarmen door straling is effectiever en behaaglijker dan verwarmen met lucht. Wat alleen jammer is, is dat aan moderne, met name elektrische, stralingspanelen wel erg bijzondere eigenschappen worden toegeschreven. In de tekst hieronder proberen we een en ander wat te nuanceren.

Warmtestraling

Wat is warmtestraling eigenlijk. Daar proberen we vat op te krijgen door naar de onderstaande figuur te kijken die laat zien hoe de straling van de zon is verdeeld over ultra violet, zichtbaar licht en infrarode straling.



Licht ist eine elektromagnetische Strahlung. In der Figur steht die Stärke der Strahlung bei den verschiedenen Wellenlängen der Strahlung. Von 0,3 - 0,4 µm ($1\text{ }\mu\text{m} = 1/1.000.000\text{ m}$) finden wir das ultraviolett, worin man braun wird und was sehr schädlich sein kann. Von 0,4 - 0,8 µm sehen wir das sichtbare Licht mit allen Farben des Regenbogens, aber alle zusammen bilden die Farben weißes Licht. Tenslotte finden wir von 0,8 - 3 µm das Infrarot.

Alle Strahlung der Sonne empfinden wir als Wärme und nicht nur das Infrarot. Das Dach einer schwarzen Auto wird warm, weil das sichtbare Licht absorbiert wird. Ein weißes Autodach wird viel weniger warm, weil das sichtbare Licht reflektiert wird. Das Infrarot nicht, das zieht sich nichts an von unseren sichtbaren Farben.

Als man Infrarot reflektieren will, braucht man glänzende Metalloberflächen.

Die Strahlung, wie hier oben angegeben, gehört zur Temperatur der Sonne, ca. 5.500 °C.

Aber auch Oberflächen mit niedrigeren Temperaturen geben Strahlung ab. Die Spitze der Strahlung verschiebt sich in der Grafik nach rechts und die Stärke der Strahlung wird auch immer geringer.

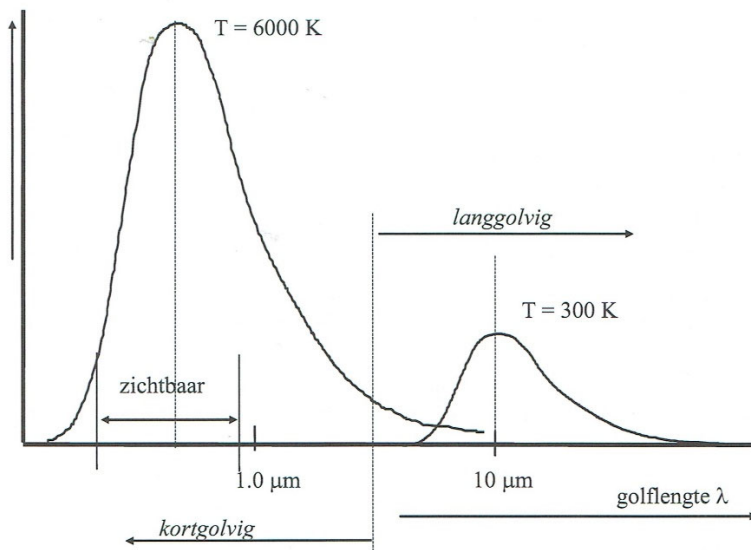
Siehe zum Beispiel die Schmelzschmelze auf der folgenden Foto.

Dort ist die Schmelze selbst ziemlich warm, vielleicht sogar 1000 °C und strahlt außer Infrarotstrahlung auch noch etwas sichtbares Licht aus, aber nur von größeren Wellenlängen, rot.



Ook bij veel lagere temperaturen geven oppervlakken warmtestraling af. Alleen zien we dat niet omdat het dan nog uitsluitend infrarood betreft. En dat nemen onze ogen niet waar. We kunnen het wel voelen, zoals wanneer je je hand voor een warme radiator houdt. Overigens straalt de hand ook warmte uit, maar de radiator straalt meer terug, zodat je per saldo warmte ontvangt.

In de grafiek hieronder wordt het verschil tussen de straling van de zon en van oppervlakken bij kamertemperatuur getoond.



De top van de straling ligt bij 300 kelvin (27 °C) bij 10 μm. Hoewel dit gebied officieel ook infrarood heet, is het duidelijker om dit “warmtestraling” te noemen.

De hoeveelheid warmte die wordt uitgestraald hangt dus af van de temperatuur van het oppervlak én van het soort oppervlak. Glimmende metaaloppervlakken stralen minder warmte uit bij dezelfde temperatuur dan andere materialen.

In de tabel hieronder wordt een indicatie van de sterkte van de straling bij verschillende temperaturen (in W/m^2) gegeven, uitgaande van een emissiecoëfficiënt van het oppervlak van 0,90. Ook is aangegeven bij welke golflengte het maximum van de straling ligt. Voor het waarnemen als warmte maakt dat overigens niet uit.

temperatuur	afgegeven straling	golflengte max.
°C	W/m^2	μm
-20	209	11
0	283	11
20	376	10
30	430	10
40	490	9
50	555	9
60	627	9
80	792	8
100	988	8
120	1217	7
140	1485	7
160	1794	7

Merk op dat ook bij temperaturen onder 0°C er nog heel wat straling wordt af gegeven. Dit is pas over bij -273°C (0 kelvin, het absolute nulpunt).

Globaal zie je dat als je je hand (ca. 30°C) voor een radiator van 50°C houdt, je per saldo ongeveer 125 W/m^2 ontvangt.

Tussen de radiator en de wanden van de kamer (ca. 20°C) is het ongeveer 180 W/m^2 .

In werkelijkheid ligt het allemaal wat ingewikkelder, maar als indicatie is dit goed genoeg.

Warmteoverdracht door convectie; luchtverwarming

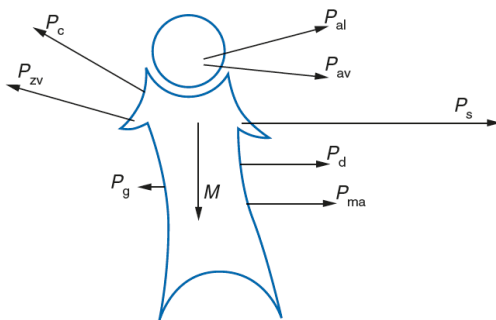
Met convectie, een ander woord voor stroming, wordt hier bedoeld dat warmte wordt verplaatst door een stromend medium. Hier gaat het om de lucht in de ruimte, die wordt opgewarmd aan de radiator of ander verwarmingslichaam en op een andere plaats de warmte weer afgeeft aan objecten in de ruimte, aan de buitenwanden, enz. Na verloop van tijd heeft de gehele ruimte, wanden, vloer en plafond en ook het meubilair vrijwel dezelfde temperatuur. Daarbij speelt stralingsuitwisseling ook een belangrijke rol.

Er bestaat ook luchtverwarming. Daarbij wordt van buiten aangezogen lucht centraal verwarmd en via kanalen naar de vertrekken gebracht. Ook wordt weer lucht afgezogen uit de vertrekken en in de centrale unit wordt de warmte uit de afvoerlucht weer gebruikt om de verse buitenlucht voor te verwarmen (warmteterugwinning, WTW).

In de eerste periode nadat de verwarming is aangezet zullen, met name bij luchtverwarming, de oppervlakken met meer massa (stenen wanden enz.) nog een flinke tijd achter blijven in temperatuur. Dat levert een onbehaaglijke situatie op die gecompenseerd wordt door de luchttemperatuur verder te verhogen.

Thermische behaaglijkheid

Mensen hoeven niet verwarmd te worden. Ze moeten juist warmte kwijt, maar niet meer dan goed is. Het is van belang dat er evenwicht in de warmtebalans van de mens in uitwisseling met de omgeving.



- M de in het lichaam door de stofwisseling ontwikkelde energie (metabolisme)
- P_{ma} de uitwendig verrichte mechanische arbeid
- P_d de door dampdiffusie door de huid afgevoerde energie (latente warmte)
- P_{zv} door zweetverdamping afgevoerde warmte (verdampingswarmte)
- P_{av} met de ademhaling afgevoerde (voelbare) warmte
- P_c convectieve warmteuitwisseling aan de binnenlucht aan het buitenoppervlak van het lichaam (de kleding)
- P_s door straling aan de omringende wanden afgegeven warmte aan het buitenoppervlak van het lichaam (de kleding)
- P_g door geleiding afgevoerde warmte (meestal verwaarloosbaar klein)

Deze figuur wordt hier getoond zonder verdere uitleg, maar hij geeft in ieder geval een indruk van wat er allemaal speelt bij de warmte uitwisseling.

Globaal is de uitwisseling via convectieve warmteoverdracht en door stralingsuitwisseling normaal gesproken even groot. Voor een goede thermische behaaglijkheid moeten de lucht- en stralingstemperatuur niet te veel verschillen. Voor de stralingstemperatuur geeft het naar oppervlakte gewogen gemiddelde van de temperaturen van wanden, vloer en plafond van het vertrek een redelijke benadering.

Een maat voor de “ervaren” temperatuur is de “operatieve temperatuur” het gemiddelde van lucht- en stralingstemperatuur $T_{\text{operatief}} = (T_{\text{lucht}} + T_{\text{straling}}) / 2$

Een verschil van 2-4 °C tussen lucht- en stralingstemperatuur is wel het maximum.

Een operatieve temperatuur van 22 °C bereik je dus met

$T_l = 21\text{ °C}$ en $T_s = 23\text{ °C}$ of andersom $T_l = 23\text{ °C}$ en $T_s = 21\text{ °C}$

$T_l = 20\text{ °C}$ en $T_s = 24\text{ °C}$ of andersom $T_l = 24\text{ °C}$ en $T_s = 20\text{ °C}$

De situatie waarin de stralingstemperatuur wat hoger is dan de luchttemperatuur wordt doorgaans als het beste beoordeeld. Voor een belangrijk deel vanwege het feit dat bij een lagere luchttemperatuur de relatieve vochtigheid in huis iets hoger blijft, hoewel dat op zich weinig invloed heeft op het thermisch comfort. Wel op stof in de lucht wat irritatie van slijmvliezen kan veroorzaken. Ook dat stralingsverwarming minder luchtbeweging geeft is daarbij een voordeel.

Een groter verschil tussen T_l en T_s dan 2-4 °C zal overigens ook zelden ontstaan. De stralingspanelen (radiatoren of anderszins) verwarmen door straling ook de overige vlakken in de ruimte, meubilair en dergelijke. Deze geven de warmte onder andere door convectie weer af aan de lucht in de ruimte. Alleen bij vertrekken die maar heel kort gebruikt worden (1-2 uur) kan de luchttemperatuur wat verder achter blijven.

De lagere luchttemperatuur betekent dat met name de ventilatielucht minder hoeft te worden opgewarmd. En in moderne, goed geïsoleerde huizen/gebouwen is de ventilatie de grootste post in de warmteverliezen.

Dus dat betekent, als de ventilatie en de installatie goed worden geregeld tenminste, een besparing op energiegebruik.

Voor het transport van warmte door de gebouwschil (transmissie) is het effect veel minder groot. Immers in de warmteoverdracht naar de gevel en de rest van de gebouwmhulling neemt straling het grootste deel voor zijn rekening.

Even uitgaande van de normaal gehanteerde standaardwaarde voor de warmte overgangsweerstand aan de binnenzijde van bijvoorbeeld een ruit ($R_{si} = 0,13\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) kijken we naar hoe dit getal is opgebouwd uit de warmteoverdrachtscoëfficiënten (α) voor convectie en straling:

$R_{si} = 1 / (\alpha_{\text{convectie}} + \alpha_{\text{straling}}) = 1 / (2 + 5,7) = 0,13\text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Het stralingsaandeel hierin is dus ca. 75 %.

Radiatoren en warmtewanden.

De centrale verwarming die we aantreffen in het grootste deel van alle woningen en gebouwen vindt plaats door middel van “radiatoren”. Deze heten zo omdat ze ook warmte afgeven door straling.

Maar verwarmingslichamen geven altijd warmte af zowel door straling als door convectie.

Bij een enkelplaats radiator is het stralingsaandeel ca. 50%, bij meer platen en vooral bij toepassing van convectieribben krijg je meer convectie en loopt het stralingsaandeel soms wel terug tot ca. 20%.

Maar die extra warmteafgifte was vroeger nodig toen de huizen/gebouwen slecht geïsoleerd waren en er gewoon erg veel warmte nodig was.

Bij het huidige isolatieniveau kunnen er prima enkelplaatsradiatoren worden toegepast, eventueel aan de achterzijde geïsoleerd. Dan bereik je een stralingsaandeel tot maximaal 60%.



Een andere manier om een groot aandeel van stralingsverwarming te verkrijgen is met wandverwarming. Tegenwoordig zijn daarvoor matten met zeer dunne buisjes beschikbaar die in een pleisterlaag kunnen worden opgenomen, waarbij onder die pleisterlaag bij voorkeur nog een laag thermische isolatie zit, zodat de constructie daarachter niet ook behoeft te worden opgewarmd en de verwarming snel kan reageren.

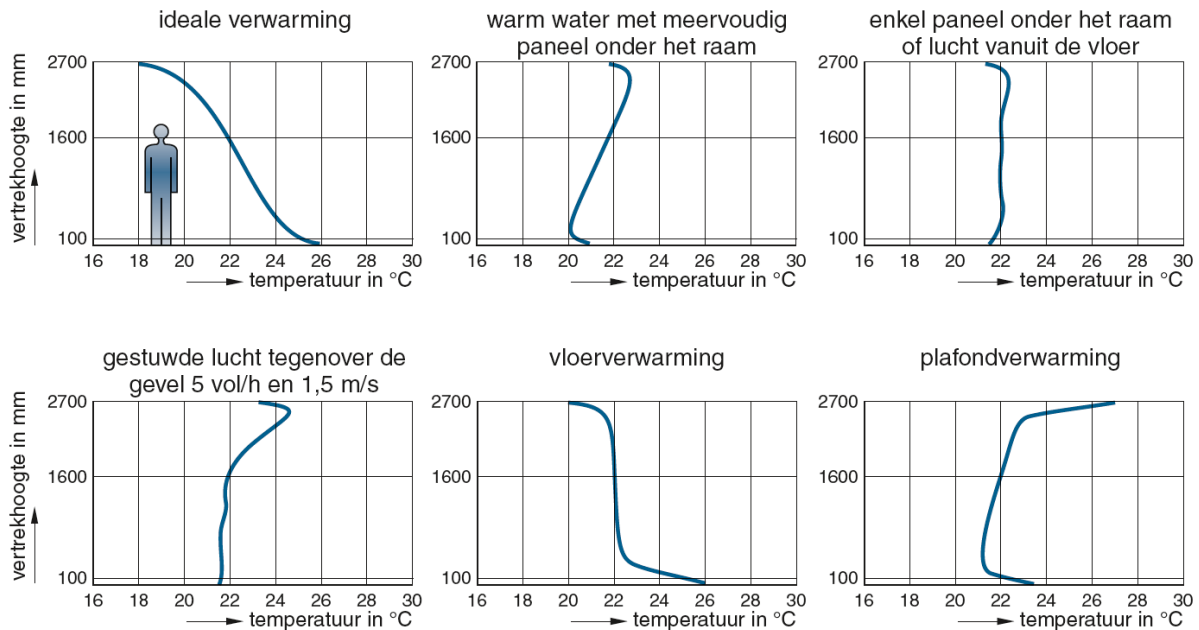
Op deze manier worden grote vlakken gevormd die iets hoger in temperatuur zijn dan die in de kamer gewenst wordt om de warmteverliezen te dekken. Bij goed geïsoleerde woningen/gebouwen gaat dit echt maar om enkele graden, zodat een goede homogene verdeling van de temperatuur in de ruimte ontstaat.

Er zijn natuurlijk nog meer mogelijkheden zoals vloerverwarming enz. Maar in het kader van deze notitie gaan we daar niet verder op in.

Temperatuurgradiënt bij verschillende verwarmingssystemen

De wijze van verwarmen heeft veel invloed op de verdeling van de temperatuur over de hoogte van de ruimte. Het verschil tussen de temperatuur bij enkels en op hoofdhoogte bij zittende personen op 0,1 en 1,1 m boven de vloer en bij staande personen op 0,1 en 1,7 m boven de vloer moet bij voorkeur niet meer zijn dan 2-3 °C. Daarnaast geldt dat warme voeten en een koel hoofd te prefereren is boven andersom.

Zie de figuur hieronder voor de temperatuurgradiënt bij de verschillende systemen.



Duidelijk is dat vloerverwarming en enkelplaats radiatoren onder de ramen het dichtst bij het ideaal in de buurt komen. Naarmate de convectie in het verwarmingssysteem toeneemt (luchtverwarming of meerplaats radiatoren met convectiestrips) draait de situatie om en wordt het hoofd warmer dan de voeten. Als alles goed gaat blijven de temperatuurverschillen wel binnen de aangegeven grenzen. Plafondverwarming lijkt ook aardig uit te komen. Dat komt door de rechtstreekse aanstraling van de vloer door het plafond. Maar dat lukt natuurlijk niet onder een tafel of dergelijke.

De hier getoonde temperatuurgradiënten zijn overigens slechts globale voorbeelden.

In specifieke situaties kan een en ander sterk worden beïnvloed door de plaats van radiatoren, koude glasoppervlakken, plaats van de ventilatieopeningen en daarmee de luchtbeweging (tocht) enz.

Elektrische stralingspanelen

Er komen steeds meer elektrische stralingspanelen op de markt.

Door de gebruikte benaming “Infraroodverwarming” lijkt het net of hier sprake is van iets heel anders dan van gewone radiatoren. Maar in feite is het precies hetzelfde. In beide gevallen wordt een oppervlak verwarmd dat daardoor meer warmtestraling gaat afgeven dan de omgeving.

En een “infrarood paneel” met een oppervlaktetemperatuur van 70 °C geeft net zoveel warmtestraling (infrarood) af als een radiator met dezelfde oppervlaktetemperatuur.

Een verschil is alleen dat de temperatuur van de panelen vaak veel hoger is dan die bij de gewone warmwaterradiatoren, tot aan 160 °C of daaromtrent, terwijl radiatoren bij het gebruik van lage temperatuurverwarming juist naar maximaal 50 °C gaan.

Een groot voordeel van elektrische stralingspanelen is de eenvoudige manier van aanbrengen.

Zodra er een stopcontact in de buurt is, hoeft je alleen nog maar het paneel op te hangen.

Maar verder is er dus geen wezenlijk verschil tussen elektrische stralingspanelen en enkelplaats warmwaterradiatoren. De verhouding tussen via straling en via convectie afgegeven warmte is in beide gevallen (bij verticale opstelling) ongeveer 50/50. Doordat de elektrische panelen vaak aan de achterkant zijn geïsoleerd kan het stralingsaandeel stijgen tot zo’n 60%.

Of het zin heeft om elektrische stralingspanelen toe te passen als warmtebron in plaats van warmwaterradiatoren hangt sterk af van de situatie. Gaat het om het kortdurend verwarmen van maar incidenteel gebruikte vertrekken, bijverwarmen van een wat koude hoek in de kamer of gaat het om de hoofdverwarming waarbij in plaats van warmwaterradiatoren in alle kamers elektrische radiatoren komen. Enige reserve bij het zomaar toepassen van elektrische stralingspanelen komt voort uit het gebruik van elektriciteit als directe energiebron.

Op dit moment is het rendement van ons nationale energienet ca. 42%.

Dat betekent dat om 1 kWh aan energie in huis te krijgen er in de centrale 2,4 kWh aan aardgas, kolen of andere brandstof moet worden verstoekt.

Maar ook als de panelen gevoed worden met zelf, bijvoorbeeld via zonnecellen, opgewekte elektriciteit is het een beetje jammer om die elektriciteit zomaar rechtstreeks om te zetten in warmte. Bij een warmwater radiatoren verwarming kan de warmte worden opgewekt via een warmtepomp waarbij iedere vanuit het net (of uit de eigen PV cellen) gebruikte kWh wel 3-5 kWh aan warmte kan opleveren.

Dat betekent bijvoorbeeld, ook bij het gebruiken van stroom uit eigen PV panelen, dat er veel minder panelen nodig zijn. En dat is ook belangrijk, want de stroom lijkt wel gratis te zijn, afkomstig uit het zonlicht, maar om de PV panelen te maken is ook energie nodig en worden grondstoffen gebruikt. In alle gevallen moet je de milieu effecten als totaal beoordelen.

Dat leidt tot de conclusie dat elektrische stralingspanelen het beste kunnen worden ingezet op plaatsen waar het niet goed mogelijk is om warmwater verwarming (radiatoren, wand- en vloerverwarming) toe te passen. Of in situaties dat er zo weinig warmte nodig is dat het aanleggen van een warmwatersysteem onevenredig duur of ingewikkeld wordt.

Bijzonder goed op zijn plaats is elektrische stralingsverwarming op plaatsen waar maar incidenteel echte verwarming nodig is. Een bureautje in een verder niet de hele dag verwarmde slaapkamer, een zithoek in een verder maar matig verwarmde woonkamer, een balie in een entree ruimte enz.

Als hoofdverwarming komen elektrische stralingspanelen op basis van het voorafgaande eigenlijk uitsluitend aan de orde in woningen/gebouwen die zodanig goed zijn geïsoleerd dat er maar heel kortdurend (aan het begin van de dag) extra warmte nodig is (passief huizen).

Conclusie/Aanbeveling

Er zijn zeker goede toepassingsmogelijkheden voor elektrische stralingspanelen, maar niet op de grootschalige manier die nu soms wordt gepropageerd.

Ook wordt er ten onrechte het idee gewekt dat elektrische stralingspanelen een heel ander soort verwarming leveren dan de gewone warmwaterradiatoren.

Het zou goed zijn als er een onafhankelijke beoordeling kwam van de verschillende verwarmingsmogelijkheden c.q. de waarde van elektrische panelen in verschillende situaties, waarbij inzicht wordt verkregen in de thermische behaaglijkheid en het energiegebruik.

Kees van der Linden
AaCee Bouwen en Milieu
Delft, 12 mei 2018

kees@aacее.nl

www.aacее.nl/bouw