

Warmteopwekking, globaal overzicht

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Algemeen

Onderscheid kan worden gemaakt in de volgende warmteopwekkingsystemen:

Centraal systeem (grote schaal)

- stads- of wijkverwarming

Individuele opwekking (kleine schaal)

- gasketel
- warmte-krachteenheid
- warmtepomp + aquifer/anders (nieuwere ontwikkeling)
- overig: zonne-energie, brandstofcel

Wanneer naar verwarming gekeken wordt zal men eerst moeten beginnen op grote schaal, namelijk de stad of wijk. Stads- of wijkverwarming kan gebruik maken van de verschillende vormen van individuele opwekking. Vaak wordt bij stadsverwarming gebruik gemaakt van de warmte die vrijkomt bij opwekking van elektriciteit, veelal een STEG-centrale (in principe een grote warmte-krachteenheid). Als bij voorbeeld 50% van de energie in elektriciteit wordt omgezet kan de overige 50% voor een groot deel voor verwarming worden gebruikt.

Normaliter wordt gebruik gemaakt van gas als energiedrager, maar bij STEG-eenheden wordt bij voorbeeld ook steenkool en afval gebruikt. Olie wordt beperkt benut, maar neemt in belangstelling toe o.a. vanwege de komst van bio-olie. Steeds meer wordt elektriciteit gebruikt om warmte op te wekken, zoals bij elektrische warmtepompen, maar ook energieopslag in de bodem wordt toegepast.

Dit voornamelijk omdat fossiele brandstoffen de uitstoot van CO₂, NO_x en andere ongewenste gassen of deeltjes (fijn stof) met zich meebrengt. Met verwarming via duurzaam opgewekte energie, zoals elektriciteit via wind, water en zon of met waterstof kan dit worden voorkomen. Het gebruik van waterstof is vooralsnog erg kostbaar o.a. vanwege het grote ruimtegebruik bij opslag en ongunstige omzettingsrendement bij elektrolyse van water. Op lange termijn is evenwel een CO₂-neutrale energieopwekking mogelijk.

Bij de bespreking van verwarming wordt vooral uitgegaan van een verwarmingsketel als hoofdverwarming, omdat dit nog steeds de meest algemene vorm van verwarming is. Kort wordt ingegaan op nieuwe ontwikkelingen als middentemperatuur stadsverwarming en warmtepompen. Ook kleine verwarmingseenheden worden besproken.

2 Warmteopwekkingssystemen

2.1 Kleine verwarmingseenheden

Bij verwarming maken we onderscheid tussen **lokale** en **centrale** verwarming. Bij centrale verwarming kan **water** of **lucht** als transportmedium dienen. Ook is onderscheid naar de gebruikte brandstof of warmtebron mogelijk.

Lokale verwarming

Bij lokale verwarming bevindt zich in de te verwarmen ruimte een toestel waarin brandstof wordt verbrand of waarin een elektrisch element voor de productie van warmte zorgt. Lokale verwarming wordt op beperkte schaal in woningen en op vrij grote schaal in industriële gebouwen toegepast.

Woningen hebben lokale verwarming als het afgelegen (recreatie)woningen zijn of oudere woningen waarin aanleg van centrale verwarming te kostbaar of technisch niet mogelijk is. Gasgestookte kachels en soms elektrische radiatoren of luchtverwarmers zorgen voor de warmteproductie. Open haarden (met hout e.d. als brandstof) hebben een beperkt vermogen en dienen meestal als bij- of sfeerverwarming. Het gebruik van olie als brandstof neemt af vanwege de hoge milieu-eisen die aan de opslag worden gesteld. Als geen aardgas beschikbaar is past men vaak propaan of butaan toe. Deze gassen worden in vloeibare vorm in stalen gasflessen aangevoerd. Meestal plaatst men deze flessen buiten de woning in een geventileerde ruimte, waarin ze ook op de gasleiding worden aangesloten. Bij grotere installaties wordt het gas met tankwagens aangevoerd en in bovengrondse tanks opgeslagen. Vanwege brand- en explosiegevaar bevinden deze tanks zich meestal op enige afstand van de woning.

Industriële ruimten verwarmt men vaak lokaal met luchtverwarmers of infraroodstralers. Deze met aardgas, butaan of propaan gestookte toestellen worden meestal hoog in de ruimte aangebracht. Bij infraroodstralers komen de verbrandingsgassen ("rook") altijd in de ruimte vrij, bij luchtverwarmers alleen als ze geen rookafvoer hebben. Toestellen zonder rookafvoer past men alleen toe in hoge ruimten (>4,0m) die natuurlijk worden geventileerd via niet-afsluitbare openingen. Dit komt o.a. voor bij las- en montagehallen in de scheeps- en apparatenbouw. Bij werkplaatsen voor fijnmechanische industrie, autoreparatie e.d. - waaraan hogere klimaateisen worden gesteld - is een beter beheersbare verwarming en ventilatie nodig en is het gunstiger om centrale luchtverwarming toe te passen.

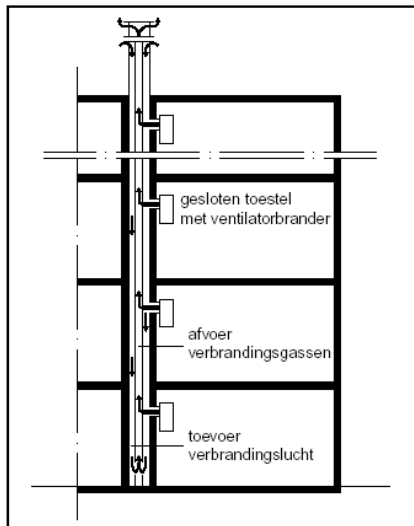
Centrale verwarming met warm water

Bij centrale verwarming met warm water zorgen centraal opgestelde verwarmingsketels voor het op temperatuur brengen van het water, meestal met aardgas als brandstof. In plaats van ketels worden ook wel warmtepompen toegepast of sluit men aan op de stadsverwarming. Bij warmwater verwarming circuleert het water in een gesloten leidingsysteem en zorgt een pomp voor de circulatie. Via radiatoren, convectoren en vloerverwarming wordt de warmte van het water aan de ruimte overgedragen. Een expansievat voorkomt dat een te hoge druk in het leidingsysteem ontstaat.

Verwarmingsketels

Verwarmingsketels kunnen **open** of **gesloten** zijn. Open ketels hebben atmosferische branders die hun verbrandingslucht uit de ruimte halen. De toepassing hiervan neemt af

vanwege het lage rendement en daardoor lage energieprestatie. Gesloten ketels halen hun verbrandingslucht met een ventilatorbrander en een kanaal van buiten. Bij gestapelde woningen combineert men de verbrandingsluchtkanalen en rookkanalen wel tot een "buis in buis" constructie, het zogenaamde "CLV-systeem" (Combinatie van Luchttoevoer en Verbrandingsgasafvoer). Op dit systeem zijn maximaal 20 ketels van boven elkaar liggende woningen aan te sluiten (zie figuur 1).



figuur 1 individuele cv-ketels in gestapelde bouw die zijn aangesloten op een collectief luchttoe- en verbrandingsgasafvoerkanaal.

Luchtverwarming

Bij **centrale** luchtverwarming wordt lucht op een centrale plaats in het gebouw verwarmd, bij **decentrale** luchtverwarming gebeurt dit in de te verwarmen ruimten zelf. Voor decentrale luchtverwarming bestaan er "**direct**" of "**indirect**" gestookte toestellen. Een direct gestookte luchtverwarmer is een verbrandingstoestel dat is samengebouwd met een ventilator. De ventilator zorgt voor de luchtstroming door het toestel en voor de verspreiding van de lucht in de te verwarmen ruimte. Moderne direct gestookte luchtverwarmers zijn - net als moderne verwarmingsketels - gesloten verbrandingstoestellen met ventilatorbranders die hun verbrandingslucht via een apart kanaal van buiten aanzuigen. Een indirect gestookte luchtverwarmer is een warmtewisselaar die met een ventilator is samengebouwd. De warmtewisselaar wordt gevoed met centraal verwarmd water.

Centrale luchtverwarming voor **woningen** bestaat meestal uit een gasgestookt verbrandingstoestel dat met een ventilator, luchtfilter en warmtewisselaar tot één apparaat is samengebouwd. Met het apparaat wordt van buiten aangezogen lucht gefilterd, verwarmd en - via luchtkanalen - naar de te verwarmen ruimten gevoerd. Afgekoelde lucht stroomt via inpandige ruimten en retourkanalen terug naar het apparaat. De warmtewisselaar zorgt ervoor dat de warmte uit de afvoerlucht aan de van buiten aangezogen lucht wordt overgedragen. Kenmerkend voor dit systeem is dat het zowel voor verwarming als voor luchtverversing dient. Dit wordt vaak als voordeel genoemd.

Voor luchtverwarming van **industriële** gebouwen gebruikt men vaak decentrale luchtverwarming met direct met aardgas, butaan of propaan gestookte luchtverwarmers. Voor

de aanvoer van het gas is een leidingnet nodig. Is centrale verwarming aanwezig of bestaat het gebouw uit meer verdiepingen dan is het gebruikelijker om indirect gestookte luchtverwarmers toe te passen of centrale luchtverwarming.

Bij kleinere **kantoren** met **centrale** luchtverwarming worden - net als bij woningen - vaak direct gestookte toestellen gebruikt. Bij grotere kantoren (>2000 m³) past men meestal centraal opgestelde luchtbehandelingskasten toe die - in hun eenvoudigste vorm - bestaan uit een luchtfilter, warmtewisselaar en ventilator. De lucht wordt met kanalen naar de te verwarmen ruimten gevoerd en via retourkanalen weer teruggevoerd (recirculatie). Deze voorziening is uit te breiden met een tweede ventilator en een wisselsectie die de luchtverversing regelt door een gedeelte van de retourlucht naar buiten af te voeren en te vervangen door een zelfde hoeveelheid verse buitenlucht. Een tweede uitbreiding, die door de huidige energieprestatie-eisen niet meer is weg te denken, is warmteterugwinning (zie Centrale Installaties – lucht – warmteterugwinning).

2.2 Grote verwarmingsketels en hoog temperatuur stadsverwarming

Bij gebouwen met een volume tot ca. 2.000 m³ wordt de verwarmingsketel in een "opstelruimte" geplaatst. In woningen is dat de keuken, zolder of een geventileerde kast. Grotere gebouwen krijgen een aparte ruimte. I.v.m. brandoverslag en rookverspreiding mogen hierin geen luchtbehandelingsinstallaties worden geplaatst. Ook koelmachines horen niet in deze ruimte.

Bij complex- of stadsverwarming wordt meestal op een centraal punt heet water met een hoge druk geproduceerd (>120 °C, 6 Bar) en via grondleidingen gedistribueerd. Elk op de complex- of stadsverwarming aangesloten gebouw - bij woongebouwen vaak iedere woning - krijgt een of meer warmtewisselaars, ook wel aangeduid met "tegenstroomapparaat" (TSA). Warmtewisselaars zorgen voor water van maximaal 90 °C. Voor de opstellingsruimte van de warmtewisselaar gelden geen eisen i.v.m. brand en explosiegevaar. Warmtewisselaars zijn niet veel kleiner dan moderne CV-ketels zodat de opstellingsruimten qua afmetingen ongeveer gelijk zijn aan die van CV-ketels. Warmtewisselaars worden in grotere gebouwen ook wel in een aparte ruimte onderin het gebouw geplaatst. Vanuit deze ruimte wordt het warme water via hoofdleidingen naar verschillende onderstations gevoerd. Op deze wijze ontstaan meerdere kleine warmtecentrales in het gebouw.

De onderwijsgebouwen bij de TU-Delft zijn bij voorbeeld ook op een wijkverwarmingsnet aangesloten die worden gevoed door warmtekrachteenheden en gasketels. Via warmtewisselaars in de gebouwen worden deze van warmte voorzien.

2.3 Warmtepompen en energieopslag

Algemeen

Warmtepompen worden steeds vaker toegepast. Meestal zijn de warmtepompen aangesloten op een warmte- en koudedistributienet en energieopslag in de bodem met een warme en koude bron. Varianten hierop zijn systemen die hun warmte onttrekken uit mijnwater, zeewater, oppervlaktewater of binnen- en buitenlucht.

De temperatuur van het bijbehorende warmtedistributienet ligt meestal tussen de 10 en 45 °C en is afhankelijk van:

- de bron waaruit warmte of koude wordt onttrokken
- of lokaal of centraal warmte wordt opgewekt

De warmtepompen kunnen centraal per wijk of decentraal per woning of gebouwblok worden geplaatst. Wat betreft de eisen en dimensionering van ruimten voor warmtepompen kan dit worden vergeleken met ruimten voor koelmachines (Centrale Installaties – Koeling – Ruimtelijke indeling).

Bij energieopslag in de bodem moet jaarlijks evenveel warmte als koude aan de bodem worden onttrokken. Indien er meer warmte dan koude aan de bodem wordt onttrokken moet extra warmte worden geladen met bij voorbeeld zonnecollectoren.

Op dit moment worden ook stadsverwarmingsnetten ontwikkeld die zijn uitgelegd op 73°C en worden verwarmd met centraal geplaatste warmtepompen in combinatie met warmtekrachtinstallaties of met gasmotorwarmtepompen. Warmte kan bij voorbeeld worden onttrokken aan warmte van een afvalwaterzuivering. De aanvoertemperatuur in het gebouw is altijd 70°C om ook warm tapwater te kunnen leveren en legionellarisico's uit te sluiten. Bij het gebouw of de woning is er een individuele warmtewisselaar.

Voor een goed begrip worden warmtepompen en energieopslag in de bodem nader toegelicht.

Warmtepompen

Een warmtepomp is een apparaat waarmee warmte van een laag temperatuurniveau naar een hoog temperatuurniveau wordt getransporteerd. Het werkingsprincipe is gelijk aan dat van een koelmachine, zie ook module I-450 voor een meer gedetailleerde beschrijving.

Net als koelmachines werken warmtepompen volgens het absorptieprincipe of het compressieprincipe. Bij warmtepompen is de verdamper het element waarmee warmte wordt onttrokken aan buitenlucht of aan grond- of oppervlaktewater en de condensor het element waarmee warmte uit het proces vrijkomt voor nuttig gebruik.

De prestatie van warmtepompen wordt aangegeven met de "Coëfficiënt of Performance"-factor. Deze COP-factor geeft bij compressie-warmtepompen de verhouding weer tussen de afgegeven warmte en het door de compressor opgenomen mechanische vermogen. De COP is afhankelijk van de belasting en heeft een waarde tussen 1 en 5. De gemiddelde COP is bij gemiddelde belasting ongeveer 3,9.

Het totale of primaire rendement, afgeleid van de hoeveelheid brandstof die in werkelijkheid wordt gebruikt, wordt bij een elektrisch aangedreven warmtepomp bepaald door de COP, het rendement van de aandrijving (elektromotor $\eta_{\text{motor}} \approx 0,95$, dit wordt meestal verwerkt in de COP) en het rendement van de productie en het transport van elektriciteit ($\eta_{\text{elektr.bedr}} \approx 0,4$). Voor een gemiddelde warmtepomp is dit:

$$\eta_{\text{warmtepomp}} = \text{COP} \times \eta_{\text{motor}} \times \eta_{\text{elektr.bedr}} \approx 3,9 \times 0,95 \times 0,4 = 1,48$$

Bij directe aandrijving van de warmtepomp door een gasmotor of dieselmotor is het rendement respectievelijk ca. 1,6 en 1,7. Het rendement van een absorptiewarmtepomp is 1,3.

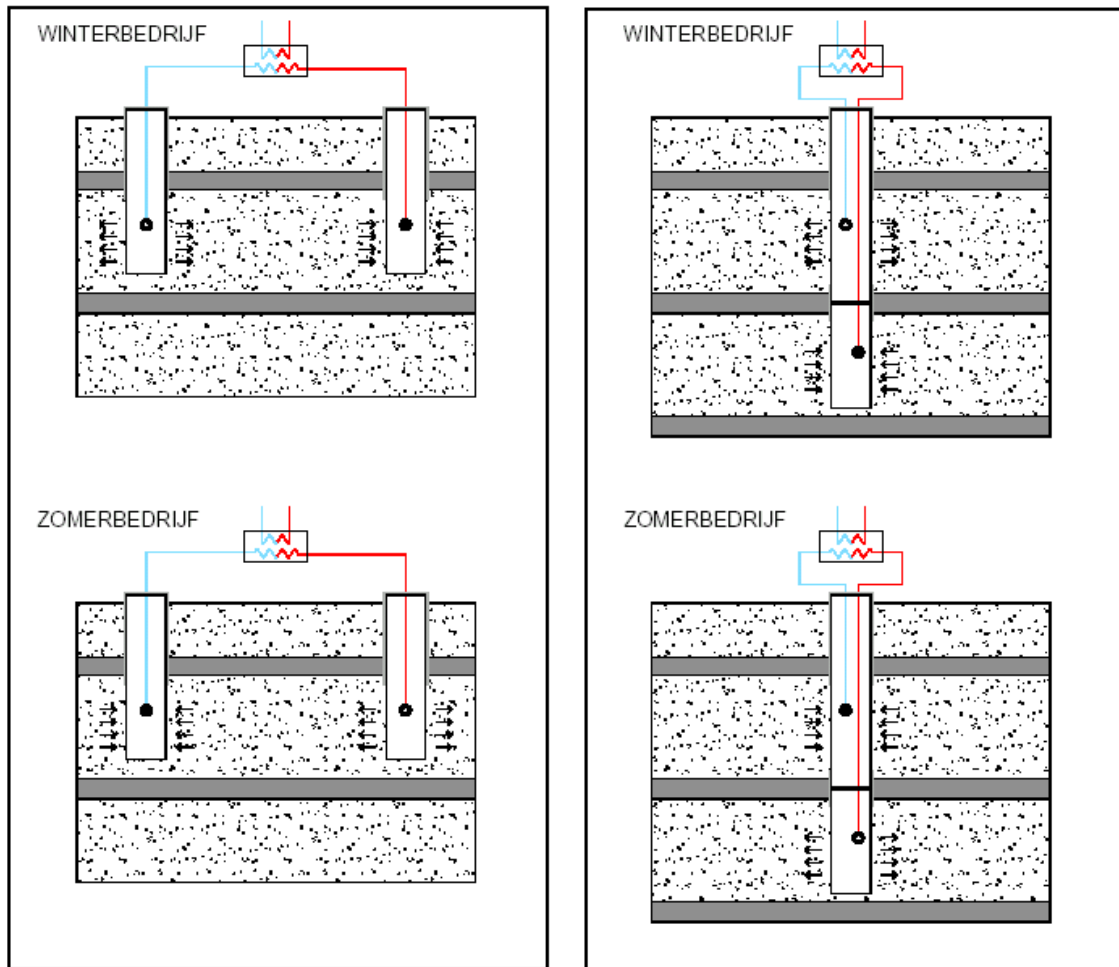
Met een aardgasgestookte hoogrendement verwarmingsketel (HR-ketel) is een gebruiksrendement van 0,9 haalbaar. Kijkend naar de benodigde hoeveelheid fossiele brandstof heeft een warmtepomp een 45 tot 90% hoger rendement dan een HR-ketel.

Lange termijn warmteopslag of energieopslag in de bodem

Met lange termijn opslag kunnen gebouwen in de zomer worden gekoeld met “koude uit de winter” en in de winter worden verwarmd met “warmte uit de zomer”. Een aquifer dient voor opslag van koude en warmte. Een aquifer is een waterhoudende zandlaag in de bodem die door klei- of leemlagen van andere zandlagen is gescheiden. Voorwaarde is dat het water in de zandlaag (vrijwel) stilstaat. Dergelijke bruikbare lagen liggen op diepten van 25 tot 200 meter onder het maaiveld. In Nederland is de bodemtemperatuur een meter onder het maaiveld ca. 10°C en neemt per 100 meter ongeveer 3 °C toe. Het water in verschillende boven elkaar gelegen aquifers, dat via kleilagen van elkaar is gescheiden, mag niet met elkaar in verbinding komen. Vaak gaat het om zoet en brak water. Behoud van de zoetwatervoorraad in de bodem is gewenst.

In de aquifer bevinden de “warme” en de “koude” bron zich op enige afstand van elkaar, een enkel paar wordt een doublet genoemd, zie figuur 2, links. Ook worden wel bronnen in twee boven elkaar liggende zandlagen aangebracht, een monobron, zie figuur 2 rechts. Een bron is een buis waarvan het onderste deel is geperforeerd. In de buis bevindt zich een pomp waarmee het water omhoog wordt gevoerd. Via de zelfde buis kan ook water worden teruggevoerd. Bij lage buitentemperaturen wordt water aan de "warme" bron onttrokken, door gebruik afgekoeld en naar de "koude" bron teruggevoerd. Bij hoge buitentemperaturen werkt het andersom. Omdat het diepe grondwater niet in contact mag komen met (chemisch en bacteriologisch) verontreinigd water uit de bovengrondse installatie, moeten de watercircuits door een warmtewisselaar zijn gescheiden. De scheiding is ook nodig om te voorkomen dat zuurstof in het diepe grondwater komt waardoor in het water opgeloste mineralen en zouten uitvlokken en de perforatie kunnen verstoppen.

Bij lage buitentemperaturen is de temperatuur van de "warme" bron (meestal) te laag om er direct mee te kunnen verwarmen. De warmte uit het water is dan te benutten met een warmtepomp. Het water uit de "koude" bron kan een zodanig lage temperatuur hebben dat het direct voor koeling is te gebruiken, bij voorbeeld met koelplafonds. De koude is ook indirect te gebruiken namelijk als koelwater voor een koelmachine.



figuur 2 schema van twee energieopslagsystemen, een doublet (links) en monobron (rechts)
In de winter (boven) wordt koude "geladen" en warmte onttrokken. In de zomer (onder) is dit andersom

De mogelijkheden van lange termijn warmteopslag zijn, onder andere in samenhang met de aanwezigheid van aquifers en de bebouwingsdichtheid niet overal gelijk. Per locatie is onderzoek nodig naar wat plaatselijk mogelijk is en naar het te verwachten effect. Lange termijn warmteopslag maakt het mogelijk om zeer transparante gebouwen te realiseren die aan strenge energieprestatie-eisen voldoen.