

# Energie-efficiënt verwarmen en ventileren van bedrijfsruimten

*Hoewel in een industriële omgeving de kosten voor verwarmen en ventileren van het gebouw veelal slechts een deel van de totale energiekosten zijn, kan het reduceren van het energiegebruik voor verwarmen en ventileren van de ruimte toch een aanzienlijke besparing opleveren. Daarnaast kan het ook zo zijn dat via de meerjarenafspraken een reductie van het energiegebruik is overeengekomen.*

*-door ir. A.M. van Weele\**

Het doelmatig met energie omgaan kan ook een filosofie van het bedrijf zijn en/of bij de uitstraling van het bedrijf passen. Bij een modern hi-tech bedrijf hoort ook een moderne energiezuinige installatie. Geschikte momenten om bij energiegebruik stil te staan zijn momenten waarop er wijzigingen aan de installatie en/of het gebouw worden doorgevoerd. Denk hierbij aan situaties als bijvoorbeeld nieuwbouw of verbouw/uitbreiding van de bestaande installatie. Bij installatievervanging zou men niet zomaar de installatie moeten vervangen door een nieuwer type van dezelfde installatie, maar zou moeten worden overwogen of een ander type verwarming beter aansluit bij het gebruik van de ruimte en energie-efficiënter zou zijn. Mogelijk kan met behulp van subsidies een oude (verouderde) installatie vroegtijdig worden vervangen. Aan de orde komen de diverse warmteverliesposten en hoe deze posten zijn te voorkomen of te beperken. Er is gebruik gemaakt van ervaringen van de praktijkmetingen die samen met Gasunie zijn uitgevoerd. Foto's zijn beschikbaar gesteld door Gasunie.

## GRATIS WARMTE

In een aantal gevallen is het zo dat

'gratis' warmte kan worden gebruikt. Onder 'gratis' warmte wordt verstaan restwarmte of afvalwarmte van processen of koelwater van motoren/machines. Deze restwarmte/afvalwarmte moet dan wel in voldoende mate aanwezig zijn. Afhankelijk van het temperatuurniveau van het beschikbare water (verwarmd met restwarmte/afvalwarmte of koelwater) kan dit worden gebruikt voor vloerverwarming (vanaf ca. 25°C) of voor luchtverwarming (vanaf ca. 45°C) of voor voorverwarming van ventilatielucht (vanaf 20°C). Zelfs wanneer slechts een deel van de warmtebehoefte met deze 'gratis' warmte kan worden gedekt, is dat zeker het overwegen waard.

## BELANGRIJKE VERLIESPOSTEN

De belangrijkste verliesposten zijn:

- transmissieverlies;
- warmteverlies door buitenluchttoetreding;
- warmteverlies door invoer of doorvoer van materiaal met lage temperaturen;
- warmteverlies door koude oppervlakken of producten.

De eerste twee posten worden in dit artikel behandeld. De laatste twee worden vooral door het proces bepaald en in het algemeen minder door de in-

stallatie beïnvloed. Deze posten dienen echter wel te worden beschouwd bij het opstellen van een warmteverliesberekening van de ruimte.

## Transmissieverlies

Het transmissiewarmteverlies is afhankelijk van de volgende invloeden:

- gemiddelde ruimtetemperatuur;
- invloeden van aanstralen en/of aanblazen van wanden;
- aanwezigheid van koudebruggen en/of isolatiedefecten;
- vlakken met een hogere temperatuur.

In het algemeen is de gemiddelde temperatuur in een ruimte niet gelijk aan de ontwerp-binnentemperatuur. Door de verticale temperatuurgradiënt is de temperatuur onder het plafond/dak veel hoger. De optredende verticale temperatuurgradiënt is afhankelijk van het verwarmingssysteem (zie tabel 1). Een eenvoudig voorbeeld toont aan dat bij een ontwerp-binnentemperatuur van 15°C en een verticale temperatuurgradiënt van 1 K/m, bij een hal van 8m hoogte, de gemiddelde temperatuur in de ruimte 19°C is. Indien de verticale temperatuurgradiënt tot 0,5 K/m kan worden beperkt, wordt de gemiddelde ruimtetemperatuur 17°C. Voor deze ruimte komt dit, bij een buitentemperatuur van 5°C, neer op een energiebesparing van 100% - 12/14 x 100% ≈ 14%.

Bij stralingsverwarming, kunnen ook horizontale temperatuurgradiënten optreden. Horizontale temperatuurgradiënten treden niet alleen op tussen de stralers, maar ook bij zwarte-buisstralers treedt in de lengte van de stralers een temperatuurgradiënt op,

\* Projectcoördinator bij ISSO

Verwarmingssysteem	verticale temperatuurgradiënt [K/m]
Stralingsverwarming:	
infrarood open stralers	0,9
indirect gestookte stralingspanelen	0,5
zwarte buisstralers	0,3
Luchtverwarming <sup>1)</sup>	
HT <sup>**)</sup> zonder ondersteuningsventilatoren	1,3
LT <sup>***)</sup> zonder ondersteuningsventilatoren	1,1
met hoog circulatievoud (>10)	0,2
Vloerverwarming	0

<sup>1)</sup> De gegeven waarden zijn bepaald voor systemen waarbij de circulatie alleen door de ventilatoren in de luchtverwarmers wordt gerealiseerd (circulatievoud ca. 1,1).  
<sup>\*\*)</sup> HT-luchtverwarming wil zeggen dat de uitblaas temperatuur meer dan 30 K boven de ruimtetemperatuur ligt.  
<sup>\*\*\*)</sup> LT-luchtverwarming wil zeggen dat de uitblaas temperatuur minder dan 30 K boven de ruimtetemperatuur ligt.

Verticale temperatuurgradiënten voor verschillende systemen

-TABEL 1-

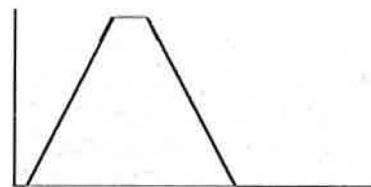
omdat met de toenemende lengte van de stralers de temperatuur in de buis daalt. Hierbij moet worden opgemerkt dat een horizontale temperatuur gradiënt niet altijd nadelig hoeft te zijn voor het comfort. Denk hierbij aan verkeerszones waar de temperatuur lager mag zijn dan in de werkzones.

Door (delen van) oppervlakken met een hogere temperatuur, ontstaan extra transmissieverliezen. De hogere temperatuur ontstaat door het aanstralen van die vlakken (zie figuur 1). Hierbij moet worden gelet op alle reflecties van de stralers. Er wordt een groter gebied aangestraald dan in eerste instantie wordt verwacht op grond van de vorm van de straler (zie figuur 2). Dit is echter een effect dat met het toepassen van deze reflectoren wordt beoogd.

Dat aanstraling van vlakken ook werkelijk optreedt, is goed te zien met behulp van infrarood-opnamen. Met infrarood-opnamen is het mogelijk de oppervlaktetemperatuur van vlakken te bepalen. Figuur 3 toont een opname van een wand waartegen, schuin opgehangen, open stralers zijn geplaatst. De stralers zijn met zwarte pijlen weergegeven. Een rode, gele of witte kleur symboliseert een hogere temperatuur dan de koudere blauwe, paarse of groene vlakken. Figuur 4 toont de

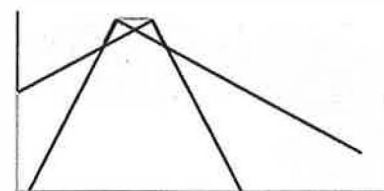
aanstraling van een wand in een ruimte met zwartebuisstralers. In deze figuur is duidelijk te zien dat een groot deel van de wand een hogere temperatuur heeft dan de ruimtetemperatuur van 18°C. In deze figuur is ook te zien dat bij de aansluiting van de dak op de wand, koude lucht infiltreert.

Het effect van het opwarmen van delen van wanden en/of de vloer treedt niet alleen op bij stralingsverwarming. Ook bij luchtverwarming treedt door het aanblazen van delen van wanden en het dak een duidelijk temperatuurverhoging op van die betreffende plaatsen (zie figuur 5). De ruimtetemperatuur in de beschouwde ruimte is 20,5°C. Isolatie-defecten leiden tot extra warmteverliezen. In het algemeen zijn isolatie-defecten alleen aan te tonen met infrarood-opnamen. Het is niet altijd mogelijk isolatie-defecten eenvoudig te verhelpen. Figuur 6 toont een infrarood-opname van de buitenzijde van een gebouw waarop in de overstek een isolatie-defect (rode vlak) waarneembaar is. In deze opname is ook te zien dat de stalen kolommen koudebruggen vormen. Ook de aansluiting van de wanden op de vloer vormen een koudebrug. Op de infrarood-opnamen van de buitenzijde van het gebouw zijn de koudebruggen te herkennen aan hogere temperaturen (geel en rood).



Aanstraling van een vlak zonder rekening te houden met de reflectoren (niet correct)

-FIGUUR 1-



Werkelijke aanstraling van vlakken

-FIGUUR 2-

### Warmteverlies door buitenluchttoetreding

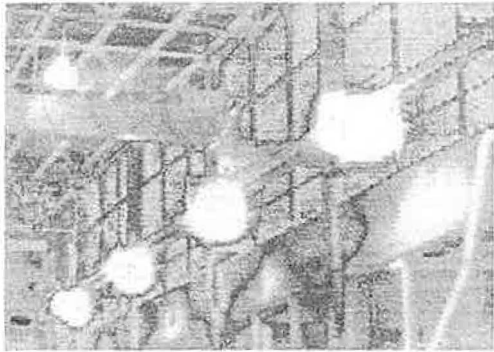
Warmteverlies door buitenluchttoetreding is onder te verdelen in twee verliesposten: infiltratieverliezen en ventilatieverliezen.

#### Infiltratieverliezen

Infiltratieverliezen treden altijd op en geven ongewenst warmteverlies. Plaatsen waar infiltratieverliezen optreden zijn de dak-wandaansluiting en rond te openen deuren. Op infrarood-opnamen van de buitenzijde van een gebouw is aan de warme plekken goed te zien waar warme lucht exfiltreert. De figuren 7 en 8 tonen de voor- en achterzijde van hetzelfde gebouw. De opnamen zijn gemaakt bij een buitentemperatuur van ongeveer -5°C. Figuur 7 toont de voorzijde van het gebouw. Hier is duidelijk te zien dat rond de laaddeur warme lucht het gebouw verlaat. Ook bij de dakaansluiting is duidelijk te zien dat langs de rand warme lucht exfiltreert. Figuur 8 toont de achterzijde van hetzelfde gebouw. Wat opvalt is dat de exfiltratie bij de dakaansluiting hier groter is. Ook is de oppervlakte temperatuur van de schuine kap aan de achterzijde hoger dan die aan de voorzijde. Hieruit kan worden afgeleid dat de wind (lage windsnelheid) op de voorzijde van het gebouw stond.

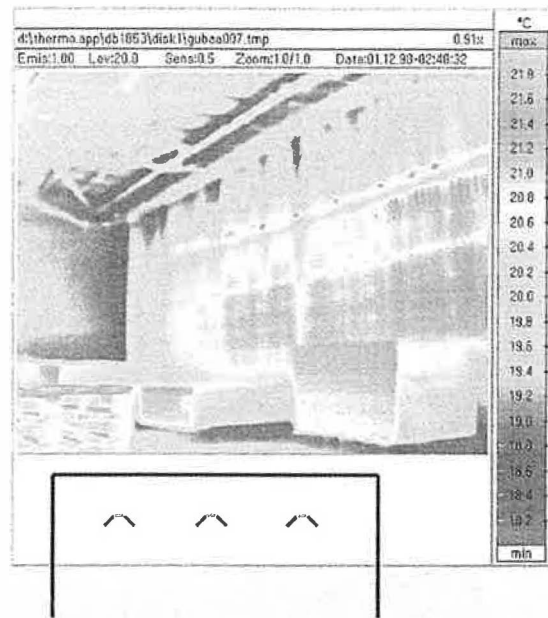
#### Ventilatieverliezen

Het warmteverlies door ventilatie is niet te voorkomen. Voor de personen in de ruimte en/of de processen is een bepaalde hoeveelheid buitenlucht noodzakelijk. Het warmteverlies door buitenluchttoetreding is geringer bij



Aanstraling van een wand met open infrarood stralers

-FIGUUR 3-



Aanstraling van een wand bij toepassing van zwartebuisstralers

-FIGUUR 4-

systemen waarbij de binnenluchttemperatuur lager is dan de comforttemperatuur. Dit effect treedt op bij stralingsverwarmingssystemen en vloerverwarming.

### BEPERKEN VAN DE ENERGIEVERLIEZEN BIJ VERWARMEN EN VENTILEREN

Voor het beperken van de warmteverliezen door transmissie en buitenluchttoetreding zijn er factoren die het gebouw, de installatie en het gebruik betreffen. Voor de duidelijkheid is een stappenplan opgesteld waarin de besparingsopties zijn ingedeeld.

#### Stappenplan

*Stap 0:* Maak, voor zover dat mogelijk is, gebruik van 'gratis' warmte.

#### *Stap 1: Bouwkundige maatregelen*

Bij het ontwerp van het gebouw dient voldoende aandacht te worden besteed aan de volgende onderwerpen, omdat die later vrijwel niet meer kunnen worden gecorrigeerd:

- het voorkomen van koudebruggen;
- het zorgen voor een goede kierdichting van de aansluiting van het dak en de wanden;
- extra goed isoleren van het dak kan een zinvolle optie zijn omdat, ten gevolge van de optredende verticale temperatuurgradiënt, onder het dak de hoogste temperatuur optreedt. Het aanbrengen van (extra) dakisolatie kan ook geschieden bij renovatie van het dak of de dakbedekking;

- bij het uitvoeren van de bouwwerkzaamheden moet erop worden gelet dat er geen isolatiedefecten ontstaan in de bouwkundige constructie. Isolatiemateriaal dat slecht of niet geplaatst wordt, is in een later stadium vrijwel niet meer te corrigeren;
- wanneer het niet is te voorkomen dat wanden/vloeren worden aangestraald of aangeblazen, dient te worden overwogen deze delen (extra) te isoleren.

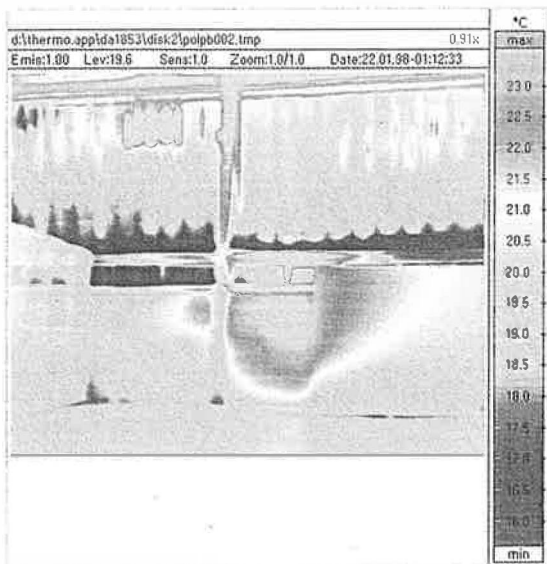
#### *Stap 2: Beperken van de transmissieverliezen*

De warmteverliezen door transmissie zijn te beperken door het verlagen van de gemiddelde ruimtetemperatuur door het verlagen van de verticale temperatuurgradiënt en door het beperken/voorkomen van aanstraling of aanblazen van constructiedelen.

Het beperken van de verticale temperatuurgradiënt bij luchtverwarmingssystemen kan worden gerealiseerd door het toepassen van ondersteuningsventilatoren (zie tabel 2) en LT-luchtverwarmers in de plaats van HT-luchtverwarmers.

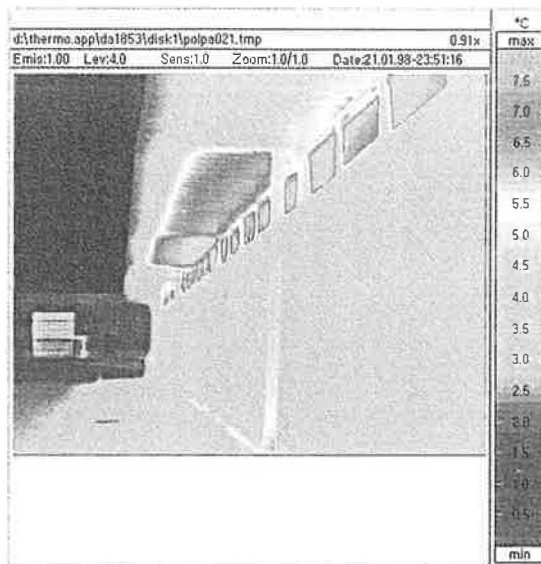
Door een betere menging van de binnenlucht wordt de gemiddelde ruimtetemperatuur lager en neemt ook het warmteverlies door buitenluchttoetreding af. Een nog onbesproken voordeel van een betere menging is dat de opwarmtijd veel korter wordt. In uitgevoerde metingen bleek de opwarmtijd met gebruik van ondersteuningsventilatoren 50% korter dan die zonder ondersteuningsventilatoren. Dit

komt doordat niet eerst een warme deken moet worden opgebouwd tot dat nagenoeg de gehele ruimte is gevuld met te warme lucht. In figuur 9 wordt een beeld gegeven van een bedrijfshal tijdens het opwarmen zonder ondersteuningsventilatoren. In deze situatie werd de inblaasluucht van rook voorzien en is duidelijk waar te nemen dat boven in de hal een warme deken ontstaat, terwijl er op de werkvloer nog niets gebeurt. Figuur 10 toont dezelfde bedrijfshal waarbij tijdens het opwarmen de ondersteuningsventilatoren waren in geschakeld. Hier is duidelijk te zien dat de menging veel beter is. Het beter mengen van de lucht in een bedrijfsruimte kan tot 25% energiebesparing opleveren. Dit betekent dat het aanbrengen van ondersteuningsventilatoren uitermate zinvol is. Deze zijn veelal binnen twee jaar terugverdiend. Dus ook wanneer men een bedrijfsruimte huurt, voorzien van luchtverwarming waarin geen ondersteuningsventilatoren zijn aangebracht, is het verstandig deze snel (te laten) aanbrengen. Deze toestellen zijn snel terugverdiend en bovendien zijn ze mee te nemen naar een eventueel volgend bedrijfspand. De verticale temperatuurgradiënt kan ook worden beperkt door een LT-luchtverwarmer te gebruiken ('lage' inblaas temperatuur). Extra transmissieverliezen door aanblazen van wanden kan worden voorkomen door het goed richten van de uitblaasschoepen. Ter plaatse van het punt waar de warme lucht na de worp



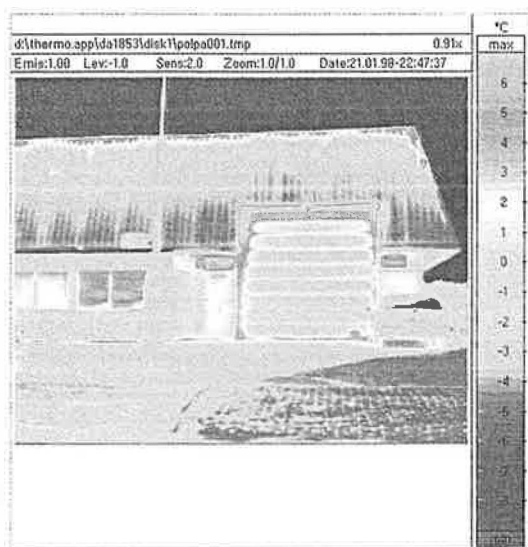
**Gedeelte van de wand met een hogere temperatuur door aanblazen**

-FIGUUR 5-



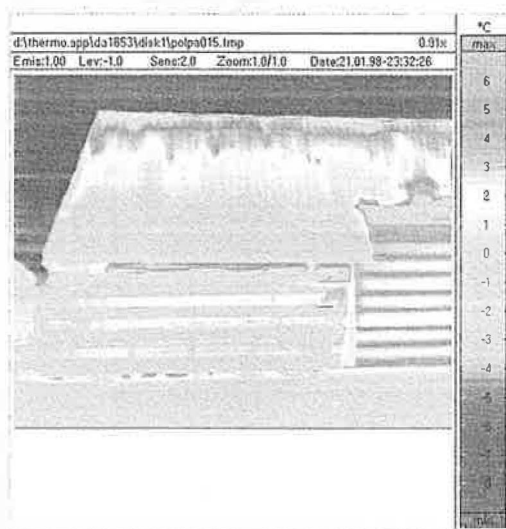
**Isolatie-defect in overkapping en koudebruggen**

-FIGUUR 6-



**Infrarood-opname van de voorzijde van het gebouw**

-FIGUUR 7-



**Infrarood-opname van de achterzijde van hetzelfde gebouw**

-FIGUUR 8-

opstijgt, kan aan het dak een hot-spot ontstaan. Deze is te voorkomen door op de goede plaats een ondersteuningsventilator te plaatsen, die de warme lucht weer naar beneden stuwt (zie figuur 11)

Aanstraling van wanden en vloer is te beperken door goed afstellen van de reflectoren. Aanstraling van het dak is te beperken door het aanbrengen van isolatie aan de bovenzijde van de stralers en de reflectoren. Zorg ook voor een lage emissiecoëfficiënt aan de bovenzijde van de stralers. Let erop dat door vervuiling aan de bovenzijde van de straler, de straling naar het dak sterk kan toenemen. Hierdoor kan zowel een grotere verticale temperatuurgraadient als een hot-spot ontstaan.

### Stap 3: Beperken van de ventilatieverliezen

Het beperken van de ventilatieverlie-

zen kan door een aantal zeer verschillende maatregelen worden gerealiseerd:

- pas niet meer ventilatie toe dan

Luchtverwarmingssysteem	verticale temperatuurgraadient [K/m]
HT***) zonder ondersteuningsventilatoren	1,3
LT****) zonder ondersteuningsventilatoren	1,1
HT***) met ondersteuningsventilatoren	0,8
LT****) met ondersteuningsventilatoren	0,7

\*\*) HT-luchtverwarming wil zeggen dat de uitblaastemperatuur meer dan 30 K boven de ruimtetemperatuur ligt.  
 \*\*\*) LT-luchtverwarming wil zeggen dat de uitblaastemperatuur minder dan 30 K boven de ruimtetemperatuur ligt

**Verticale temperatuurgraadienten**

-TABEL 2-



Opwarmen zonder gebruik van ondersteuningsventilatoren

-FIGUUR 9-



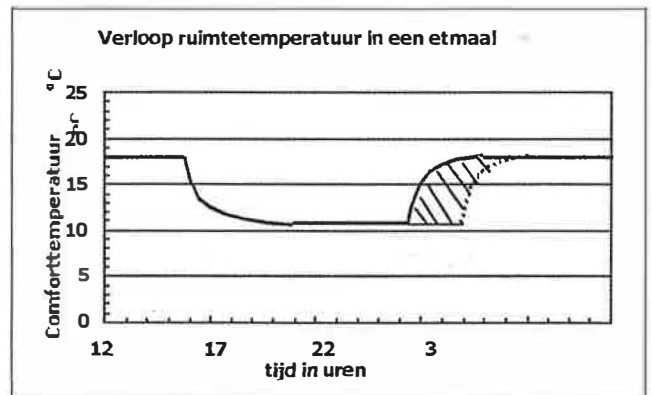
Opwarmen met gebruik van ondersteuningsventilatoren

-FIGUUR 10-



Afbuigen van de opstijgende warme lucht met ondersteuningsventilator ter voorkoming van hot-spot aan het dak.

-FIGUUR 11-



Schematisch verloop van de binnentemperatuur gedurende een etmaal

-FIGUUR 12-

- noodzakelijk is;
- ventilatie in de 'laagstand' buiten bedrijfstijd;
  - ventilatiedebiet regelen met behulp van sensoren;
  - lokaal afzuigen in plaats van verdunningsventilatie toe te passen;
  - gebruik snel sluitende deuren en/of luchtsluizen;
- pas warmteterugwinning toe indien dit mogelijk is;
  - beperk de gemiddelde temperatuur door de verticale temperatuurgradiënt laag te houden;
  - afzuigen van de ventilatielucht niet op de warmste plaats: dus niet door het dak maar bijvoorbeeld door de wand, of bij stralers onder de straler waar de verticale temperatuurgradiënt nog gering is.

#### Stap 4: Beperken van het aantal bedrijfsuren

Dit kan door de ruimte niet langer te verwarmen dan noodzakelijk is en door het toepassen van nachtverlaging/

bedrijfsbeperking, waarbij het opwarmen wordt geregeld met een optimaliserende regelaar. Figuur 12 toont het verloop van de temperatuur in een bedrijfsruimte waar bedrijfsbeperking wordt toegepast. De getrokken lijn geeft de situatie weer bij te vroeg opstarten (bijvoorbeeld met een klok geschakeld). De gestippelde lijn geeft het goede opstart tijdstip weer. Het gearceerde deel geeft de hoeveelheid energie aan die is te besparen bij optimaal opstarten. Het is echter zo dat het tijdstip van optimaal opstarten niet elke dag hetzelfde is. Het opstarttijdstip is afhankelijk van de buitentemperatuur en de mate van afkoeling van de ruimte. Dit vergt dus een goede optimaliserende regelaar.

#### Stap 5: Kies een warmteopwekker met een zo hoog mogelijk rendement

Naarmate het rendement van de warmteopwekker beter wordt, kan worden volstaan met een geringer opgesteld vermogen:  $Q_{\text{opstellcn}} = q_{\text{vraag}} / \eta$ .

Toestelrendementen in oplopende volgorde (op onderwaarde).

#### Luchtverwarmers

- conventionele opwekker (open toestel):  $\eta = 0,85 - 0,15 = 0,70$  (extra verlies door open trekonderbreker)
- conventionele opwekker (gesloten toestel)  $\eta = 0,85$
- VR-warmtebron  $\eta = 0,91$
- HR-warmteopwekker:  $\eta = 1,00$  (100%) bij vollast, 1,05 (105%) bij deellast

#### Stralingsverwarming

- zwartebuisstralers  $\eta = 0,88$
- openstraler  $\eta = 1,00$  (100% geen gebruik van condensatie)

Denk voor indirect gestookte systemen ook aan bijvoorbeeld WKK of warmtepompen. 