

Afgifte – verwarming – handberekeningen

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Inleiding

De warmte- en koelbehoefte van ruimten kan met “dynamische” of “stationaire” methoden worden berekend. Bij dynamische methoden wordt met behulp van wiskundige beschrijvingen van de eigenschappen van een ruimte - een fysisch model - nagegaan hoe die ruimte reageert op in de tijd variërende omstandigheden. Bij stationaire berekeningen veronderstelt men dat de omstandigheden constant zijn en brengt men de dynamische effecten in rekening door tabellen te gebruiken waarin die effecten zijn verwerkt. Meestal wordt de warmtebehoefte zo berekend. Voor de bepaling van de koelbehoefte worden steeds vaker dynamische methoden gebruikt. Tot nu toe zijn alleen stationaire methoden in NEN-normen vastgelegd.

Bij het architectonische ontwerpproces gaat het er met betrekking tot de klimaatregeling vooral om inzicht in de orde van grootte te verkrijgen. Welke afmetingen krijgen de installaties en hoeveel ruimte is nodig voor inbouw van centrale installaties, distributie-installaties en eindapparaten? De benodigde inbouwruimte wordt primair bepaald door het toe te passen klimaatregelsysteem en dat systeem is weer afhankelijk van het verwarmings- en koelvermogen dat nodig is om de ruimten in het gebouw op de gewenste temperatuur te kunnen houden. De gebouwentwerper beperkt zich met de systeemkeuze meestal tot het detailniveau van een Voorlopig Ontwerp, waarbij globale berekeningen volstaan. De in NEN-normen beschreven stationaire methoden, zoals die door installatieontwerpers worden toegepast, zijn daarvoor te gedetailleerd. Wel vormden ze de basis voor de ontwikkeling van meer op het architectonische ontwerpdoel afgestemde globale berekeningen.

Met dynamische berekeningen is de invloed van het warmteaccumulerend vermogen van ruimten beter na te gaan dan met stationaire methoden. Dat geldt ook voor de invloed van de sterk wisselende meteorologische omstandigheden omdat bij dynamische berekeningen gebruik wordt gemaakt van reële waarden voor zonnestraling, wind en temperatuur. Omdat differentiaalvergelijkingen moeten worden opgelost - wat slechts numeriek kan - is voor dynamische berekeningen een computer nodig. Een goed voorbeeld van een voor dit doel bruikbaar computerprogramma is VA114 van de Vereniging tot Automatisch Berekenen van Installaties in gebouwen (VABI).

Bij het door TNO ontwikkelde VA114-programma moeten de geometrische en fysische eigenschappen van de ruimte, het verwarmings- en koelvermogen van de installatie, de gebruikstijden van de ruimte en de interne belasting door personen, verlichting en apparatuur als gegeven worden ingevoerd. Het programma berekent voor elk uur van een op te geven meteorologisch jaar de binnentemperatuur en het energiegebruik en geeft een overzicht van het aantal uren dat de binnentemperatuur in dat jaar een op te geven waarde over- of onderschrijft. Een berekening met het programma wordt om die reden ook wel “temperatuuroverschrijdingsberekening” of kortweg TO-berekening genoemd. Door “trial and error” is met het programma een koelvermogen te vinden waarvoor geldt dat in jaar x een binnentemperatuur y niet meer dan z uren wordt overschreden. In de beginperiode, toen deze methode in Nederland populair werd, nam men twee temperatuurgrenzen y_1 en y_2 die respectievelijk niet meer dan z_1 en z_2 uur mochten worden overschreden. Later werd

voorgesteld om één temperatuurgrens y te nemen en elk uur dat de berekende temperatuur deze grens overschrijdt te vermenigvuldigen met een waarde die afhankelijk is van de mate waarin y wordt overschreden. Dit werd de “Gewogen Temperatuur Overschrijding” of GTO-berekening genoemd. Recent is bedacht dat de waarde y afhankelijk is te stellen van de effectieve temperatuur van de buitenlucht in de periode voorafgaand aan het te berekenen tijdstip en van de aanwezigheid van te openen ramen, de ATG of “Adaptieve Temperatuur Grenswaarde”. Koelvermogens die met TO-, GTO- en ATG-berekeningen zijn bepaald wijken onderling af van de vermogens die uit stationaire berekeningen volgen. De verschillen zijn te verklaren uit het gebruik van verschillende overschrijdingscriteria en verschillende meteorologische gegevens.

Een veel gestelde ontwerp vraag is: welke vorm, thermische eigenschappen en gebruik moet een gebouw krijgen om met natuurlijke koeling te kunnen volstaan. Beantwoording van deze vraag is met TO-berekeningen en varianten daarop mogelijk. Ook is met deze berekeningen na te gaan welk effect vorm, thermische eigenschappen en gebruik hebben op de energieconsumptie van het gebouw. Evident is dat natuurlijke koeling eerder mogelijk is en het energiegebruik beperkter naarmate een milder meteorologisch jaar en hogere waarden voor y en z worden genomen. Helaas bestaat er anno 2004 geen consensus over deze waarden en het te gebruiken meteorologisch jaar om te kunnen spreken van een gebouw met een "redelijk comfort". Sommige ontwerpers koppelen - voor het voldoen aan een bepaalde gebouwprestatie - hoge y - en z -waarden aan het meteorologisch gemiddelde jaar 1964-1965. Voorspelbaar is dat gebouwen die niet meer dan deze prestatie kunnen leveren tijdens warmere jaren, zoals 1994 of 1995 waren, een groot deel van de tijd onbehaaglijk warm en door velen onaanvaardbaar gevonden zullen worden. Een bijkomend nadeel is dat niet is te controleren of een gebouw de berekende prestatie ook werkelijk levert. Zo is het bijna ondoenlijk om een jaar lang te meten en vervolgens onmogelijk om uit de meetgegevens af te leiden of in jaar x aan de criteria y en z wordt voldaan omdat ieder jaar, meteorologisch gezien, uniek is. De jaren verschillen niet alleen in het aantal uren dat luchttemperatuur, zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid bepaalde waarden hebben, ook het verloop van die waarden verschilt terwijl juist dat verloop een grote invloed heeft. Zo laat een periode van vier dagen met een bepaalde hoge buitentemperatuur meer uren overschrijding en een hogere maximale binnentemperatuur zien dan twee perioden van twee dagen met dezelfde buitentemperatuur.

Dynamische berekeningen zijn vooral geschikt om na te gaan welke invloed bouwkundige en installatietechnische ontwerpkeuzes hebben op het binnenklimaat en het energiegebruik. NEN 5067 biedt die mogelijkheden niet, wel is met deze norm op gestandaardiseerde wijze de koelbehoefte te berekenen die ontstaat na 5 warme dagen met 75% van de maximaal mogelijke intensiteit van de zonnestraling. Tijdens de ontwikkeling van de norm was er consensus over het redelijk comfortabele binnenklimaat dat ontstaat als een klimaatinstallatie aan deze prestatie beantwoordt. Betrekkelijk eenvoudig (maar wel erg bewerkelijk) is te controleren of deze prestatie ook werkelijk wordt geleverd, namelijk door na te gaan of de vertrektemperatuur na 5 warme dagen aan de gestelde temperatuureis voldoet.

Het maken van dynamische berekeningen met programma's zoals VA114 vraagt de kennis van een ervaren installatieontwerper en de routine van een regelmatige gebruiker van het programma. Daarom is dit programma niet direct geschikt voor gebruik door architecten en andere bouwkundige ontwerpers. Voor dit doel zijn er diverse relatief eenvoudige gebouwsimulatie programma's beschikbaar, meestal Engelstalig, zoals ORCA, gebaseerd op

VA114 en ontwikkeld op de TU-Delft, Design Advisor (MIT) en Passive Design Assistant (Arup).

Voor het vaststellen van de warmte- en koelbehoefte van een gebouw, het bijbehorende binnenklimaat en het energiegebruik wordt in de advieswereld veelvuldig gebruik gemaakt van meer uitgebreide gebouwsimulatieprogramma's. Bij de faculteit Bouwkunde van de TU-Delft worden onder andere de simulatieprogramma's VA114, CAPSOL, TRNSYS en DesignBuilder gebruikt. De keuze voor een bepaald programma hangt af van de gewenste mate van gedetailleerdheid van de berekening en de beschikbare software die bij het ontwerpen van een gebouw al wordt gebruikt. Binnen de gebouwinformatiesystemen en modellen BIM en Revit komen er bijvoorbeeld ook steeds meer mogelijkheden om de warmte- en koudebehoefte vast te stellen.

Voor de toetsing van de kwaliteiten van passieve woningen en kantoren lopen de huidige warmte- en koudebehoefterekenmethoden overigens nu tegen grenzen aan. Voor passieve woningen is er voor de certificering bijvoorbeeld al een specifiek rekenmodel afkomstig uit Duitsland (PHPP). De rol van thermische massa, straling en het effect van vrije koeling gaat daarbij een steeds belangrijker rol spelen en de warmtebalansen worden steeds gevoeliger. Om de effecten daarvan goed te kunnen modelleren is het aantal door te rekenen knooppunten groter dan de programma's of doorsnee-computers doorgaans aankunnen. Een gebouwsimulatie blijft daarom altijd een benadering. Toetsing achteraf met metingen is vooralsnog essentieel.

2 Warmtebehoefte

2.1 NEN 5066

De berekening van de warmtebehoefte van ruimten - door installatieontwerpers ook wel aangeduid met "transmissieberekening" - is in NEN 5066 [1] beschreven. Voor de berekening van de warmtebehoefte in het beginstadium van het ontwerpproces is zowel de bestaande als de voorgestelde versie te gedetailleerd. Daarom is deze berekening vereenvoudigd tot de in de volgende paragraaf beschreven globale methode.

2.2 Globale warmtebehoefteberekening

De warmtebehoefte van een ruimte (Φ_w) wordt volgens NEN 5066 bepaald door het warmteverlies door transmissie (Φ_{tr}), natuurlijke ventilatie of infiltratie (Φ_v) en opwarmen van de ruimte na een nacht of weekeinde met een lagere ruimtetemperatuur (Φ_{opw}):

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} \quad (W) \quad (1)$$

Het warmteverlies door transmissie is:

$$\Phi_{tr} = \sum (U \cdot A_e \cdot (\theta_i - \theta_e)) \quad (W) \quad (2)$$

waarin:

- U = warmtedoorgangscoefficiënt van wanden, vloeren e.d. = $1/R$ W/(m².K)
- R = warmteweerstand = $R_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_n/\lambda_n + \dots + R_{sp1} + R_{sp2} + R_{spn} + \dots + R_e$ (m².K)/W
- R_i = warmte-overgangswaarde aan binnenzijde $\approx 0,13$ (m².K)/W
- R_e = warmte-overgangswaarde aan buitenzijde $\approx 0,04$ (m².K)/W

- d = dikte van de lagen waaruit de wand of vloer is opgebouwd in m
 λ = warmtegeleidingscoëfficiënt in W/(mK), zie tabel 1
 R_{sp} = warmteweerstand van een spouw $\approx 0,17$ (m².K)/W
 A_e = oppervlakte van het vlak (buitenwerks) in m²
 θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in °C
 θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in °C

tabel 1 eigenschappen van vaak toegepaste bouwmaterialen *)

materiaal	warmtegeleidings- coëfficiënt λ W/(m.K)	soortelijke warmte c J/(kg.K)	soortelijke massa ρ kg/m³
ijzer / staal	50	530	7800
beton	2,0	840	2500
glas	0,8	840	2500
baksteen	0,6 - 0,9	840	1600
gips	0,3 - 0,5	840	600 - 1400
kunststof	0,17	1470	900 - 1200
hout	0,15	1880	550
kurk	0,04	1760	120
minerale wol	0,04	840	35 - 200
kunststof schuim	0,035	1470	10 - 60

*) Zie voor meer gegevens het Bouwfysisch Tabellarium van de TU-Delft

NEN 5066 geeft voor de ontwerp-binnentemperatuur richtwaarden, zie tabel 2. Het zijn minimale waarden. Tussen haakjes zijn meer gebruikelijke binnentemperaturen vermeld.

tabel 2 ontwerp-binnentemperatuur
verwarming

Woningen

- woonkamer	20 °C	(22)
- studeerkamer	20	(22)
- slaapkamer	18	(20)
- keuken	18	(20)
- badruimte	22	(24)
- gang, hal	15	(18)
- toilet	15	
- berging	5	

Bejaardenwoningen

- zitkamer	22 °C	(24)
- slaapkamer	22	(24)
- badruimte	25	
- keuken	22	
- toilet	18	(20)
- gang	18	

Kantoren

- kantoorvertrekken	20 °C	(22)
- gangen, archieven	15	(18)
- toiletten	10	(15)

Scholen

- klaslokaal	20 °C	
- gymlokaal	15	
- docentenkamers	20	
- gang	15	
- toilet	15	

Museum 16 °C

Kerk 15

Winkel 16

Als ontwerp-buitentemperatuur kan voor geheel Nederland -10 °C worden aangehouden. Lagere temperaturen doen zich slechts beperkt voor, tabel 3 illustreert dit.

tabel 3	deel van de tijd dat de buitentemperatuur beneden een bepaalde waarde komt (koude regio)	
< °C	%	uur/jaar
-20	0,0067	0,58
-15	0,048	4,2
-14	0,078	6,7
-13	0,113	9,9
-12	0,173	15
-11	0,266	23
-10	0,397	35
-9	0,57	50
-8	0,82	72
-7	1,12	98
-6	1,50	132
-5	2,05	180
-4	2,8	245
-3	3,7	322
-2	4,9	431
-1	6,6	582
0	8,9	781

NEN 5066 maakt voor het warmteverlies naar aangrenzende ruimten onderscheid tussen verwarmde en niet verwarmde ruimten. Voor niet verwarmde ruimten kan de temperatuur worden berekend uit de warmtebalans voor die ruimte. Voor een globale warmtebehoefteberekening gaat dit te ver. Ter vereenvoudiging kunnen de volgende temperaturen worden aangehouden:

- verwarmde ruimte eigen woning/gebouw ontwerp-temperatuur
- centraal verwarmde buurwoning 15 °C
- centraal verwarmd buurgebouw 15 °C
- onverwarmde zolder 5 °C
- kruipruimte 5 °C
- grond 10 °C

Infiltratie is de onbedoelde luchtstroming via kieren en andere ondichtheden in de gebouwschil en is het gevolg van (wind)druk en temperatuurverschillen. Ventilatie is de luchtverversing die op natuurlijke wijze plaatsvindt via geopende ramen of roosters of op mechanische wijze met ventilatoren. Het warmteverlies dat het gevolg is van natuurlijke ventilatie of infiltratie (Φ_v) bedraagt:

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (3)$$

waarin:

- q_v = lucht volumestroom in m^3/s
- ρ = dichtheid van lucht $\approx 1,2 \text{ kg}/m^3$
- c = soortelijke warmte van lucht $\approx 1000 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- θ_i = ontwerp binnentemperatuur in °C
- θ_e = ontwerp buitentemperatuur in °C

Voor woningen, die qua luchtdoorlatendheid voldeden aan NEN 2687, is de volume-stroom:

$$q_v = c_0 \cdot n \cdot V / 3600 \quad (m^3/s) \quad (4)$$

waarin:

c_0 = omgevingsfactor (1,5 voor vrij gelegen laagbouw, anders 1,0)

n = ventilatievoud ten gevolge van infiltratie in $(\text{m}^3 \cdot \text{h})/\text{m}^3 (= \text{h}^{-1})$

V = volume van de ruimte in m^3

De waarde voor n kan in tabel 4 worden opgezocht voor Binnenland, Kustgebied of Den Helder e.o., zie figuur 1.



figuur 1 klimaatzones in Nederland

tabel 4 ventilatievouden t.b.v. berekening warmtebehoefte woningen

gebied ¹⁾	natuurlijke toevoer						mechanische toevoer					
	gesloten keuken			open keuken			gesloten keuken			open keuken		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<i>appartement hoogbouw</i>												
- woonkamer	1,9	2,9	4,1	3,2	4,5	6,1	0,9	1,6	2,3	1,3	2,0	2,9
- keuken gevel	4,2	5,4	6,8	6,7	9,6	12,8	1,8	2,7	3,9	2,6	4,2	6,0
- „ inpandig	2,4	3,1	3,9	3,9	5,6	7,4	1,0	1,6	2,2	1,6	2,3	3,5
- slaapkamer	3,0	4,3	5,9	3,3	4,7	6,3	1,8	3,0	4,2	2,0	3,3	4,7
- gang / hal	1,2	2,9	3,9	2,4	3,4	4,5	1,0	1,6	2,2	1,2	1,8	2,5
<i>appartement laagbouw</i>												
- woonkamer	1,0	1,5	2,1	1,9	2,5	3,3	0,5	0,7	1,0	0,6	1,0	1,4
- keuken gevel	1,4	3,3	4,1	3,7	5,1	7,1	0,9	1,3	2,0	1,4	2,0	2,8
- „ inpandig	1,6	1,9	2,3	2,2	3,0	4,1	0,5	0,8	1,2	0,8	1,2	1,6
- slaapkamer	1,7	2,4	3,1	1,8	2,6	3,4	1,0	0,9	2,0	0,9	1,0	2,3
- gang / hal	1,1	1,5	2,1	1,4	1,8	2,6	0,5	1,4	1,1	0,6	1,5	1,2
<i>eengezinswoning</i>												
- woonkamer	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,7	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	1,1
- keuken	2,2	2,2	3,0	4,1	4,1	7,2	0,7	0,7	1,1	1,8	1,8	3,3
- slaapkamer	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	1,3	0,5	0,5	1,4
- badkamer	3,8	3,8	5,5	3,6	3,6	5,8	1,1	1,1	2,6	1,0	1,0	2,5
- zolder	1,8	1,8	4,2	1,3	1,3	2,9	0,7	0,7	1,9	0,4	0,4	1,2
- gang / hal	2,4	2,4	4,0	3,5	3,5	3,1	1,2	1,2	1,9	0,8	0,8	1,5

¹⁾ a = binnenland, b = kustgebied en c = Den Helder e.o.

Op dit moment is bij nieuwe woningen

Bij utiliteitsgebouwen met ***natuurlijke ventilatie*** wordt de volumestroom bepaald door de ***ventilatie*** of - als deze groter is - door de ***infiltratie***. De volumestroom moet voldoende zijn voor luchtverversing, hiervoor noemt NEN 5066 0,01 m³/s per persoon (35 m³/h). Volgens huidige inzichten leidt dit tot een benauwde atmosfeer en is 0,014 m³/s per persoon (50 m³/h) beter. Is het aantal personen onbekend dan kan 1 persoon per 10 m² vloeroppervlakte worden genomen, wat neerkomt op een volumestroom van 0,0014 m³/s per m² vloeroppervlakte (5 m³/h per m² vloeroppervlakte).

Bij utiliteitsgebouwen met ***mechanische ventilatie*** wordt de volumestroom bepaald door de ***infiltratie*** als de lucht mechanisch wordt toegevoerd. De mechanisch toegevoerde lucht wordt dan elders verwarmd. Wordt de lucht alleen mechanisch afgevoerd en stroomt onverwarmde verse lucht direct van buiten naar binnen dan wordt de volumestroom bepaald door de mechanische ***ventilatie*** of - als deze groter is - door ***infiltratie***. Ter vereenvoudiging wordt vaak aangenomen dat de volumestroom door ventilatie altijd de grootste is.

Voor gebouwen die voldoen aan de luchtdichtheidseisen uit NEN 5066, bijlage B (nieuwe gebouwen), is de volumestroom door infiltratie:

$$q_v = q_{vi} \cdot A_g \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5)$$

waarin:

q_{vi} = luchtvolumestroom door infiltratie per m^2 geveloppervlakte in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$

0,0009 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ voor het binnenland (zie figuur 1),

0,0014 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ voor het kustgebied en

0,0021 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ voor Den Helder e.o.

A_g = geveloppervlakte in m^2

Volgens NEN 5066 is het warmteverlies door opwarmen van de ruimte - na een nacht of week-einde met een lagere temperatuur - afhankelijk van de mate en duur van de temperatuurverlaging en van de opwarmtijd. Ook de temperatuurregeling - per vertrek of centraal - heeft invloed op dit warmteverlies. Deze aspecten en de eigenschappen van het gebouw samen maken de berekening complex. Voor een globale berekening gaat dit te ver en kan beter een gemiddelde waarde worden genomen. PrEN 12831 [2] geeft aan dat een ruimte met een gemiddelde massa (SWM = 65 kg/m^2) met een vermogen van 20 W/m^2 vloeroppervlakte in 1 uur ca. 2 °C is op te warmen. Met het zelfde verwarmingsvermogen is een zware ruimte (SWM = 80 kg/m^2) in 2 uur ca. 2 °C op te warmen. Voor beide gevallen is dit aanvaardbaar, zodat het warmteverlies voor opwarmen van de ruimte als volgt is te berekenen:

$$\Phi_{\text{opw}} = A_{\text{vl}} \cdot 20 \quad (\text{W}) \quad (6)$$

waarin:

A_{vl} = vloeroppervlakte in m^2

De "Specifiek Werkzame Massa" van de ruimte (SWM) is te bepalen met:

$$\text{SWM} = \Sigma (f \cdot \rho \cdot d \cdot A_d) / \Sigma A_w \quad (\text{kg}/\text{m}^2) \quad (7)$$

waarin:

f = reductiefactor voor isolerende deklagen (= 0,7 voor niet geventileerde verlaagde plafonds, verhoogde vloeren, lambriseringen e.d., anders 1,0 invullen)

ρ = dichtheid van de wanden, vloeren en plafond in kg/m^3

d = werkzame dikte in m (= halve dikte van wand, vloer of plafond en maximaal 0,06 m)

A_d = oppervlakte van wanden (*exclusief* ramen), vloer en plafond in m^2

A_w = oppervlakte van wanden (*inclusief* ramen), vloer en plafond in m^2

NB. Anno 2004 is discussie gaande over de noodzaak van nacht- en weekeindverlaging. Door energiebesparende maatregelen is de warmtebehoefte van gebouwen sterk afgenomen waardoor het vermogen voor opwarmen een relatief groot deel van het totale verwarmingsvermogen is geworden. Daardoor is de gemiddelde belasting van ketels en warmtepompen afgenomen terwijl hun rendement juist bij hoge belastingen maximaal zijn. De vraag is of de besparing door nacht- en weekeindverlaging opweegt tegen het extra energiegebruik door het lagere gebruiksrendement. De zin van nacht- en weekeindverlaging

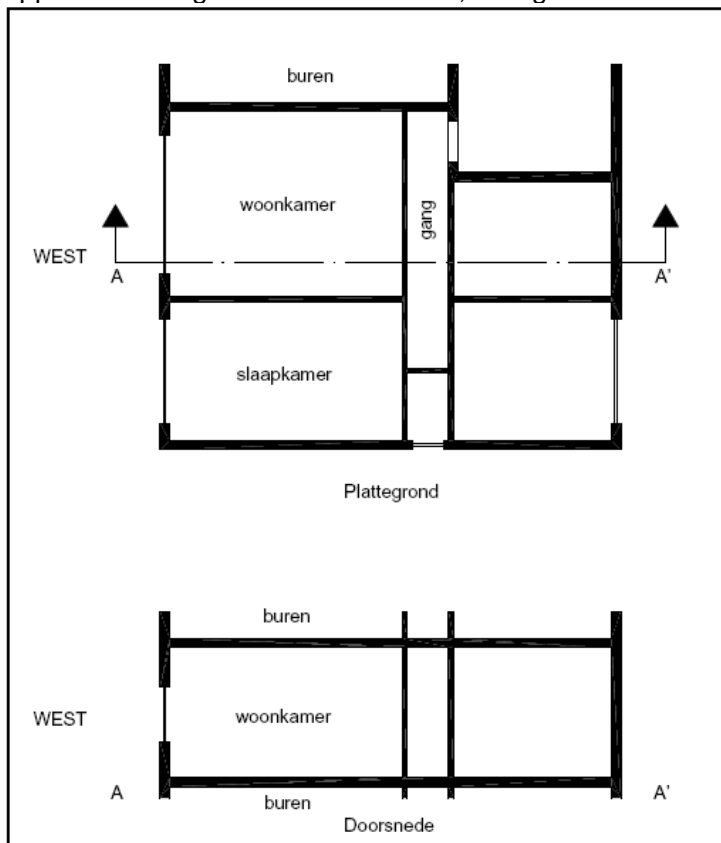
wordt eveneens betwijfeld omdat na nacht- en weekeindverlaging koudeval langs binnenmuren ontstaat die niet door radiatoren e.d. wordt opgevangen. Een derde reden is dat duurzame lage-temperatuur verwarming beter toepasbaar is naarmate het maximale verwarmingsvermogen lager is terwijl nacht- en weekeindverlaging juist tot een hoger vermogen leidt.

In de bijlage 1 wordt een samenvatting gegeven van de bij de globale warmtebehoefteberekening te gebruiken formules. Bijlage 2 is een overzichtelijk invulformulier dat de kans op het maken van fouten beperkt.

2.3 Voorbeelden

Voorbeeld 1, warmtebehoefte woonkamer

Dit voorbeeld betreft een woonkamer op een tussenverdieping van een appartementengebouw in Rotterdam, zie figuur 2.



figuur 2 voorbeeld 1, woonkamer in flatgebouw

Oriëntatie is West. Verdere gegevens:

Bruto hoogte (vloer tot vloer)	: 3,0 m
netto hoogte	: 2,8 m
gevel breedte	: 4,0 m
vertrekdiepte	: 5,0 m
raamhoogte	: 1,2 m
raambreedte	: 3,0 m

ontwerp-temperatuur	: 22 °C
temperatuur aangrenzende ruimte:	
- noord (buren)	: 15 °C
- zuid (slaapkamer)	: 20 °C
- oost (gang)	: 18 °C
- boven (buren)	: 15 °C
- beneden (buren)	: 15 °C
infiltratie volgens tabel 8.5	: 1,5-voud = 84 m ³ /h

N.B. Volgens het Bouwbesluit moet de ventilatie van een woonkamer 0,9 l/(s.m²) (=65 m³/h) zijn, met een minimum van 21 l/s (= 75 m³/h). De infiltratie volgens tabel 4 valt binnen deze criteria, zodat bij de warmtebehoefteberekening geen rekening hoeft te worden gehouden met extra ventilatie.

Warmtedoorgangscoefficienten

glas	3,2 W/(m ² .K)
borstwering	0,4
vloer	1,2
wand (buren)	1,5
binnenwand	2,0

Transmissieverlies

raam	= U . A . (θ _i - θ _e)=	3,2 . 3,6 . 32	= 369 W
borstwering	=	0,4 . (3 . 4 - 3,6) . 32	= 108
vloer	=	1,2 . 4 . 5 . 7	= 168
plafond	=	1,2 . 4 . 5 . 7	= 168
wand buren	=	1,5 . 3 . 5 . 7	= 158
wand slaapkamer	=	2,0 . 3 . 5 . 2	= 60
wand gang	=	2,0 . 3 . 4 . 4	= <u>96</u>
		Φ_{tr}	= 1127 W

Warmteverlies door infiltratie:

$$\Phi_v = n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) / 3600 = 1,5 \cdot 56 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 32 / 3600 = 896 \text{ W}$$

Warmteverlies door opwarmen:

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 = 4 \cdot 5 \cdot 20 = 400 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is daardoor:

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} = 1127 + 869 + 400 = \mathbf{2396 \text{ W}}$$

En de specifieke warmtebehoefte:

$$\Phi_{w, sp} = \Phi_w / A_{vl} = 2396 / (5 \cdot 4) = \mathbf{120 \text{ W/ m}^2}$$

Stysteemkeuze

Volgens tabel 5 zijn verwarming met radiatoren of convectoren en luchtverwarming geschikt. Vloer- en plafondverwarming komen niet in aanmerking als hoofdverwarming.

tabel 5 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		200	200	200	¹⁾			
luchtverwarming $\Delta\theta = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ²⁾	4	65	70	80	95	110	135	160
	6	95	110	120	140	160	200	240
	10	160	180	200	230	270	335	400
,, $\Delta\theta = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ³⁾	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)		55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90
plafondverwarming (staan/zitten)		45/60	50/70	55/80	¹⁾			

¹⁾ minder of niet geschikt voor hoge ruimten

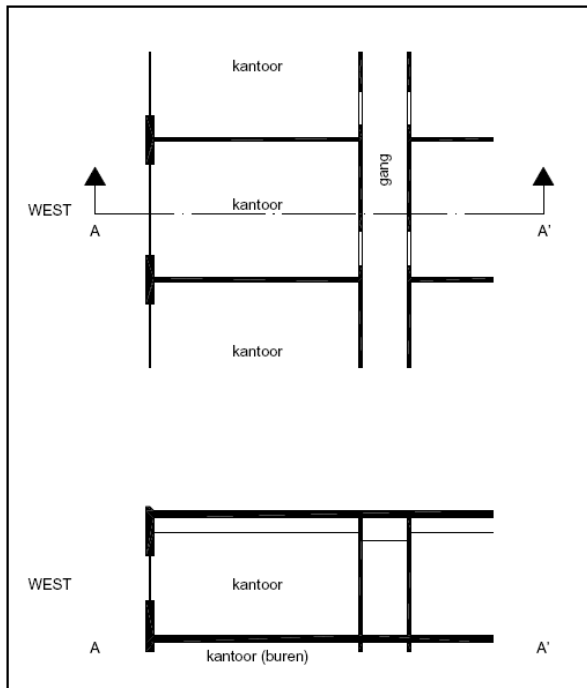
²⁾ luchttoevoer vanuit plafond met tangentiële stroming

³⁾ luchttoevoer vanuit vloer en toevoer vanuit plafond met diffuse stroming

N.B. Uitgaande van ISSO 51 [3], die meer rekening houdt met moderne woningen met een goede kierdichting, goede isolatie met HR⁺⁺-glas en lage temperatuurverwarming, zijn lagere specifieke warmte-behoefte haalbaar, in de orde van 60-70 W/m^2 . Deze rekenmethode wordt in deze module nog niet behandeld.

Voorbeeld 2, warmtebehoefte mechanisch geventileerd kantoorvertrek

Dit voorbeeld betreft een op het westen liggend tussenvertrek op de bovenste laag van een mechanisch geventileerd kantoorgebouw te Wieringen, zie figuur 3.



figuur 3 voorbeeld 2, kantoorvertrek

Verdere gegevens

bruto hoogte (vloer tot vloer)	: 3,3 m
netto hoogte	: 2,7 m
gevel breedte	: 3,6 m
vertrekdiepte	: 5,4 m
glasoppervlakte (dubbel glas)	: 2,9 m ²
ontwerp-binnentemperatuur	: 22 °C
temperatuur aangrenzende ruimten:	
- noord + zuid (eigen kantoor)	: 22 °C
- oost (gang)	: 18 °C
- onder (buren, kantoor)	: 15 °C
infiltratie	: 0,0014 m ³ /m ² geveloppervlakte
U plafond (dak)	: 0,4 W/(m ² .K)
andere U-waarden	: zie voorbeeld 1.

Transmissieverlies

Raam	= U . A . (θ _i - θ _e) = 3,2 . 2,9 . 32	= 297 W
borstwering	= 0,4 . (3,3 . 3,6 - 2,9) . 32	= 115
vloer	= 1,2 . 3,6 . 5,4 . 7	= 163
plafond	= 0,4 . 3,6 . 5,4 . 32	= 249
wand gang	= 2,0 . 3,3 . 3,6 . 4	= <u>95</u>
	Φ_{tr}	= 919 W

Warmteverlies door infiltratie

$$\Phi_v = q_{vi} \cdot A_g \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,0014 \cdot 3,3 \cdot 3,6 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 32 = 639 \text{ W}$$

Warmteverlies door opwarmen:

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 = 3,6 \cdot 5,4 \cdot 20 = 389 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is hierdoor:

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} = 919 + 639 + 389 = \mathbf{1947\ W}$$

En de specifieke warmtebehoefte:

$$\Phi_{w,sp} = \Phi_w / A_{vl} = 1947 / (3,6 \cdot 5,4) = \mathbf{100\ W/m^2}$$

Stysteemkeuze

Volgens tabel 5 is verwarming met radiatoren of convectoren - wat betreft het vermogen - een verantwoorde keuze. Luchtverwarming kan ook en heeft als voordeel de combinatie met mechanische ventilatie. In dat geval moet de luchttoevoer worden afgestemd op het verwarmingsvermogen en de wijze van luchttoevoer. Vloer- en plafondverwarming komen niet in aanmerking als hoofdverwarming.

Bij hoge toevoer, bij voorbeeld via roosters in het plafond, mag het temperatuurverschil ($\Delta\theta$) niet meer zijn dan 20 °C zodat:

$$q_{v,plaf} = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 1947 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 20) = 0,081\ m^3/s = 292\ m^3/h$$

Bij lage luchttoevoer via vloerroosters is een temperatuurverschil mogelijk van 40 °C:

$$q_{v,vloer} = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 1947 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 40) = 0,04\ m^3/s = 146\ m^3/h$$

Ter controle: deze luchthoeveelheid is bij benadering voldoende voor drie personen zodat via luchtverwarming voldoende luchtverversing kan plaatsvinden.

Vaak past men in mechanisch geventileerde gebouwen radiatoren toe als basisverwarming. Buiten gebruikstijd is dan geen ventilatie nodig. Vanwege de compensatie van koudestraling en het opvangen van koudeval heeft de combinatie met radiatoren - mits die onder de ramen zijn geplaatst - zelfs de voorkeur.

Invloed percentage en type glas

Om de invloed op de warmtebehoefte na te gaan van andere glaspercentages en andere beglazing, zijn voor het kantoorvertrek uit dit voorbeeld eveneens berekeningen gemaakt met 60 en 90% glas en met HR-glas. Dit leidt tot de volgende resultaten.

glaspercentage --->	dubbel glas U = 3,2 W/(m ² .K)			HR-glas U = 1,8 W/(m ² .K)			90
	30	60		90	30	60	
$\Phi_{tr,raam}$	297	594	891	167	334	501	W
$\Phi_{tr,borstwering}$	115	78	41	115	78	41	
$\Phi_{tr,vloer}$	163	163	163	163	163	163	
$\Phi_{tr,plafond}$	249	249	249	249	249	249	
$\Phi_{tr,gang}$	95	95	95	95	95	95	
$\Phi_{ventilatie}$	639	639	639	639	639	639	
$\Phi_{opwarmen}$	389	389	389	389	389	389	
Φ_w	1947	2207	2467	1817	1947	2077	W
$\Phi_{w,sp}$	100	114	127	93	100	107	W/m ²

Systeemkeuze

Uit dit overzicht blijkt dat verdubbeling van het glaspercentage resulteert in 14% meer warmtebehoefte en dat HR-glas deze toename volledig kan compenseren. Verder blijkt dat bij toepassing van 30% HR-glas vloerverwarming als hoofdverwarming tot de mogelijkheden behoort.

Voorbeeld 3, warmtebehoefte natuurlijk geventileerd kantoorvertrek

De gegevens zijn gelijk aan die van voorbeeld 2, behoudens de ventilatie, die op natuurlijke wijze via ramen plaatsvindt en voldoende moet zijn voor 2 personen: $2 \cdot 0,014 = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}$ (= $100 \text{ m}^3/\text{h}$).

Transmissieverlies en warmteverlies door opwarming:
gelijk aan voorbeeld 2: $\Phi_{\text{tr}} + \Phi_{\text{opw}} = 919 + 389 = 1308 \text{ W}$

Warmteverlies door natuurlijke ventilatie:

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,028 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 32 = 1075 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte (Φ_w) is daardoor:

$$\Phi_w = 919 + 389 + 1075 = \mathbf{2383 \text{ W}}$$

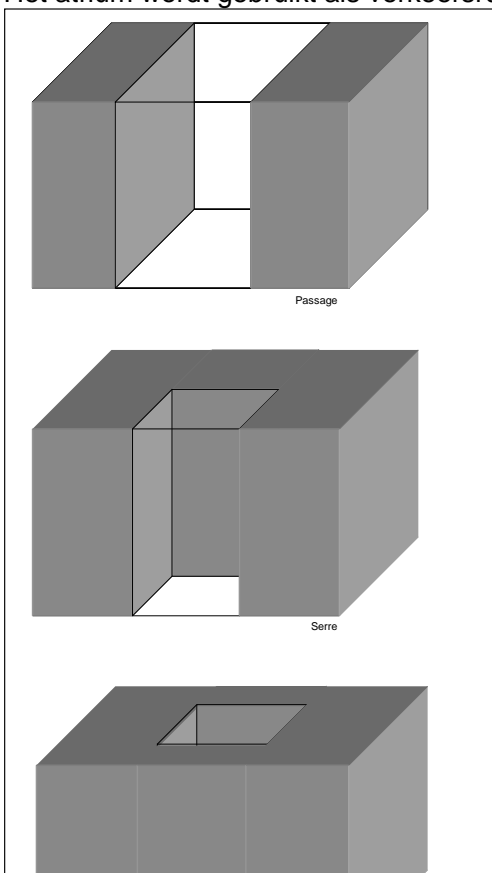
En de specifieke warmtebehoefte:

$$\Phi_{w,\text{sp}} = \Phi_w / A_{\text{vl}} = 2383 / (3,6 \times 5,4) = \mathbf{123 \text{ W/m}^2}$$

Systeemkeuze Volgens tabel 5 is verwarming met radiatoren of convectoren, wat betreft het vermogen, een verantwoorde keuze. Dat geldt ook voor luchtverwarming. Vloer- en plafondverwarming komen niet in aanmerking als hoofdverwarming.

Voorbeeld 4, warmtebehoefte atrium

Het atrium wordt gebruikt als verkeersruimte/wachtruimte in een raadhuis, zie figuur 4.



figuur 4 voorbeeld 4, atrium

Het atriumdak is 90% transparant. De niet-transparante delen bestaan uit profielen met koudebrug-isolatie. In eerste instantie wordt voor de berekening enkel glas genomen. De berekening wordt herhaald met dubbel glas en extra isolerend HR⁺ glas.

Verdere gegevens

afmetingen atrium	lengte x breedte x hoogte = 20 x 10 x 20 m
bezetting	30 personen
ventilatie	50 m ³ /h per persoon
ontwerp-binnentemperatuur	18 °C atrium 20 °C aangrenzende ruimten 0 °C kruipruimte
ontwerp-buitentemperatuur	-10 °C
infiltratie	0,5-voud (geschat)

Warmtedoorgangscoefficienten

enkel glas	6,0 W/(m ² .K)
dubbel glas	3,2
HR ⁺ glas	1,5
profielen	1,0
vloer	0,5
wand (gemiddeld)	3,0

Transmissieverlies:

glas = U . A . (θ _i - θ _e)	= 6,0 . 0,9 . 200 . 28	= 30240 W
profielen	= 1,0 . 0,1 . 200 . 28	= 560
vloer	= 0,5 . 200 . 18	= 1800
wanden	= 3,0 . (2.20.10+2.20.20) . (-2)	= <u>-7200</u>
		Φ _{tr} = 25400 W

Infiltratie

$$q_v = n \cdot V / 3600 = 0,5 \cdot 4000 / 3600 = 0,56 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ventilatie (30 personen à 50 m³/h)

$$q_v = 30 \cdot 50 / 3600 = 1500 / 3600 = 0,42 \text{ m}^3/\text{s},$$

Infiltratie is hier maatgevend met als warmteverlies

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,56 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 28 = 18816 \text{ W}$$

Warmteverlies door opwarmen

$$\Phi_{\text{opw}} = A_{\text{vl}} \cdot 20 = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is daardoor

$$\Phi_{\text{w}} = \Phi_{\text{tr}} + \Phi_{\text{v}} + \Phi_{\text{opw}} = 25400 + 18816 + 4000 = \mathbf{48216 \text{ W}}$$

En de specifieke warmtebehoefte

$$\Phi_{\text{w,sp}} = \Phi_{\text{w}} / A_{\text{vl}} = 48216 / 200 = \mathbf{241 \text{ W/m}^2}$$

Systeemkeuze

De energieprestatie-eisen uit het Bouwbesluit sluiten verwarming van een thermisch zo slecht geïsoleerd atrium als in dit voorbeeld uit. Dat neemt niet weg dat verwarming technisch wel mogelijk is, bij voorbeeld met hoog geplaatste stralingspanelen of met een combinatie van stralingspanelen en radiatoren of convectoren. Luchtverwarming kan ook. Met de volgende berekeningen wordt de vraag beantwoord of met deze systemen voldoende verwarmingsvermogen is te realiseren.

Stralingspanelen die met water van 90 °C worden gevoed hebben een vermogen van ca. 700 W/m², zodat 48216 / 700 = 69 m² aan panelen nodig is. Een groot deel van het transparante dak (200 m²) zou hierdoor worden bedekt, hetgeen een niet erg reële oplossing lijkt.

Luchtverwarming is mogelijk met hoge invoer, bij voorbeeld met nozzles, en een naar beneden gerichte luchtstroom. Het temperatuurverschil kan in dat geval maximaal 40 °C zijn. De lucht-hoeveelheid is dan:

$$q_{\text{v}, \Delta\theta=40^\circ\text{C}} = \Phi_{\text{w}} / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 48216 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 40) = 1,0 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (3600 m}^3/\text{h)}$$

Dit komt neer op een ventilatievoud van:

$$n_{\Delta\theta=40^\circ\text{C}} = q_{\text{v}} / V = 3600 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 0,9 \text{ h}^{-1} \text{ (reële optie, afgezien van het Bouwbesluit)}$$

Invloed dubbel glas en HR⁺ glas

Het transmissieverlies via een atriumdak dat is voorzien van dubbel glas bedraagt:

$$U \cdot A \cdot (\theta_{\text{i}} - \theta_{\text{e}}) = 3,2 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 28 = 16128 \text{ W}$$

Bij toepassing van HR⁺ glas is dit:

$$U \cdot A \cdot (\theta_{\text{i}} - \theta_{\text{e}}) = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 28 = 7560 \text{ W}$$

De overige warmteverliesposten blijven gelijk. Dit resulteert in het volgende overzicht:

	<i>enkel glas</i>	<i>dubbel glas</i>	<i>HR⁺ glas</i>
U-waarde glas	6,0	3,2	1,5 W/(m ² K)
totale warmtebehoefte atrium Φ_{w}	48216	34104	25536 W
specifieke warmtebehoefte $\Phi_{\text{w,sp}}$	241	170	128 W/m ²
oppervlakte panelen bij stralingsverwarming		69	49 36 m ²
luchthoeveelheid bij luchtverwarming	1,0	0,7	0,5 m ³ /s
ventilatievoud bij luchtverwarming	0,9	0,6	0,5 h ⁻¹

Systeemkeuze

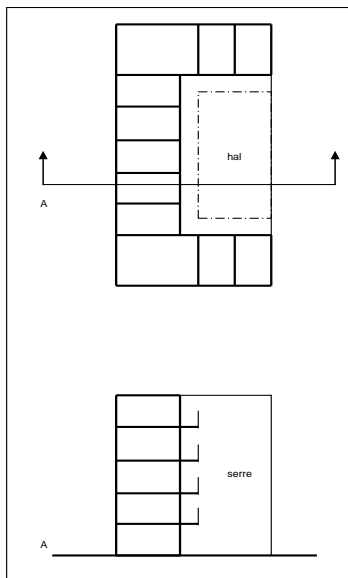
Bij toepassing van HR⁺ glas is stralingsverwarming een reële optie.

Bij luchtverwarming moet het ventilatievoud minimaal 2 h^{-1} zijn om grote temperatuurgradiënten te voorkomen. Hierdoor moet in alle gevallen de warme lucht met een geringer temperatuurverschil worden toegevoerd dan de in de berekeningen aangenomen waarde van

$40 \text{ }^\circ\text{C}$. Gecontroleerd moet worden of de warme naar beneden gericht luchtstroom ook daadwerkelijk de leefzone van het atrium bereikt, omdat als de toegevoerde lucht warmer is dan de omgeving deze al gauw naar boven afbuigt (schoorsteeneffect).

Voorbeeld 5, warmtebehoefte serre

De serre vormt de entree van een kantoorgebouw in Alkmaar waarin zich een afgeschermd informatiebalie en een zitje voor wachtende bezoekers bevindt, zie figuur 5.



figuur 5 voorbeeld 5, serre

Het serredak is 90% transparant. De gesloten delen van het dak bestaan uit profielen met koudebrugisolatie. De serre heeft een volledig transparante "structural glazing" gevel. In eerste instantie wordt een berekening gemaakt voor enkel glas. De berekening wordt herhaald voor extra isolerend HR⁺⁺ glas.

Verdere gegevens

afmetingen serre	lengte x breedte x hoogte = 20 x 10 x 20 m
bezetting	30 personen
ventilatie	50 m ³ /h per persoon
binnentemperatuur	15 °C (aangrenzende ruimte 20 °C, kruipruimte 0 °C)
buitentemperatuur	-10 °C

Warmtedoorgangscoefficienten

enkel glas	6,0 W/(m ² .K)
HR ⁺⁺ glas	1,3
profielen	1,0
vloer	0,5
binnengevel (gemiddeld)	3,0

Transmissieverlies

$$\begin{aligned}
 \text{dak glas} &= U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e) = 6,0 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 25 &= 27000 \text{ W} \\
 \text{dak profielen} & &= 1,0 \cdot 0,1 \cdot 200 \cdot 25 &= 500 \\
 \text{serregevel} &= 6,0 \cdot 400 \cdot 25 &= 60000 \\
 \text{vloer} &= 0,5 \cdot 200 \cdot 15 &= 1500 \\
 \text{binnengevel} &= 3,0 \cdot (2 \cdot 20 \cdot 10 + 20 \cdot 20) \cdot (-5) &= \underline{-12000} \\
 & & \Phi_{tr} = & 77000 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Warmteverlies door natuurlijke ventilatie

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 30 \cdot 50 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 25 / 3600 = 12500 \text{ W}$$

Warmteverlies door infiltratie

$$\Phi_v = q_{vi} \cdot A_g \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,0014 \cdot 400 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 25 = 16800 \text{ W (maatgevend)}$$

Warmteverlies door opwarmen

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is daardoor

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} = 77000 + 16800 + 4000 = \mathbf{97800 \text{ W}}$$

En de specifieke warmtebehoefte

$$\Phi_{w,sp} = \Phi_w / A_{vl} = 97800 / 200 = \mathbf{489 \text{ W/m}^2}$$

Systeemkeuze

Hoewel de energieprestatie-eisen uit het Bouwbesluit verwarming van een thermisch zo slecht geïsoleerde serre uitsluiten is het technisch wel mogelijk, bij voorbeeld met hoog geplaatste stralingspanelen, eventueel in combinatie met radiatoren of convectoren. Luchtverwarming kan ook.

Stralingspanelen die met water van 90 °C worden gevoed hebben een vermogen van 700 W/m², zodat bij stralingsverwarming 97800 / 700 = 140 m² aan panelen nodig is waardoor het transparante dak grotendeels wordt afgedekt. Stralingsverwarming is daardoor geen reële oplossing.

Luchtverwarming kan door warme lucht, bij voorbeeld met nozzles, hoog in de ruimte met een naar beneden gerichte luchtstroom toe te voeren. Het temperatuurverschil kan in dat geval maximaal 40 °C zijn, de hoeveelheid toe te voeren lucht is dan:

$$q_v, \Delta t=40^\circ\text{C} = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 97800 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 40) = 2,0 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (7200 m}^3/\text{h)}$$

Dit komt neer op een ventilatievoud van:

$$n_{\Delta t=40^\circ\text{C}} = q_v / V = 7200 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 1,8 \text{ h}^{-1}$$

Om grote temperatuurgradiënten te voorkomen is het beter om ten minste een 2-voudige luchthoeveelheid toe te voeren (temperatuurverschil is dan iets lager dan 40 °C). Om deze lucht-hoeveelheid (2.4000 = 8000 m³/h) te kunnen toevoeren is volgens tabel 6 en 7 een luchtkanaal nodig met een diameter van 630 mm of een rechthoekige doorsnede van 300/1200 mm.

Tabel 6 Luchtkanalen, afmetingen, debiet en koelvermogen

lucht- verplaatsing (debiet)		diameter hoofd- aansluit- kanaal kanaal		te ventileren vloeroppervlakte								koelvermogen		
				bij h = 2,7 m				bij h = 3,0 m				bij $\Delta\theta$ van		
				ventilatievoud				ventilatievoud				8°C	10°C	12°C
m ³ /s	m ³ /h	mm	mm	3	4	5	6	3	4	5	6	kW	kW	kW
0,05	170	100	125	21	16	14	11	19	14	11	9	0,45	0,56	0,68
0,07	260	125	160	33	25	20	16	29	22	18	15	0,70	0,88	1,06
0,12	430	160	200	54	40	32	27	48	36	29	24	1,15	1,44	1,73
0,19	680	200	250	84	63	50	42	75	57	45	38	1,8	2,3	2,7
0,29	1060	250	315	130	100	80	65	118	88	71	59	2,8	3,5	4,2
0,55	1960	315	400	240	180	145	120	217	163	130	109	5,3	6,6	7,9
0,88	3200	400	500	400	300	230	200	350	260	210	180	7,7	9,6	12
1,37	4900	500	630	600	460	370	300	550	410	330	270	13	17	20
2,65	9500	630	1000	1150	880	700	590	1060	800	640	530	25	32	38
5,00	18000	800	1250	2200	1670	1300	1100	2000	1500	1200	1000	48	60	72
7,90	28000	1000	1600	3500	2600	2100	1750	3100	2400	1900	1600	75	94	113
12,30	44000	1250	2000	5400	4100	3300	2700	4900	3700	2900	2500	118	147	177
23,10	83000	1600	2500	10200	7700	6200	5100	9200	6900	5500	4600	222	278	333

tabel 7 rechthoekige luchtkanalen met gelijke hydraulisch equivalente diameter

rond kanaal	rechthoekig kanaal				
mm	hoogte x breedte in mm				
100	70 x 170 *)				
125	80 x 170 *)				
160	150 x 150	125 x 175	100 x 200		
200	200 x 200	150 x 250	125 x 300	100 x 400	
250	250 x 250	200 x 300	175 x 350	150 x 400	125 x 500
315	300 x 300	250 x 350	200 x 400	175 x 500	150 x 600
400	400 x 400	250 x 500	200 x 800		
500	500 x 500	350 x 700	300 x 800	250 x 1000	
630	600 x 600	500 x 700	400 x 800	350 x 1000	300 x 1200
800	800 x 800	500 x 1000	400 x 1600		
1000	1000 x 1000	700 x 1400	500 x 2000		
1250	1200 x 1200	800 x 1600	600 x 2400		
1600	1600 x 1600	1200 x 2400	800 x 3200		

*) bedoeld voor opname in vloeren (o.a. woningen), anders rond kanaal gebruiken

Invloed extra isolerend glas op systeemkeuze

Worden dak en gevel uitgevoerd in extra isolerend HR⁺⁺ glas dan volgen hieruit de volgende verschillen.

	enkel glas	HR⁺⁺ glas
U-waarde glas	6,0	1,3 W/(m ² K)
totale warmtebehoefte serre Φ_w	97800	8850 W
specifieke warmtebehoefte $\Phi_{w,sp}$	489	44 W/m ²
oppervlakte stralingspanelen	140	13 m ²
luchthoeveelheid bij luchtverwarming	2,0	0,18 m ³ /s
ventilatievoud bij luchtverwarming	1,8 --> 2,0	0,17 --> 2,0 h ⁻¹
diameter kanaal bij luchtverwarming	630	630 mm

Hieruit blijkt dat bij toepassing van HR⁺⁺ glas slechts 6,5% van het dak wordt afgedekt met stralingspanelen waardoor stralingsverwarming een aantrekkelijke optie is. Met luchtverwarming verandert er, afgezien van het energiegebruik, niets omdat - ter voorkoming van grote temperatuurgradiënten - er een gelijke hoeveelheid lucht moet worden verplaatst (2-voud). Daardoor ook zal de installatie bij HR⁺⁺ glas net zo groot zijn als bij enkel glas.

3 Bijlagen

3.1 Samenvatting vergelijkingen warmtebehoefteberekening

Globale warmtebehoefte

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} \quad (W) \quad (1)$$

Transmissieverlies

$$\Phi_{tr} = \Sigma \cdot U \cdot A_e \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (2)$$

waarin

U = warmtedoorgangscoefficiënt in $W/(m^2.K)$

A_e = oppervlakte (buitenwerks) in m^2

θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> tabel 2

θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> $-10^{\circ}C$

Warmteverlies t.g.v. natuurlijke ventilatie of infiltratie

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (3)$$

waarin

q_v = luchtvolumestroom in m^3/s

ρ = dichtheid van de lucht $\approx 1,2 \text{ kg}/m^3$

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

θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> tabel 2

θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> $-10^{\circ}C$

Voor *woningen* geldt

$$q_v = c_0 \cdot n \cdot V / 3600 \quad (m^3/s) \quad (4)$$

waarin

c_0 = omgevingsfactor ($c_0 = 1,5$ vrij gelegen laagbouw, anders $c_0 = 1$)

n = ventilatievoud in h^{-1} -----> tabel 4

V = netto-volume van de ruimte in m^3

Voor *natuurlijk geventileerde utiliteitsgebouwen* geldt:

$q_v =$ aantal personen $\times 0,014 \text{ (m}^3/s)$, of

$q_v = 0,014 \cdot A_{vl} / 10 \text{ (m}^3/s)$ als aantal personen onbekend is (5a)

waarin:

A_{vl} = vloeroppervlakte van de ruimte in m^2

Voor *utiliteitsgebouwen met mechanische luchttoevoer* geldt:

$$q_v = q_{vi} \cdot A_g \quad (m^3/s) \quad (5)$$

waarin

q_{vi} = volumestroom infiltratielucht in $m^3/(s.m^2)$

= $0,0009 \text{ m}^3/(s.m^2)$ voor het binnenland (zie figuur 1)

$0,0014 \text{ m}^3/(s.m^2)$ voor het kustgebied

0,0021 m³/(s.m²) voor Den Helder e.o.
 A_g = geveleppervlakte in m²

Warmte voor opwarmen na nacht of weekend

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 \quad (W) \quad (6)$$

waarin

A_{vl} = vloeroppervlakte van de ruimte in m²

3.2 Invulformulier globale warmtebehoefteberekening

	U	A	$\theta_i - \theta_e$	
ramen				
borstwering				
dak				
vloer				
zijwand				
zijwand				
zijwand				

	A_{vloer}		
opwarmen		20	

	q_v	$\rho \cdot c$	$\theta_i - \theta_e$	
infiltratie ¹⁾				
ventilatie ¹⁾				

totale Warmtebehoefte Φ_w	
--	--

- 1) A. bij natuurlijke ventilatie hoogste waarde luchttoevoer in rekening brengen
- B. bij mechanische luchttoevoer altijd met infiltratie rekenen
- C. indien er warmterugwinning is of als de lucht wordt voorverwarmd kan het temperatuurverschil tussen binnen en buiten voor ventilatie worden verkleind als op ruimteniveau het warmteverlies word bepaald: dit is het verschil tussen de toevoer- en ruimtetemperatuur

Kengetallen

$$\text{specifieke warmtebehoefte } \Phi_{w,sp} = \frac{\Phi_w}{A_{vloer}} = \text{----- } W/m^2$$

Bij luchtverwarming

$$\text{hoeveelheid warme lucht } q_{v,verw} = \frac{\Phi_w}{\rho \cdot c \cdot \Delta\theta^2)} = \text{----- } m^3/s$$

1200 .

$$\text{circulatievoud } n = \frac{q_{v,verw} \cdot 3600}{V} = \text{----- } h^{-1}$$

. 3600

$$^2) \Delta\theta = \theta_{toevoer} - \theta_{ruimte}$$

4 Literatuur

1. NNI (Nederlands Normalisatie Instituut). Nederlandse norm NEN 5066. Warmteverliesberekening voor gebouwen - Berekening van het benodigde vermogen voor het verwarmen van een ruimte. Delft, 1992.
2. CEN (European Committee for Standardization). European Standard prEN 12831, Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. Brussels, februari 2002.
3. ISSO. ISSO 51. Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen. 2003.