

7 Ruimteverwarming

Dit hoofdstuk beschrijft de meest gangbare verwarmingssystemen, zowel individuele als collectieve. Naast de systemen komt ook de integratie van de installaties in het bouwkundig ontwerp aan bod. Ook de onderlinge afstemming van de installaties voor ruimteverwarming met die voor ventilatie en tapwaterverwarming krijgt hierbij aandacht.

Speciale aandacht besteden we aan lage temperatuursystemen (LT-systemen) zoals vloerverwarming. Deze systemen zijn tegenwoordig niet meer weg te denken in de huidige markt om energie te besparen, comfort te verhogen en de mogelijkheden voor duurzame energie te vergroten. LT-systemen zijn onderdeel van toekomstbestendig bouwen.

In de checklist hieronder staan de belangrijkste criteria voor de keuze van de installaties voor ruimteverwarming.

Deelchecklist Ruimteverwarming

Initiatief / haalbaarheid / projectdefinitie

- Stel het gewenste wintercomfort vast: constante temperatuur in het gehele huis gedurende het hele etmaal of variabel naar tijd en plaats in het huis (paragrafen 5.3, 7.1 en 7.2.3);
- Let op de oriëntatie van de ramen. Ramen op zuid hebben de beste passieve zon opbrengst. Denk aan voldoende zonwering, ook op oost- en westgevels (paragraaf 4.2);
- Overweeg de koppeling van woningen met utiliteitsgebouwen. Deze hebben vaak een overschot aan warmte (paragraaf 7.2);
- Controleer of diepe geothermie (direct benutbare aardwarmte) een optie is (paragraaf 7.3.6);
- Controleer of warmte / koudeopslag in de bodem (WKO) mogelijk is (paragraaf 7.3.9);
- Controleer of er makkelijk te benutten restwarmte in de buurt is;
- Zoek een externe exploitant voor een collectieve installatie;
- Maak een principe keuze voor het afgiftesysteem van de ruimteverwarming (paragraaf 7.2);
- Maak principe keuze voor een collectief of individueel verwarmingssysteem (paragraaf 7.4);
- Maak keuze voor centrale of lokale verwarming;
- Bij verwarming met hout of andere biomassa hoort ook de opslag en logistiek van aanvoer: 1 m³ hout \approx 80 m³ gas. Ook de schoorsteen stelt speciale eisen. Er is een aparte verbrandingsluchttoevoer nodig.

Structuurontwerp/Voorontwerp

- Kies de raamafmetingen afhankelijk van de richting op de zon (paragraaf 4.2.1);
- Maak keuze voor de warmte-opwekking: HR ketel, HRe ketel (microWWK), warmtepomp, biomassa ketel, stadsverwarming, zonnecombi, gashaard; combinatie met tapwaterverwarming (paragraaf 7.3);
- Bij een warmtepomp hoort een laag temperatuurafgiftesysteem (paragraaf 7.3.3);
- Bij een zonneverwarming hoort een laag temperatuurafgiftesysteem (paragraaf 7.3.5);
- Bij luchtverwarming wordt meestal centraal ingeblazen, plan de leidingkoker daarop (paragraaf 7.2.4);
- Kies een zo efficiënt mogelijke bron voor een warmtepomp: grondwater of de bodem (paragraaf 7.3.3);
- Controleer of regeneratie van de bron van een warmtepomp nodig is;
- Reserveer indien voor een warmtepomp gekozen wordt, voldoende ruimte waar geluid en trillingen geen kwaad kunnen. In grondgebonden woningen is dat veelal op de begane grond;
- Ontwerp bij collectieve systemen de verbruiksmeting per woning (paragraaf 7.4.2);
- Kies bij combitoestellen altijd voor een toestel met het NZ-label (naverwarming zonneboiler) (paragraaf 7.3.2);
- De opstelplaats voor een combitoestel wordt bepaald door de afstand tot de tappunten. Maak deze zo klein mogelijk (paragraaf 7.3.2);
- Beoordeel of warmteverliezen naar aangrenzende ruimten gewenst of ongewenst zijn en isoleer

- zo nodig de scheidingsconstructie (paragraaf 5.1.4);
- Neem isolatie op in de vloerconstructie van appartementen. Bijvoorbeeld een zwevende dekvloer. Dat is ook gunstig voor de geluidsisolatie (paragraaf 5.1.4);
- Keuze voor type vloerverwarming: nat of droog systeem, geïsoleerd of direct op de vloer (paragraaf 7.2.3).

Definitief ontwerp/Technisch ontwerp

- Maak de definitieve keuze voor het afgiftesysteem (paragraaf 7.2);
- Maak een dynamische (uurlijkse) controleberekening van de warmtebehoefte en het vermogen van de warmte-opwekker. Houd daarbij rekening met de luchtdichtheid en warmtelekken;
- Controleer of het laagste vermogen van de opwekker kleiner is dan wat nodig is bij de gemiddelde buitentemperatuur. Zo nee, ontwerp dan een buffercapaciteit bijvoorbeeld in het afgiftesysteem (vloer of wand) om 'pendelen' te voorkomen;
- Neem bij vloer- of wandverwarming een pompregeling op in het bestek (paragraaf 7.2.6);
- Let bij de keuze van een opwekker ook op het hulpelektriciteitsverbruik. De verschillen zijn aanzienlijk;
- Als een combitoestel wordt gekozen, let dan ook op het vermogen en het rendement bij tapwaterverwarming. De tapwaterverwarming kan dan vaak de doorslag geven (paragraaf 7.3.2);
- Werk het bodemsysteem voor een warmte-/koudeopslag uit, inclusief de ontwerpberekeningen op koelvermogen en de capaciteit gedurende 10 jaar (paragraaf 7.3.3);
- Controleer de opstelplaats van een warmtepomp op afmeting, geluid en trillingen;
- Zorg bij collectieve WKK-installatie voor benutting van de warmte uit de omkasting en neem een extra rookgascondensor op;
- Reserveer ruimte voor de verdelers en verzamelaars voor een vloer- of wandverwarming. Deze moet hoger staan dan de leidingen i.v.m. de mogelijkheid tot ontluchting (paragraaf 7.2.6);
- Kies bij luchtverwarming voor een systeem zonder recirculatie (paragraaf 7.2.4);
- Kies het aantal zones voor een luchtverwarmingssysteem afhankelijk van de regelbaarheid (paragraaf 7.2.4);
- Ontwerp het kanalsysteem bij luchtverwarming zó dat reiniging mogelijk is;
- Dimensioneer luchtkanalen op een maximale luchtsnelheid van 3 m/s;
- Neem uitstekende leidingisolatie op in het ontwerp;
- Ontwerp het regelsysteem, denk hierbij aan de combinatie met koeling en de traagheid van wand- en vloerverwarming. Regeling per vertrek is noodzakelijk en moet in datzelfde vertrek makkelijk te bedienen zijn. Let ook op het elektriciteitsverbruik van de regeling (paragraaf 7.2.6).

Uitvoering/gebruik/exploitatie

- Zorg dat convectoren bereikbaar zijn om ze schoon te maken (paragraaf 7.2.2);
- Zorg dat luchtkanalen bereikbaar zijn om ze schoon te maken.
- Controleer het legpatroon van vloer- of wandverwarming (paragraaf 7.2.3);
- Controleer de opstelling van een warmtepomp op geluid en trillingen;
- Controleer de bronpompen van een warmtepompsysteem op elektriciteitsverbruik;
- Laat het distributiesysteem inregelen en controleer de inregelstaten;
- Controleer of de pompschakelaar voor een vloer- of wandverwarming is aangesloten;
- Controleer het type inblaasroosters bij luchtverwarming (paragraaf 7.2.4);
- Isoleer alle leidingen volledig voor zover ze niet in dezelfde ruimte liggen als het afgifte-element dat ze van warmte voorzien;
- Controleer de warmte-isolatie van opslagvaten inclusief alle aansluitende leidingen;
- Controleer de capaciteit van een warmte/koude opslagsysteem en zorg voor de garantie;
- Ontlucht de installatie zorgvuldig. Vloer- of wandverwarming moet per lus ontlucht worden (paragraaf 7.2.3)
- Maak een goede gebruikersinstructie volgens ISSO/Uneto-VNI [169]. Geef aandacht aan o.a. het energiebesparende effect van nachtverlaging (paragraaf 7.1);

- Let op de keuze van vloerbedekking bij vloerverwarming (paragraaf 7.2.3);
- Laat een open bron jaarlijks door een ter zake kundig bedrijf controleren, ook i.v.m. de garantie;
- Geef warmte-opwekkers een onderhoudsbeurt met een termijn volgens opgave fabrikant (paragraaf 7.2.2);
- Vang de warme luchtstroom van radiatoren en convectoren niet op tussen het raam en gordijnen (zie afbeelding 7.5).

7.1 Verwarmingsvraag

Het energieverbruik van de woning wordt bepaald door:

- comfortbehoefte van de personen;
- Warmteverlies door transmissie, ventilatie en infiltratie;
- Warmtebijdrage door interne warmtebronnen en de zon.

Comfortbehoefte van personen

Het thermisch comfort van een persoon wordt, in combinatie met zijn kleding en zijn metabolisme (mate van activiteit), bepaald door:

- Luchttemperatuur;
- Stralingstemperatuur;
- Relatieve luchtvochtigheid;
- Luchtsnelheid.

Verschillende mensen stellen verschillende comforteisen. In een woning gaat het niet om het comfort van de gemiddelde mens, maar van de individuele bewoner. Dat moet dus individueel op zijn of haar eisen in te stellen zijn. De woning en het verwarmingssysteem moeten daar op een energiezuinige manier aan voldoen.

Zie voor verdere uitleg en uitgangspunten voor bovenstaande factoren bijlage 1. Het verwarmings- en ventilatiesysteem bepalen in de winterperiode grotendeels deze bovenstaande factoren en dus het comfort.

Nachtverlaging

Nachtverlaging van 2 à 3 °C (een grotere daling zal niet snel optreden) heeft in de huidige zeer goed geïsoleerde woningen een energiebesparend effect van maximaal enkele procenten. Dit in tegenstelling tot in de bestaande, meestal relatief matig tot slecht geïsoleerde, bouw. Daar levert een verlaging van 3°C een besparing op van globaal 10%.

Let op: Bij trage afgiftesystemen zoals vloerverwarming en bij warmtepompsystemen (met vaak een beperkte capaciteit) kan nachtverlaging van enkele graden comfortproblemen geven omdat het opwarmen lang kan duren. Beperk daarom bij dergelijke systemen nachtverlaging tot maximaal 1 à 2 °C, zeker in een vorstperiode.

Warmteverlies

Het warmteverlies wordt bepaald door:

- Transmissie door de gebouw omhulling. Het weglekken van warmte via koudebruggen is hierin opgenomen (zie hoofdstuk 5);
- Transmissie naar burens via de woningscheidende wanden en vloeren (paragraaf 5.1.4);
- Ventilatie: de hoeveelheid verse lucht aangevoerd door het ventilatiesysteem (zie hoofdstuk 6);
- Infiltratie via naden en kieren (zie paragraaf 5.1).

Warmtebijdrage

De warmtebijdrage in een woning bestaat uit:

- Interne warmtebijdrage: de warmteafgifte van personen, verlichting, apparatuur koken e.d. binnen de woning;

- Zonnewarmte die de woning binnenkomt. De mate waarin de zon een bijdrage levert wordt bepaald door de eigenschappen, de grootte en de oriëntatie van de ramen inclusief de zonwerende maatregelen (zie hoofdstukken 4 en 5).

7.2 Afgiftesysteem

Om in het stookseizoen een comfortabele binnentemperatuur te krijgen is een verwarmingssysteem noodzakelijk. Vanwege de huidige uitstekende isolatie van nieuwbouw is slechts een beperkte capaciteit nodig voor verwarmen. In combinatie hiermee zijn er veel energiezuinige mogelijkheden.

Afgiftesystemen die hierbij horen zijn lage temperatuursystemen zoals:

- Lage temperatuur radiatoren en convectoren;
- Vloerverwarming en wandverwarming.

Omdat een huidige nieuwbouwwoning slechts weinig warmte voor ruimteverwarming vraagt, hebben CV-ketels in een groot deel van het stookseizoen meestal een te groot vermogen. Daarom is het aan te raden om een buffer te installeren, bijvoorbeeld in de vorm van vloer- of wandverwarming of een voorraadvat. De buffer voorkomt het 'pendelen' van de CV-ketel: het snel achter elkaar aan- en uitgaan van de ketel. Als alternatief voor een CV-ketel is natuurlijk ook een modulerende warmtepomp mogelijk, bij voorkeur zonder voorraadvat.

In een zeer goed geïsoleerde woning is een centraal verwarmingssysteem niet altijd noodzakelijk. Een logische keus is [59], [63], [64]:

- Beperkte vorm van luchtverwarming via het ventilatiesysteem;
- Lokale verwarming.

Afbeelding 7.1 laat de belangrijkste criteria zien die een rol kunnen spelen bij de keuze voor een verwarmingssysteem. De eigenschappen worden vergeleken met de traditionele radiatoren verwarming met een verwarmingstoestel op de zolder of in de berging. Met uitzondering van de lokale verwarming wordt in de tabel niet ingegaan op de warmtebron (opwekker). Die keuze wordt verderop gemaakt in dit hoofdstuk.

Denk aan energiebesparende mogelijkheden bij een combinatie van woningen en utiliteitsbouw. Kantoren hebben vaak een warmte-overschot, terwijl woningen tegelijkertijd warmte vragen. Bij het voorbeeldproject Rabobank Pey-Posterholt wordt daarvan gebruik gemaakt (paragraaf 7.3.3).

Afb. 7.1 Keuzecriteria voor installaties voor ruimteverwarming. De beoordeling is indicatief en is ten opzichte van een individuele verwarmingsinstallatie met radiatoren. Zie voor verdere informatie de verwijzing naar de paragrafen.

| Afgiftesystemen | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|---|--------------------------------|-----------------------------|
| | | Radiatoren (referentie) | LT-radiatoren paragraaf 7.2.2 | Convectoren paragraaf 7.2.2 | LT-convectoren paragraaf 7.2.2 | Vloerverwarming paragraaf 7.2.3 | Wandverwarming paragraaf 7.2.3 | Eénzonesysteem (Luchtverwarming) paragraaf 7.2.4 | Meerzonesysteem (Luchtverwarming) paragraaf 7.2.4 | Gevelkachel paragraaf 7.2.5 | Gashaard paragraaf 7.2.5 |
| Bouwkundige/ruimtelijke voorwaarden | Ruimtebeslag leidingen | O | O | O | O | O | O | - | - | O | - |
| | Ruimtebeslag verwarmingselementen, ketel e.d. | O | - | O | - | + | + | + | + | O | O |
| | Benodigde luchtdichtheid (- = extra vereist) | O | O | O | O | + | + | - | - | + | + |
| | Isolatie (- = extra vereist) | O | O | O | O | - | - | - | - | O | O |
| Comfort | Snelheid opwarmen | O | O | O | O | O | - | O | O | + | ++ |
| | Regeling per vertrek/zone | O | O | O | O | O | O | -- | O | + | + |
| | Temperatuur comfort | O | + | - | - | ++ | ++ | - | O | - | O |
| | Geluid | O | O | O | O | O | O | O/- | O/- | - | - |
| | Tocht | O | O | O | O | + | + | - | - | O | O |
| | Kwaliteit binnenlucht | O | + | O | + | ++ | ++ | - | O | - | O |
| Diversen | Energieverbruik | O | + | O | + | ++ | ++ | -- | - | O | + |
| | Onderhoud | O | O | O | O | O | O | - | - | O | + |
| | Investeringskosten | O | - | O | - | -- | -- | - | - | + | + |
| Legenda: ++ = erg gunstig + = gunstig o = neutraal - = ongunstig -- = zeer ongunstig (alles t.o.v. radiatoren) LT = lage temperatuurverwarming | | | | | | | | | | | |

7.2.1 Hoge/lage temperatuur

Warmte kan op hoge en lage temperatuur afgegeven worden. Hierbij geldt dat hoe lager de afgiftetemperatuur is, des te hoger zal het rendement van de opwekker zijn. Omdat duurzame energie ook beter ingezet kan worden bij lagere afgifte temperaturen is het toepassen van lage temperatuursystemen (LT-systemen) daarom een randvoorwaarde voor een energie-efficiënte woning. In de huishoudens met een gas CV-ketel is een aanvoertemperatuur van 80 °C echter gebruikelijk. Over wat laag is bestaat bij verschillende partijen onduidelijkheid. Hier houden we een maximale aanvoerwatertemperatuur van 55 °C en een retour-watertemperatuur van maximaal 45 °C aan. In de NTA 8800 [30] wordt bij LT uitgegaan van het gemiddelde van de aan- en retourwatertemperatuur van ≤ 50 °C; dus bijvoorbeeld 60/40 °C, 55/45 °C of 45/35 °C.

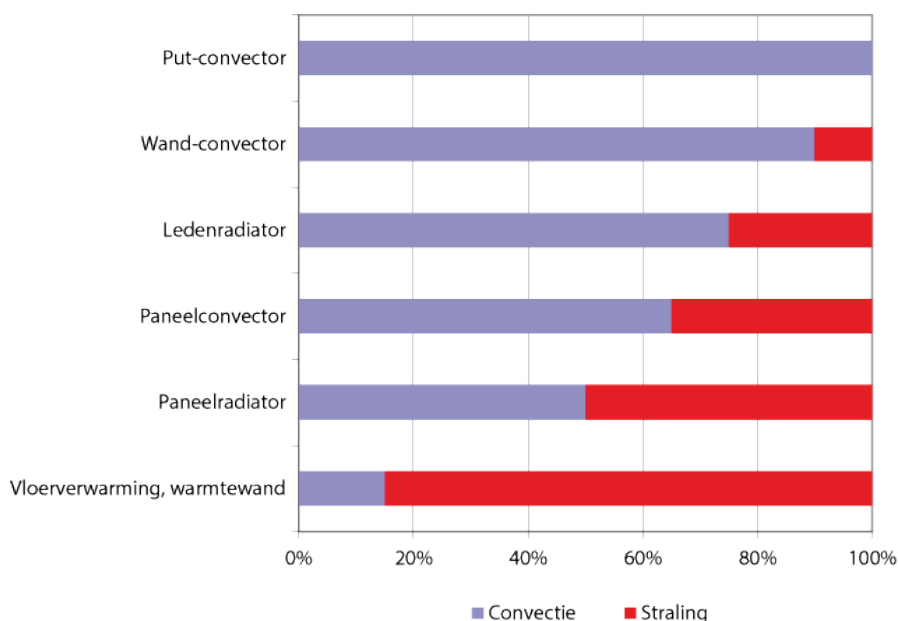
Tot de LT-(afgifte)systemen behoren:

- LT-radiator- en LT-convectiverwarming (aanvoertemperatuur max. 55 °C);
- vloer- en wandverwarming (aanvoertemperatuur 25 - 45 °C).

Houd in het installatie-ontwerp rekening met de gebruikelijke opwarmtoeslagen voor opwarmen na nachtverlaging (in 2 uur) en 'koude burens'. [ISSO-publicatie 49](#) [156] en [ISSO-publicatie 51](#) [158] geven de rekenmethodiek.

Belangrijke redenen om LT-systemen te gebruiken, zijn:

- Energiebesparing: zowel bij de warmtebron (door het opwekken met een groter rendement) als in het distributienet (door lagere verliezen);
- Toekomstgerichtheid: LT-systemen vergroten de mogelijkheden voor gebruik van duurzame energiebronnen zoals zonne-energie. Voor het gebruik van warmtepompen is het gebruik van een LT-systeem zelfs een voorwaarde;
- Verbetering van het binnenklimaat. Het gaat hierbij om:
 - Comfort: Met name bij wand- en vloerverwarming treedt een redelijke mate van behaaglijkheid op door het grote stralingsaandeel (zie bijlage 2 voor meer info over behaaglijkheid). Dit in combinatie met lagere luchttemperaturen en een gelijkmatiger temperatuurverdeling. Doordat in huidige nieuwbouwwoningen triple glas steeds vaker toegepast wordt, is er nabij de ramen nauwelijks of geen sprake meer van koudeval; aandachtspunt blijft wel de mogelijke koudeval uit de ventilatieroosters (boven ramen) bij natuurlijke ventilatie. Kies geschikte roosters, zie paragraaf 6.4. Een nadeel van de gebruikelijke 'natbouw' vloerverwarmingsystemen (zie paragraaf 7.2.3) is de traagheid; dit speelt vooral bij vertrekken die meestal kort in gebruik zijn of bij een onregelmatig gebruik van vertrekken.
 - Luchtkwaliteit: Bij LT-systemen komt stofschroei (hinderlijke geur) nauwelijks voor en is er relatief weinig zwevend stof. Bij vloerverwarming wordt bovendien de ontwikkeling van huisstofmijt belemmerd door de hogere vloertemperatuur ten opzichte van andere systemen;
 - Veiligheid: Weinig of geen kans op verbrandingsgevaar bij het aanraken van de afgiftesystemen. Bij vloer-, wand- en luchtverwarming ontbreken obstakels zoals radiatoren waaraan men zich kan verwonden bij o.a. vallen. Beide aspecten zijn vooral van belang voor kinderen en ouderen.
- Vloer- en wandverwarming hebben een grotere indelingsvrijheid en esthetiek door het ontbreken van radiatoren of convectoren.



Afb. 7.2 Aandeel straling en convectie van de verschillende typen water-CV verwarmingselementen. Om eenzelfde gevoelstemperatuur te realiseren kan, bij een groter stralingsaandeel, de gemiddelde luchttemperatuur in een vertrek lager zijn. Dit werkt energiebesparend: Zowel de transmissie- als de ventilatieverliezen nemen af. Gebruik bij voorkeur een relatief lage watertemperatuur in combinatie met een relatief groot verwarmend oppervlak

7.2.2 Lage temperatuur radiatoren en convectoren

(LT-)Radiatoren

Radiatoren genieten een lichte voorkeur boven (wand-)convectoren omdat ze meer stralingswarmte afgeven. NTA 8800 maakt geen verschil tussen radiatoren en convectoren. In de praktijk worden radiatoren het meest toegepast vanwege de lagere kosten. De keuze voor (wand-) convectoren berust meestal op esthetische overwegingen.

Lage temperatuur (LT-)radiatoren zijn niet anders dan de gebruikelijke radiatoren. Het enige verschil zit in de grootte (het verwarmend oppervlak). De dimensionering moet afgestemd zijn op een aanvoerwatertemperatuur van maximaal 55 °C. De temperatuur van het retourwater bedraagt 45 °C of minder. De afmetingen zijn daardoor circa 2,5 maal groter dan radiatoren bij een systeem dat werkt met een traditioneel temperatuurtraject van 90/70 °C. Door de huidige lage warmtevraag (vanwege de goede isolatie van nieuwbouwwoningen) leveren de afmetingen van LT-radiatoren geen problemen op.

Met LT-radiatoren daalt het energieverbruik van een HR ketel met enige procenten ten opzichte van het verbruik met standaard radiatoren [165]. Bij warmtepompen en zonthermische verwarming zijn, wanneer men kiest voor radiatoren, in ieder geval LT-radiatoren nodig. Bij die warmte-opweksystemen gaat de voorkeur echter uit naar warmteafgifte-systemen met nog lagere temperaturen. (zie vloer- en wandverwarming paragraaf 7.2.3).

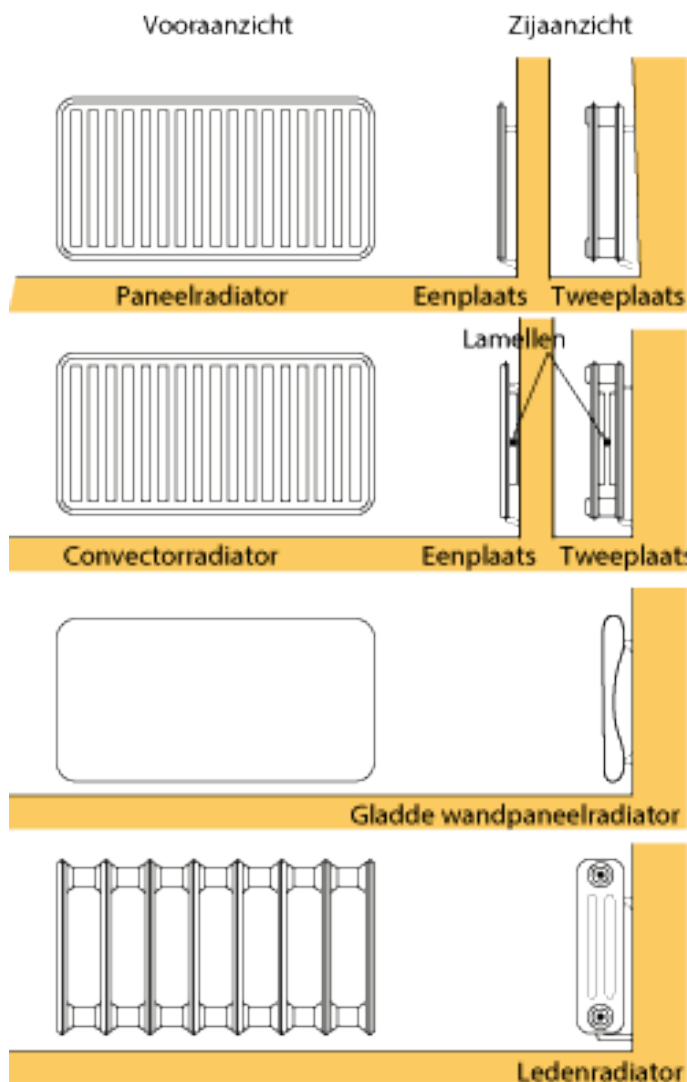
Te onderscheiden zijn (afbeelding 7.3):

- Paneel- of plaatradiatoren: Deze bestaan uit een of meer panelen. Enkelplaats paneelradiatoren hebben de voorkeur omdat deze de meeste stralingswarmte afgeven, namelijk circa 50%. Bij meerdere panelen per radiator neemt de convectiewarmte naar verhouding toe;
- Paneelconvectoren: Dit zijn paneelradiatoren met extra convectielamellen. Door de lamellen wordt het verwarmend oppervlak verhoogd. Kenmerken:
 - Weinig waterinhoud, dus snel reagerend;
 - Licht van gewicht;
 - Kwetsbaar voor corrosie, dus niet in de badkamer toepassen tenzij de radiator op een droge plaats aangebracht wordt.
- Gladde wandpaneelradiatoren: Deze geven evenveel stralingswarmte af als paneelradiatoren. Ze zijn eenvoudig van vorm, met een glad en strak uiterlijk. Nadelen:
 - Relatief grote waterinhoud en massa, waardoor iets tragere reactie dan de eerder genoemde typen radiatoren;
 - Relatief duur.
- Ledenradiatoren: Deze worden in de woningbouw nauwelijks meer toegepast.

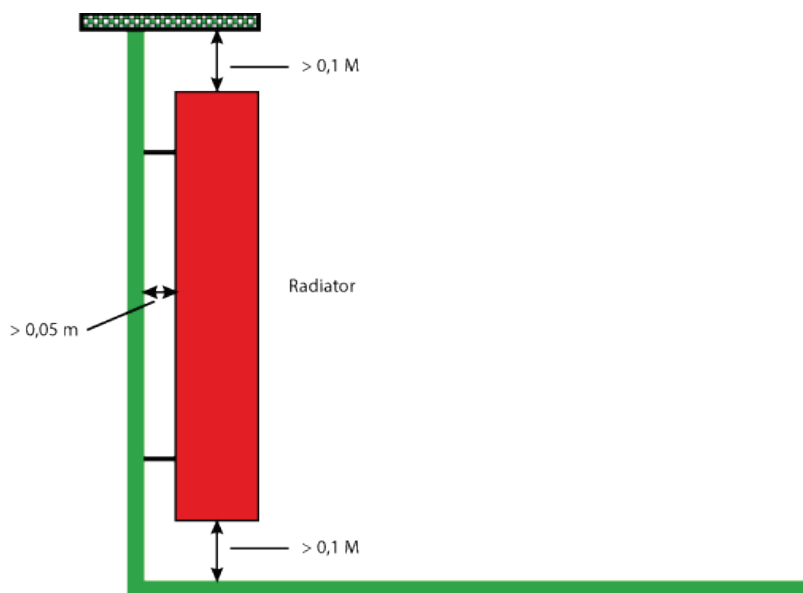
Opmerkingen:

- De beste plaats voor radiatoren is onder het raam, zodat ze koudeval van buitenlucht uit ventilatioeroosters kunnen compenseren; bij gebalanceerde ventilatie speelt dat natuurlijk niet. Compenseren van koudestraling van ramen speelt nauwelijks of geen rol meer door de hoge isolatiewaarde van moderne beglazing;
- Radiatoren dienen voldoende afstand tot vloer, gevel en plafond te hebben in verband met de schoonmaak en benodigde convectiestroming. Houd minimaal de volgende afmetingen aan:
 - Vrije afstand boven- en onderzijde: >0,1 meter;
 - Afstand wand-radiator: >0,05 meter.
- De vensterbank mag de warme luchtstroom niet hinderen (zie afbeelding 7.4). Zorg verder dat er voldoende ruimte is om gordijnen op te hangen zodat de warme luchtstroom van de radiator niet achter de gordijnen, maar vóór de gordijnen (dus aan de kamerzijde) langs stroomt: plaats bijv. de radiator op voldoende afstand van de gevel of zorg voor voldoende ruimte en ophangmogelijkheid tussen het kozijn en de binnenzijde van de gevel;
- Plaatsing voor een glazen borstwering wordt uit oogpunt van energiebesparing afgeraden, ook bij HR⁺⁺- of drievoudig glas. Er is ook een risico op thermische breuk van het glas. Kies desnoods voor convectoren.
- De lengte van radiatoren die onder een raam staan opgesteld, moet groter dan 75% van de raamlengte zijn om ongewenste luchtstromingen te voorkomen;

- Door het schilderen van verwarmingselementen in metallic-kleuren daalt (door de metaaldeeltjes) de warmteafgifte met ca. 10%. Andere (niet-metallic-) kleuren hebben geen effect op de warmteafgifte;
- Inbouwen van radiatoren wordt afgeraden. De totale warmteafgifte neemt door verhinderen van de stralingsafgifte met maximaal 25% af en schoonmaken is lastig;
- Leidingisolatie in onverwarmde ruimtes (bv. bergzolders en vlieringen) is noodzakelijk, ook in andere niet- of weinig verwarmde ruimten;
- Ingestorte verwarmingsleidingen (met watertemperaturen groter dan 30°C) dienen geïsoleerd te worden voor zover het geen voeding van een radiator in dezelfde ruimte betreft. Ribbenbuis (mantelbuis) is geen isolatie. Reken op minimaal 12 mm isolatie en neem maatregelen om te voorkomen dat die beschadigt tijdens het storten;
- Houd radiatoren buiten bereik van douche en zeepwater.



Afb. 7.3 De verschillende typen radiatoren

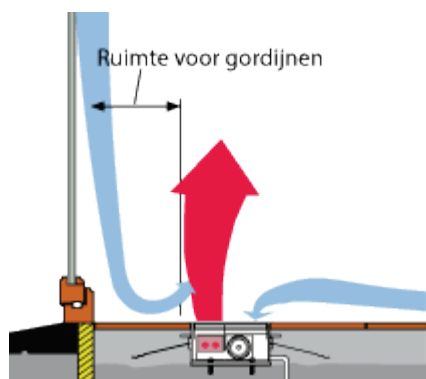


Afb. 7.4 Plaats radiatoren (en wandconvectoren) met voldoende afstand tot vloer, gevel en vensterbank. Dit in verband met schoonmaak en de benodigde convectie-luchtstroming. Zorg er voor dat (in het stookseizoen) de opgaande warme luchtstroom van de radiatoren niet achter eventuele (rol)gordijnen of jaloezieën kan terechtkomen. Stem de detaillering van de vensterbank en de plaatsing van gordijnen ed. hierop af. De vensterbank mag ook de warmte-afgifte aan de kamer niet belemmeren. Plaats in de badkamer de radiator op een hoogte van minimaal 0,6 meter vanaf de vloer om roesten te voorkomen. Kies desnoods voor een verzinkte radiator in de badkamer

(LT-)Convectoren

Het principe van convectoren berust op de afgifte van warmte door convectie. Convectoren worden opgebouwd uit dunne warmwaterleidingen met daar omheen, op kleine afstand van elkaar, dunne metalen lamellen. De op te warmen lucht stroomt dankzij natuurlijke trek langs de lamellen van de convector. Een convector is altijd in een omkasting ingebouwd, en wel zo laag mogelijk. Dit bevordert de natuurlijke trek en daarmee de afgifte van de in de convector verwarmde lucht. Convector plus omkasting worden samen ook wel als 'convector' aangeduid. Convectoren geven voornamelijk convectiewarmte af. Door de geringe afgifte van stralingswarmte, wordt de koudestraling van koudere vlakken in een vertrek niet of nauwelijks gecompenseerd.

Convectoren kunnen voor een verdiepinghoge glaswand geplaatst worden dankzij de relatief hoge isolatiewaarde van HR++- en drievoudig glas.



Afb. 7.5 Het alternatief voor de traditionele, energielekkende convectorput is een ventilator-convector in de afwerkvloer (Bron: Jaga)

Door de geringe waterinhoud en de lage massa zijn convectoren relatief snel op temperatuur. Bij lage temperaturen is de natuurlijke trek in de omkasting van de convector meestal zo klein dat er weinig warmte wordt overgedragen. Bij LT-systemen zijn convectoren daarom af te raden, tenzij convectoren gebruikt worden die speciaal zijn ontworpen voor lage temperaturen. Meestal zit daarin een kleine ventilator.

Convectoren zijn te onderscheiden in de volgende typen:

- Wandconvectoren of vrijstaande convectoren; de convector is in een omkasting opgenomen;
- Vloerconvectoren; de convector is onder de vloer weggewerkt. Vroeger werden vaak bouwkundige putten gebruikt. Dat zijn erg grote warmtelekken en dat kan dus niet meer. Ook de geïsoleerde kant en klare putten hebben niet de thermische kwaliteit die nu gewenst is. Als alternatief zijn er platte ventilator-convectoren te koop die in de (afwerk)vloer passen. Hoogte minder dan 100 mm (afbeelding 7.5);
- Ventilator-convectoren (in de utiliteitsbouw vaak 'Fancoil' genoemd) zijn ook verkrijgbaar in compacte en stille uitvoeringen die geschikt zijn voor woningen. Daarmee zijn lagere aanvoertemperaturen en koeling mogelijk. Let op het geluid en het stroomverbruik van de ventilatoren.

Convectoren moeten altijd goed bereikbaar zijn in verband met de noodzakelijke reiniging. Vervuiling veroorzaakt namelijk:

- Daling van de warmteafgifte;
- Hinder voor mensen met allergie;
- Luchtjes door het verbranden van stof (niet bij LT convectoren).

7.2.3 Vloerverwarming en wandverwarming

Vanwege het grote verwarmend oppervlak van vloer of wand, hoeft het temperatuurverschil tussen de lucht in de ruimte en het oppervlak van de vloer of wand slechts klein te zijn om aan de warmtebehoefte te voldoen. Met deze systemen zijn dan ook de laagste aanvoerwatertemperaturen haalbaar voor verwarming. Beide systemen zijn zeer geschikt voor koeling via een bodembron (zie paragraaf 8.2.2). Zie ook [156] en [187].

Vloerverwarming

De vloertemperatuur aan het oppervlak mag in verband met het comfort maximaal 29 °C bedragen, in badkamers en randzones maximaal zo'n 33 °C. De maximale temperatuur van het aanvoer-water bedraagt daarom circa 45 °C, maar kan in goed geïsoleerde woningen makkelijk lager gekozen worden; 30 °C is vaak haalbaar. Vloerverwarming wordt soms in combinatie met andere systemen gebruikt zoals radiatoren of convectoren en luchtverwarming om de reactiesnelheid te verhogen. Vloerverwarming als hoofdverwarming (eventueel in combinatie met wandverwarming) is in nieuwbouw altijd haalbaar qua verwarmend vermogen.

Bij vloerverwarming wordt over het algemeen in de dekvloer een kunststof leidingenstelsel aangebracht waar warm water doorheen stroomt. Hiermee wordt de vloer verwarmd. Belangrijk is dat de dekvloer aan de onderzijde en zijkanten voorzien wordt van warmte-isolatie. Als het om de begane grondvloer gaat, is het aan te bevelen om de totale vloer minstens een R_c -waarde van 5,0 te geven.

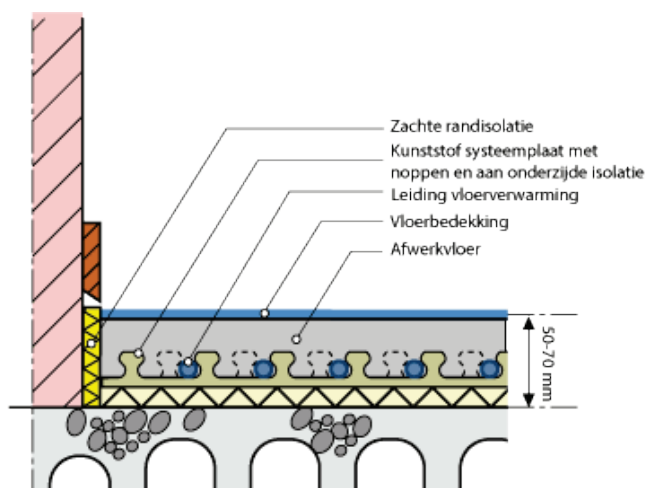
De grootte van de massa die opgewarmd moet worden, bepaalt in belangrijke mate de regelsnelheid van een vloerverwarmingssysteem: hoe kleiner de massa hoe sneller. In goed geïsoleerde nieuwbouw heeft een licht systeem (dunne dekvloer met daarin de vloerverwarmingsleidingen en direct daaronder tenminste 20 mm isolatie) daarom de voorkeur, zeker als de vloerverwarming (in een vertrek) de hoofdverwarming is. De isolatie zorgt voor een halvering van de opwarmtijd [121].

Te onderscheiden zijn:

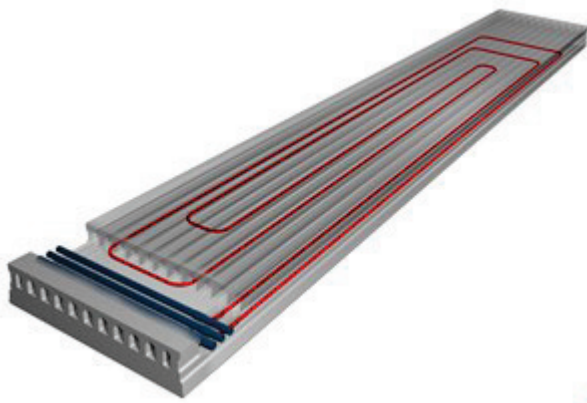
- Droogbouwsystemen: De leidingen worden bevestigd aan, op of in isolatieplaten die vaak ook nog voorzien zijn van warmte spreidende, metalen platen. De bovenzijde wordt afgewerkt met bijvoorbeeld twee lagen gipsvezelplaat. Dergelijke systemen zijn dankzij het geringe gewicht vooral interessant in houtskeletbouw en de bestaande bouw. Ze reageren bovendien snel op de warmtevraag;
- Capillaire systemen: Deze bestaan uit dunne buisjes (ø 4 mm) die aan hoofdbuizen zijn gekoppeld. Ze kunnen onder andere in een dunne gietvloer of egalisatielaag opgenomen worden. Deze systemen zijn erg dun en reageren snel. De oppervlaktetemperatuur van de vloer is erg gelijkmatig en daardoor de afgifte hoog. Daardoor zijn bij gelijke afgifte, lagere temperaturen mogelijk. Het drukverlies over de matten is vergelijkbaar met normale

vloerverwarming. Wel is altijd een scheiding nodig tussen opwekker en de matten omdat het materiaal niet dicht is tegen zuurstofdiffusie;

- Natbouwsystemen op een isolatielaag van 10 tot 20 mm (afbeelding 7.6): De verwarmingsbuizen worden in de dekvloer aangebracht, bijvoorbeeld op een noppenplaat of een (isolatie) tackerplaat. De isolatielaag ligt direct onder de dekvloer. Dit levert een relatief licht systeem op met een acceptabele opwarmingssnelheid. Er is dan bovendien (als ook de zijkanten geïsoleerd zijn) sprake van een zwevende dekvloer hetgeen zeer gunstig is voor de geluidsisolatie naar bijvoorbeeld onderliggende vertrekken, mits het juiste isolatiemateriaal wordt gebruikt. De dekvloer kan bestaan uit een zandcementvloer, maar vanuit milieuoogpunt gaat de voorkeur uit naar een anhydriet dekvloer. Het is noodzakelijk bij wand- en kolomaansluitingen, leidingdoorvoeren en dergelijke, stroken isolatiemateriaal aan te brengen om scheurvorming tegen te gaan. Ook warmteoverdracht naar andere constructiedelen en andere ruimten wordt zo beperkt;
- Natbouwsystemen die direct op het beton zijn bevestigd of op een folie. Dit zijn goedkope systemen maar met nadelen. Door de grote massa van de beton- en afdekvloer samen is het systeem erg traag. Reageren op comfortwensen van de bewoner is niet mogelijk. Ook is de warmteafgifte naar het onderliggende vertrek erg groot (tot 50%). Dat is meestal ongewenst en geeft in appartementen een zeer onrechtvaardige warmtekostenverdeling, ook bij individuele ketels. Het is in de gestapelde bouw dus niet toepasbaar;
- Slangen opgenomen in de constructieve betonvloer of de woningscheidende wand (mits geïsoleerd). Zogenaamde 'Betonkernactivering' (afbeelding 7.7). Het principe is gebaseerd op accumulatie van warmte en koude in de bouwconstructie. De verwarmingsleidingen worden hierbij in de kern van de vloer c.q. het plafond aangebracht en niet in de dekvloer. Hierdoor wordt de thermische actieve massa van de betonnen verdiepingsvloeren vergroot: In de winter wordt het beton door het water warm gehouden. Betonkernactivering geeft warmte af aan de bovenzijde van de vloer én aan de onderzijde van de vloer (plafond). Het is dus zeker niet geschikt voor appartementen. Bewoners kunnen hun eigen temperatuur niet meer regelen en hun energieverbruik niet meer meten, ook niet bij een individuele CV-ketel. Ook in eengezinswoningen moet goed afgewogen worden of een systeem dat de hele woning op één temperatuur houdt, gewenst is. Betonkernactivering kan toegepast worden in serie met bijvoorbeeld LT-radiatoren om de retourtemperatuur verder omlaag te brengen (normaal gesproken enkele graden boven de ruimtetemperatuur). Dat is gunstig voor het rendement van warmtepompen, zonthermische systemen en stadsverwarming.



Afb. 7.6 Voorbeeld van de opbouw van een natbouwsysteem (zandcement of anhydriet) voor vloerverwarming. Voor een goede geluidsisolatie (als dat aan de orde is) moet onder én naast de zwevende dekvloer waterdichte (PE-)folie en een relatief zacht isolatiemateriaal gebruikt worden, bijvoorbeeld drukvaste minerale wol; hiervoor zijn specifieke producten verkrijgbaar. De folie voorkomt dat specie of anhydriet weglekt en daarmee mogelijk, na uitharding, de geluidsisolatie deels teniet doet. De plinten moeten vrij blijven van de dekvloer



Afb. 7.7 Bij betonkernactivering wordt gebruik gemaakt van het accumulerende vermogen van de betonconstructies. De koel- en verwarmingsenergie wordt in de betonconstructie opgeslagen en wanneer nodig aan de ruimte afgegeven. 'Lage temperatuur verwarmen en hoge temperatuur koelen'. In woningen moet altijd ook een snel reagerend systeem aangebracht worden om aan de wisselende comfort eisen van de bewoners te voldoen. (Bron: VBI; prefab vloerelement met betonkernactivering)

Als in het verwarmingssysteem ook ander afgifte systemen zoals radiatoren zijn opgenomen, moet de watertemperatuur in het vloerverwarmingssysteem verlaagd worden. Hiervoor wordt het CV-water met het koudere retourwater uit de vloerverwarming gemengd om de juiste temperatuur te bereiken. Een thermostatische afsluiter zorgt hiervoor.

Voordelen vloerverwarming

- Verhoging van het comfort: relatief veel stralingswarmte en geen 'koude' vloer zodat de luchttemperatuur gelijkmatiger is dan bij radiatoren of convectoren;
- Vanwege de lage watertemperatuur goed te koppelen met zonne-energie (paragraaf 7.3.8) en warmtepompsystemen (paragraaf 7.3.3);
- Geen zichtbare installatie; verhoging van de veiligheid door het ontbreken van radiatoren (heet, scherpe randen);
- Weinig luchtbewegingen, minder stofverspreiding en geen stofschroei;
- In combinatie met een bodembron is het mogelijk om 'passief' te koelen;
- Bij een zwevende dekvloer kan de geluidisolatie ook verbeteren.

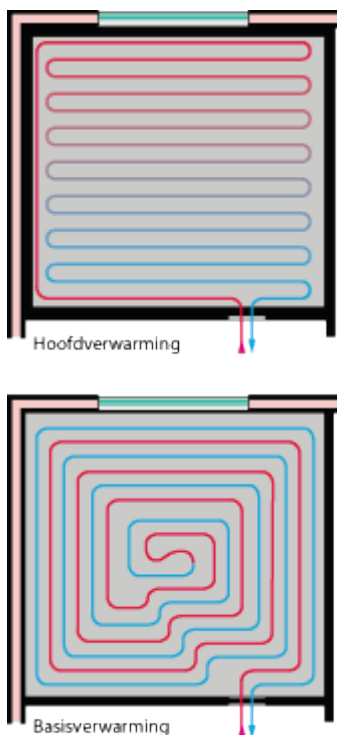
Nadelen vloerverwarming:

- De dekvloer plus isolatie is dikker (normaal ca. 50 à 70 mm) dan de gebruikelijke dekvloer;
- Ook de moderne 'natte' systemen zijn, vooral bij het opwarmen, traag;
- Extra kosten ten opzichte van radiatorenverwarming;
- Er is een beperking bij de keuze van vloerbedekking: Zie hierna;
- Extra elektriciteitsverbruik voor een extra pomp. Schakel de pomp direct via de thermostaat of de ketel of pas een pompschakeling toe. Bij volledige vloerverwarming is geen extra pomp nodig;
- Ingestorte drinkwaterleidingen kunnen extra opgewarmd worden met risico op Legionella groei (zie paragraaf 9.1.2).

Opmerkingen:

- Tegen meerkosten is een (thermostatische) regeling van de afgifte per zone of vertrek mogelijk. Een dergelijke regeling is zeer gewenst. In de praktijk blijken deze regelingen vaak extra energie te kosten omdat het hele systeem altijd op temperatuur wordt gehouden. Op zich is dat niet nodig door de warmte-opwekker net als in een traditioneel systeem met een kamer(klok)thermostaat aan te sturen. Ook is een zoneregeling mogelijk die bij warmtevraag de warmte-opwekker aanstuurt;
- Houd rekening met de benodigde ruimte voor de regeleenheid (met o.a. verdeler en meestal een extra pomp). Deze moet hoger staan dan de leidingen i.v.m. de mogelijkheid tot ontluchting;

- Let op dat kunststofbuizen 'zuurstofdicht' zijn en voorzien van KOMO-keur. Anders moet er een scheiding gemaakt worden met een warmtewisselaar tussen het deel van de installatie dat zuurstofdicht is en het deel dat zuurstofrijk is;
- Ontluchten is bij vloerverwarming erg belangrijk. Een luchtbel kan een hele lus volledig uitschakelen. De lussen moeten stuk voor stuk ontlucht worden, door de andere lussen dicht te zetten;
- Vloerverwarmingsleidingen kunnen op verschillende manieren worden gelegd. Let hierbij op het volgende:
 - Zo min mogelijk bochten in het patroon;
 - Het aanvoerwater (met de hoogste temperatuur) eerst in de 'koudste' zones (bij de gevel) brengen en in die koude zones de vloerverwarmingsbuizen dicht bij elkaar leggen;
 - Houd rekening met mogelijke dilataties in de dekvloer;
 - Verbindingen tussen leidingen in de vloer zijn ongewenst i.v.m. moeilijk opsporen en repareren eventuele lekkage;
 - Bij vloerverwarming als bijverwarming wordt vaak gekozen voor een 'spiraal' legpatroon om een gelijkmatige vloertemperatuur te maken.
- Reken voor een cementgebonden dekvloer minimaal één week droogtijd per 10 mm dikte. Voor een anhydrietgebonden dekvloer moet het opstookprotocol van de leverancier gevolgd worden. Daarmee is de droogtijd minimaal drie weken;
- Tenzij alle slangen dezelfde lengte hebben, moet ook een vloerverwarmingssysteem goed ingeregeld worden, met 'flowcontrols' op de verdeler.



Afb. 7.8 Legpatronen vloerverwarmingsbuizen. Bij vloerverwarming als hoofdverwarming worden de leidingen bij de gevel vaak dicht bij elkaar gelegd (als compensatie van de 'koude' gevel) dan in de rest van de kamer

Vloerverwarming en vloerbedekking

De toepassing van vloerverwarming heeft invloed op de keuze van de vloerafwerking of de vloerbedekking:

- Een steenachtige afwerking heeft de voorkeur omdat dan optimaal gebruik wordt gemaakt van stralingswarmte;
- Gebruik bij wit marmer een kunststof of gegalvaniseerde wapening in de dekvloer (indien nodig), dit om verkleuring van het marmer door normale wapening te voorkomen;

- Let bij een niet-steenachtige vloerbedekking op het volgende:
 - De warmteweerstand inclusief een ondertapijt mag niet hoger zijn dan 0,15 m²·K/W. Dit houdt in dat allerlei (zachte) vloerbedekkingen mogelijk zijn, mits niet te dik. Zelfs bepaalde parket- en laminaatvloeren zijn, mits verlijmd en zonder ondervloer, mogelijk. De vloerbedekking moet permanent antistatisch zijn;
 - Informeer zowel bij de leverancier van vloerverwarming als bij de leverancier van de vloerbedekking naar de mogelijkheden. Zij kunnen tevens aanwijzingen geven voor het aanbrengen van de vloerbedekking, denk hierbij bijvoorbeeld aan de vochtigheidsgraad van de lucht en de dekvloer bij het aanbrengen van de vloerbedekking. Zie ook www.allesovertapijt.nl.

Informeer de bewoners over de soorten vloerbedekking die mogelijk zijn. Maak bijvoorbeeld een gebruikshandleiding via [178].

Wandverwarming

Een warmtewand berust op hetzelfde principe als vloerverwarming: in een wand worden leidingen aangebracht waar warm water doorheen stroomt. De verwarmde wand (maximaal toelaatbare wandtemperatuur van circa 35 °C) geeft vooral stralingswarmte af. De wand moet aan de achterkant (extra) geïsoleerd zijn om warmteverliezen te beperken. Woningscheidende wanden moeten als een geïsoleerde ankerloze spouwmuur uitgevoerd worden. De meest gangbare systemen voor een warmtewand bestaan uit stenen elementen (kalkzandsteen, keramische steen) met prefab sleuven. Hierin kunnen kunststof leidingen worden aangebracht. De wand wordt in zijn geheel afgestuct. Met name voor houtskeletbouw en de bestaande bouw zijn ook lichte systemen als wandverwarming verkrijgbaar. Bijvoorbeeld voorgefreesde gipsvezelplaat. Wandverwarming kan uitstekend gecombineerd worden met radiatoren-, convectoren- en vloerverwarming.

De voor- en nadelen van warmtewanden komen globaal overeen met die van vloerverwarming. Nog enige specifieke opmerkingen:

- Door de meestal grotere massa van een warmtewand ten opzichte van vloerverwarming, zal dit systeem trager zijn dan vloerverwarming, maar veel sneller dan betonkernactivering;
- Nadeel is dat de inrichtingsvrijheid enigszins wordt beperkt: Bewoners mogen de wand niet meer dan 20% afschermen met bijvoorbeeld een groot dicht wandmeubel;
- Tijdens de bouw en tijdens bewoning moet men voorzichtig zijn met het boren van gaten. Overigens zijn de slangen als ze warm zijn in de wand met de hand te voelen. Een andere methode is het natspuiten met een plantenspuit: ter plekke van de slangen droogt de wand veel eerder op.



Afb. 7.9 Warmtewand in aanbouw. De prefab sleuven kunnen zowel verticaal als horizontaal lopen, dit hangt af van het merk van de elementen. Horizontaal lopende leidingen hebben als voordeel dat ze eenvoudiger te ontlichten zijn; nadeel is dat de stenen qua draagkracht (door de horizontale sleuven) niet optimaal gebruikt worden

7.2.4 Luchtverwarming (en koeling)

Bij (centrale) luchtverwarming, in combinatie met gebalanceerde ventilatie, wordt de lucht in een luchtverwarmer verwarmd en via een kanalenstelsel door de woning verspreid. Via een trappenhuis, hal of kanaal wordt een deel van de lucht, de recirculatielucht, weer teruggevoerd naar de luchtverwarmer en opnieuw verwarmd. Het andere deel wordt via keuken, badkamer en wc naar buiten afgevoerd. Een even grote hoeveelheid verse buitenlucht wordt tegelijkertijd weer toegevoerd. Deze verse lucht wordt via warmteterugwinning (WTW) uit de afgevoerde ventilatielucht voorverwarmd. Er zijn installaties verkrijgbaar die ook kunnen koelen.

Bij zeer goed geïsoleerde woningen is geen recirculatielucht meer nodig. Met de gewone ventilatielucht kan voldoende warmte in de woning gebracht worden zoals al in de 'Minimum Energiewoningen' bleek [188]. Het 'Passiefhuis' (paragraaf 3.6) is gebaseerd op dit principe. Het verwarmingsvermogen exclusief ventilatieverlies, maar inclusief infiltratie en opwarmtoeslagen mag dan niet veel hoger zijn dan 2 kW.

Voordelen luchtverwarming

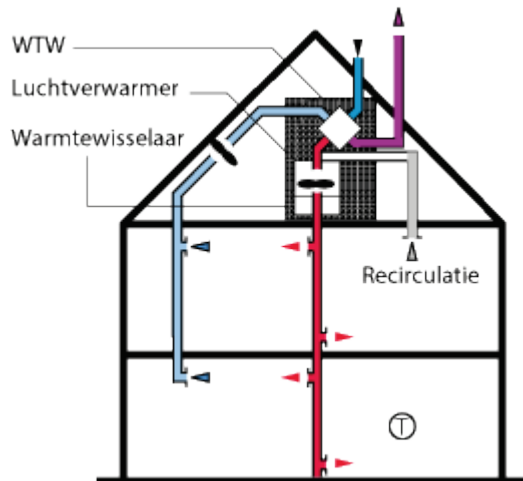
- Neemt in het vertrek zelf geen ruimte in beslag;
- Luchtverwarming reageert snel op de warmtevraag. Dit heeft o.a. als voordeel dat zodra de zon warmte aan de woning levert, de warmteafgifte door de luchtverwarming direct kan stoppen zodat het niet te warm wordt. Bij een zware bouwwijze is dit voordeel gering omdat de massa nog langere tijd warmte afgeeft;
- Vooral in zeer goed geïsoleerde woningen met een lage energievraag levert luchtverwarming een geschikt en goedkoop afgiftesysteem, omdat geen recirculatie nodig is.

Nadelen luchtverwarming

- Moeilijke naregeling per vertrek. Bij luchtverwarming met meerdere zones kan de regelbaarheid vergelijkbaar zijn met die van radiatorenverwarming met thermostatische radiatorcranken door de luchthoeveelheden (debieten) aan te passen;
- Geen stralingsaandeel. Hierdoor moet de gemiddelde luchttemperatuur op zithoogte, bij gelijkblijvend comfort, iets hoger zijn vergeleken met radiatoren-, vloer- of wandverwarming, hetgeen dus een iets hoger energieverbruik met zich meebrengt. Maar dit extra verbruik wordt gecompenseerd doordat het systeem relatief snel reageert.

Opbouw luchtverwarming *Individueel en collectief*

In laagbouwwoningen komt luchtverwarming alleen voor als individuele installatie. In de gestapelde bouw kan luchtverwarming zowel individueel als collectief uitgevoerd worden. Bij een collectief systeem kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een collectieve ketel of een cascade-opstelling van ketels en per woning een indirect gestookte luchtverwarmer. De warmteterugwinning kan collectief plaatsvinden.



Afb. 7.10 Principe luchtverwarmingssysteem. De afstand tussen inblaaspunt en een gevel mag maximaal zo'n 6 meter bedragen

Aantal zones

Het aantal zones in het systeem is bepalend voor de regelbaarheid van de temperatuur per vertrek en het wel of niet gebruiken van recirculatielucht in de slaapkamers. Het éénzone-systeem heeft in de luchtverwarmer één warmtewisselaar. Alle kamers worden verwarmd en geventileerd met een mengsel van recirculatielucht en verse buitenlucht. De luchttemperatuur in de woonkamer is bepalend voor de temperatuur in de rest van de woning.

Nadelen van het éénzone-systeem

- De temperatuur in de slaapkamers is afhankelijk van die in de woonkamer en slecht regelbaar waardoor de kamers soms warmer zijn dan gewenst;
- De luchtkwaliteit in de slaapkamers is mede afhankelijk van de kwaliteit van de recirculatielucht; denk hierbij aan bijvoorbeeld de verspreiding van sigarettenrook. Dit is niet van toepassing als geen recirculatie wordt toegepast;
- In geval van brand kan rook zich snel via de recirculatielucht verspreiden. Een rookalarm dat de installatie uitschakelt, kan dit nadeel opheffen.

In principe zijn ook tweezone-systemen mogelijk. Bij een tweezone-systeem is de installatie in twee zones verdeeld, bijvoorbeeld de begane grond met woonkamer en keuken en de verdieping met de slaapkamers. Voor elke zone is in de luchtverwarmer een aparte warmtewisselaar en ventilator aanwezig. Hierdoor is in elke zone de verwarming (of koeling) onafhankelijk van de andere zone te regelen. Bijkomend voordeel kan zijn (afhankelijk van de uitvoering) dat de slaapkamers met alleen verse buitenlucht worden verwarmd en geventileerd.

Type warmtebron

- Bij de direct gestookte luchtverwarmer wordt de warmte in het toestel zelf opgewekt en direct aan de lucht overgedragen;
- Bij de indirect gestookte luchtverwarmer wordt warm water door een warmtewisselaar in de luchtverwarmer geleid. De warmte wordt hier overgedragen aan de lucht van het luchtverwarmingssysteem.

Voordelen van het indirecte systeem

- De warmwaterbron (CV-ketel, warmtepomp of stadsverwarming) kan eveneens warmte leveren voor het tapwater en eventuele radiatoren;
- De indirect gestookte luchtverwarmer is voor een tweezone-systeem eenvoudiger van constructie dan de direct gestookte. Met name indirect gestookte luchtverwarmers kunnen eenvoudig als lage temperatuursysteem worden uitgevoerd. Alleen de warmtewisselaar moet zo gedimensioneerd worden dat bij een relatief lage watertemperatuur voldoende warmte aan de lucht kan worden afgegeven. Het overige deel van de luchtverwarmingsinstallatie verandert niet, luchtverwarming werkt altijd al met relatief lage temperaturen (maximaal 50 °C).

Overigens zijn direct gestookte luchtverwarmers als HR-toestel leverbaar.

Detaillering luchtverwarmingssysteem

Van groot belang voor het comfort en het functioneren van een luchtverwarmingssysteem zijn de volgende punten:

- In de meeste systemen met luchtverwarming wordt de lucht centraal ingeblazen: alle kanalen en inblaasroosters liggen centraal in de woning (afbeelding 7.10). De lengte van de kanalen blijft daardoor beperkt en de weerstand is laag;
- Let op een goede verdeling van de (warme) lucht in de kamers. Door deels laag in te blazen ontstaat een betere temperatuurverdeling;
- Kies de juiste inblaasroosters of ventielen; er zijn vele soorten verkrijgbaar met specifieke eigenschappen: de ingeblazen lucht mag niet kouder zijn dan 16 °C bij inducerende roosters, en niet kouder dan 18 °C bij niet-inducerende roosters; vooral van belang buiten het stookseizoen wanneer wel lage luchttemperaturen kunnen voorkomen (dan alleen ventilatie);
- Het is van belang dat de toevoerlucht snel wordt gemengd met de lucht in het vertrek. Daarom is bij een hoog-inducerend rooster het oppervlak voorzien van kleine openingen (fijne sleuven of gaatjes). Bij een hoog-turbulent rooster is het roosteroppervlak eveneens voorzien van kleine openingen die zodanig zijn gevormd dat de toevoerlucht in turbulentie komt;
- De luchtsnelheid in de kanalen mag maximaal 3 m/s bedragen i.v.m. geluid. Ter voorkoming van comfortklachten moet de (maximale) luchtsnelheid ter plaatse van de toevoerroosters aan de volgende eisen voldoen:
 - Bij hoog inblazen met warme lucht (via een hoog-inducerend of hoog-turbulent rooster): < 2,0 m/s;
 - Bij hoog inblazen met onverwarmde lucht (via een hoog-inducerend of hoog-turbulent-rooster): < 1,0 m/s;
 - Bij laag inblazen met warme lucht: < 0,8 m/s.
 - Bij laag inblazen met onverwarmde lucht: < 0,4 m/s.
- De kanalen moeten een vloeiend verloop hebben. Hoe minder weerstand hoe beter, kies daarom voor weinig bochten en voor een voldoende diameter van de kanalen;
- Kanalen in de kruipruimte zijn sterk af te raden, zij hebben relatief veel warmteverlies;
- Kies de plek van de ruimtethermostaat zorgvuldig uit. De thermostaat moet bijvoorbeeld niet te dicht bij een toevoerrooster, ventiel of deur gemonteerd worden;
- Voorkom geluidshinder ten gevolge van de installatie. Denk aan maatregelen om trillingen te dempen. Breng bijvoorbeeld voor elk toevoerrooster of ventiel een geluiddempende slang aan. Uit de praktijk blijkt dat geluidshinder vaak te weinig aandacht krijgt;
- Voor ontwerpaandachtspunten wordt verder verwezen naar [155] en [160].

Bouwkundige ruimtelijke randvoorwaarden

- De afstand van gevel tot toevoerroosters of ventielen mag maximaal zo'n 6 meter bedragen;
- Er mogen, in verband met een gelijkmatige luchtverdeling, geen obstakels (zoals meubels, kasten en dergelijke) voor of vlakbij toevoerroosters of ventielen staan;
- In verband met ventilatie en recirculatie moet aan de onderzijde van de binnendeuren een spleet van 3,5 cm vrij blijven (tussen bovenkant afwerkvloer en onderkant deur). Ongeveer 2 cm is noodzakelijk, maar er moet rekening gehouden worden met de benodigde ruimte voor

vloerbedekking. Alternatief zijn roosters in of naast de deur. Die bestaan ook in geluidgedempte uitvoering.

Diversen

- Zorg voor een duidelijke instructie voor de bewoners: mondeling en schriftelijk, bijvoorbeeld in een bewonershandboek en in stickervorm (op de luchtverwarmer). Vooral het schoonmaken en vervangen van de filters verdient alle aandacht:
 - Minimaal 2x per jaar vervangen;
 - Minimaal 1x daar tussendoor schoonmaken met behulp van een stofzuiger.

Genoemde tijden zijn ter indicatie, voor specifieke gegevens informeer bij de fabrikant van de WTW-unit en/of van de filters. Zie ook paragraaf 6.1.2).

- Regelmatig onderhoud van het totale systeem is van groot belang. Denk hierbij aan het controleren van de instelling van de roosters of ventielen, het grondig reinigen van de complete luchtverwarmer (één keer per jaar) en het reinigen van het kanalenstelsel (één keer per 8 jaar) (zie ook [152];
- Let op dat er energiezuinige (gelijkstroom) ventilatoren worden toegepast en dat de luchtweerstand in het systeem laag is (< 100 Pa). Anders kan het elektriciteitsverbruik wel oplopen tot zo'n 800 kWh/jr.

7.2.5 Lokale verwarming

Bij lokale verwarming vindt zowel de opwekking als de afgifte van de warmte plaats in een hetzelfde toestel. Voorbeelden van lokale verwarming zijn: gevelkachel, gashaard, inbouwgashaard en elektrisch stralingspaneel. In bestaande bouw kan lokale verwarming vooral voor sfeer en bijverwarming zorgen, maar in zeer goed geïsoleerde nieuwbouw kan het als hoofdverwarming dienen. Er zijn toestellen met waakvlam en toestellen met een elektronische ontsteking. Diverse toestellen zijn voorzien van een afstandsbediening, soms met ingebouwde (klok)thermostaat. Is dat het geval, dan is de plek waar de afstandsbediening neergelegd wordt, van belang (niet in de zon, niet in een koude luchtstroom enz.). In de praktijk zullen gastoestellen niet meer in nieuwbouw worden toegepast door het ontbreken van een gasaansluiting.

Voordelen lokale toestellen

- Snel reagerend en goed regelbaar (mits voorzien van een thermostatische regeling). Aansluiting op een (klok)kamerthermostaat is soms mogelijk;
- Kan een zuinig stookgedrag bevorderen door selectief stoken: men ervaart direct dat het toestel brandt;
- Geen leidingverliezen;
- Geen ventilator bij gevelkachels en de meeste gashaarden, dus geen elektriciteitsverbruik.

Nadelen lokale toestellen

- Vrij laag tot laag rendement. Bij meerdere toestellen met waakvlam zijn er dus bovendien meerdere waakvlammen. NTA 8800 [30] hanteert voor lokale gasverwarming, inclusief waakvlam, met afvoer van verbrandingsgassen een opwekkingsrendement (= gebruiksrendement) van 65% op bovenwaarde en een systeemrendement van 1,0. Op de markt zijn echter toestellen verkrijgbaar met een hoger rendement wat resulteert in een totaal rendement dat vrijwel overeenkomt met de laagste waarde van centrale verwarming. Bij lokale gasverwarming zonder afvoer van verbrandingsgassen (zoals een afvoerloze sfeerhaard) hanteert de norm een opwekkingsrendement van 10%;
- Voor tapwaterverwarming is een apart toestel nodig.

Gevellkachels

Gevellkachels zijn tot drie toestellen goedkoper in aanschaf dan radiatorenverwarming en geven toch een vergelijkbaar comfort. Nadeel is dat de afvoer van rookgassen bij de gevel problemen veroorzaakt. De

rookgassen kunnen direct hinder opleveren, bijvoorbeeld op een galerij of balkon, maar ook indirect door menging met nog toe te voeren ventilatielucht. Zie NEN 2757 [164] voor de eisen die gesteld worden aan de plaats van de geveldoorvoer. Gevelkachels hebben in de NTA 8800 een forfaitair rendement van 65%, maar iets hogere waarden komen in de praktijk ook voor. Gevelkachels zijn altijd volledig gesloten (luchttoevoer direct van buiten).

Let op!

Zorg voor voldoende plaatsingsruimte onder de vensterbank en voor voldoende afstand van de gevelkachel tot gordijnen in verband met brandgevaar.

Gashaard (vrijstaand, inbouw)

Gashaarden zijn in de nieuwbouw met mechanische luchtafvoer alleen toe te passen als men een 'gesloten' type gebruikt. Anders bestaat het gevaar dat afvoergassen in geval van onderdruk de woning worden binnengezogen. Alleen bij volledig natuurlijke ventilatie kan een open toestel (met rookgasafvoer) worden toegepast. Volledig gesloten toestellen zijn bij de meeste fabrikanten in allerlei modellen verkrijgbaar. Dergelijke haarden worden voorzien van een concentrisch toe- en afvoersysteem zoals dat ook voor CV-ketels gebruikelijk is. Een veel gebruikte buitendiameter van de buis is 150 mm. Het vollostrendement op bovenwaarde bedraagt minimaal 76%, dit is op onderwaarde circa 84%. Hogere waarden zijn zeker ook mogelijk (tot globaal 80% op bovenwaarde of 89% op onderwaarde).

Er zijn ook gashaarden die zowel lokaal (vrijwel altijd de woonkamer) als aan een CV-installatie warmte kunnen leveren; een buffervat zorgt er voor dat het CV-circuit voldoende warmte krijgt wanneer de haard te weinig levert omdat er geen warmtevraag is in de ruimte waar de haard staat.

Let op!

Er zijn tegenwoordig ook volledig open (sfeer-)toestellen zonder rookgasafvoer te koop. Ze gebruiken 'gel' of gas als brandstof. De toestellen lozen hun rookgassen op de kamer waarin ze hangen en gebruiken extra zuurstof uit de kamer. Ze zijn daarom uit gezondheidsoogpunt zeer sterk af te raden.

Elektrische weerstandverwarming

Elektrische verwarming kan in de vorm van stralingspanelen of vloerverwarming. Als hoofdverwarming is elektrische verwarming af te raden bij reguliere woningen. Bij zeer goed geïsoleerde woningen met een zeer lage warmtebehoefte kan elektrische verwarming mogelijk wel een interessante optie zijn in verband met de lage investeringskosten. Het nadeel van elektrische verwarming is het lage rendement op primaire energie. Bij de opwekking van elektriciteit in de centrale en bij het transport gaat veel energie verloren. Van de oorspronkelijk opgewekte energie kan in de woning volgens NTA 8800 [30] uiteindelijk 69% (op bovenwaarde) nuttig worden gebruikt. Met elektrisch verwarmen is een gunstige energieprestatie alleen te realiseren met een overmaat aan PV-panelen (waarbij het dakvlak van een woning vaak onvoldoende zal zijn om deze PV te plaatsen).

Voor incidentele toepassing biedt elektrisch (na)verwarmen wel zinvolle mogelijkheden. Hierbij kan gedacht worden aan het kort verwarmen van een badkamer met behulp van een infrarood stralingspaneel (zie ook uitgebreide informatie bij www.milieucentraal.nl). Vloerverwarming direct onder de tegels is daarvoor te traag.

Wanneer men met duurzame energie wil verwarmen, is de combinatie PV-panelen (hoofdstuk 10) en weerstandsverwarming de minst logische keus. Direct benutten van zonnewarmte (paragraaf 7.3.8) heeft een twee tot drie keer zo hoog rendement. Wil men de elektrische route, dan is het verstandig om voor een warmtepomp te kiezen (paragraaf 7.3.3).

Tegelkachel

Van oorsprong is een tegelkachel een zeer zware kachel met hout als brandstof. De kachel werd in korte tijd flink opgestookt, waarna deze lange tijd warmte bleef afgeven, vooral veel stralingswarmte.

Tegenwoordig zijn er diverse typen verkrijgbaar en wordt onder andere gas als brandstof gebruikt.

Gezien het huidige bewoningspatroon en de goed geïsoleerde woningen is een tegelkachel geen voor de hand liggende keus: de kachel is namelijk erg traag en levert nog warmte als het weer al is omgeslagen of de bewoners zijn vertrokken. Voordeel van een tegelkachel is dat het buitenoppervlak nooit te heet wordt.

Houtkachels

Lichte, veelal stalen houtkachels hebben soms toch een redelijk rendement. Let op dat er een aparte toevoer voor verbrandingslucht gemaakt wordt die geopend wordt tegelijk met de rookgasklep van de kachel. Anders kan het mechanische ventilatie-systeem de rookgassen in de woning zuigen.

Om een houtkachel te stoken is continu toezicht nodig en moet veel hout aangevoerd worden. Het is gebruikelijk om een jaarverbruik op voorraad te hebben wanneer de houtkachel als hoofdverwarming wordt gebruikt. Ter indicatie: 1000 m³ gas staat gelijk aan 2000 kg hout of 13 m³. Er zijn ook hout-pellet-kachels te koop die volledig automatisch werken. Een pellet is een brokje samengeperst houtzaagsel. De opslag is wat compacter: 1000 m³ gas staat gelijk aan 10 m³ pellets.

Nadeel van houtkachels is dat de buitenkant erg heet kan worden met gevaar voor verbranding en stofschroei. Zie www.milieucentraal.nl, zie ook Kennisdocument Houtstook in Nederland [255] en www.infomil.nl voor de milieueffecten (geurhinder, fijnstof) van het gebruik van houtkachels. Zie voor pelletkachels www.milieucentraal.nl. Er zijn filters verkrijgbaar die de uitstoot van o.a. fijnstof aanzienlijk verminderen. Vergeet de term 'allesbrander', want alleen schoon hout en pellets mogen gestookt worden.

Open haard

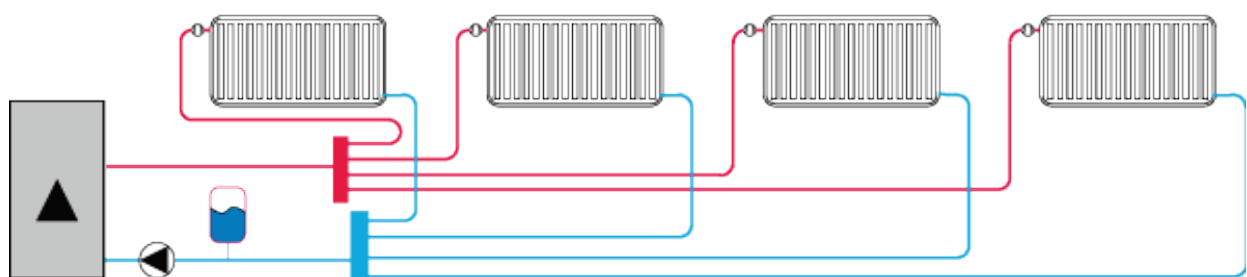
Open haarden hebben een zeer laag rendement en zijn alleen bedoeld voor het verhogen van de sfeer. Toepassing is sterk af te raden, mede door de milieuproblemen (o.a. geurhinder, fijnstof) die ze veroorzaken, zie www.milieucentraal.nl. Voorkom dat de rookgassen door een mechanisch ventilatiesysteem de woning worden ingezogen, maak daarom voor de verbrandingslucht een aparte toevoer die tegelijk met de rookgasklep wordt geopend.

Als alternatief voor een open haard, kan men beter voor een kleine gashaard kiezen.

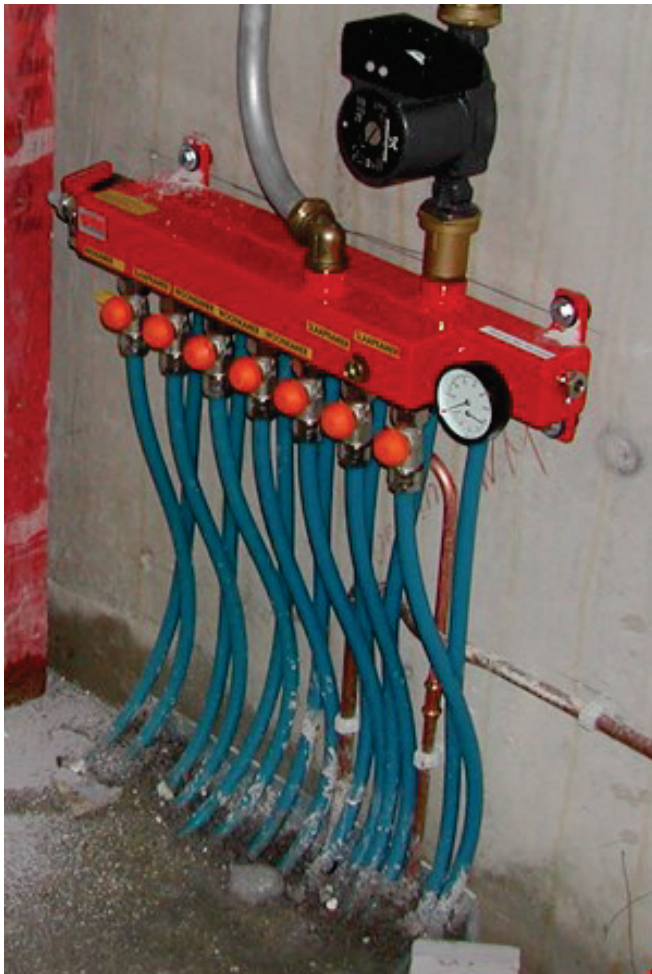
7.2.6 Distributie en regeling

Leidingsysteem

Bij een modern CV-systeem is elke radiator (of convector) en elk vloer- (of wand-) verwarmingsveld direct aangesloten op zowel de aanvoer- als de retourleiding van en naar de warmtebron. Hierdoor is de temperatuur van het aangevoerde water overal gelijk. Vanuit één of twee centrale punten in de hoofdaan- en hoofdafvoerleiding gaan aparte leidingen, meestal kunststof 'slangen', naar alle radiatoren en vloerverwarmingsvelden (afbeelding 7.11). Op die centrale punten worden vaak 'verdelers' (afbeelding 7.12) aangebracht waarmee de verdeling van de hoeveelheid water wordt ingeregeld. Bij vloer- en wandverwarming zijn verdelers standaard.



Afb. 7.11 Een CV-systeem met verdelers waar vandaan de leidingen naar de diverse afgiftesystemen lopen



Afb. 7.12 Een verdeler met inregelvoorzieningen en afsluiters. De verdeler is nog niet voorzien van warmte-isolatie, maar dit is zeker aan te bevelen

Leidingisolatie

Het isoleren van verwarmingsleidingen is noodzakelijk en eenvoudig te realiseren:

- Op bergzolders of vlieringen;
- In weinig of niet-verwarmde ruimten zoals een gang of tochtportaal.

Leidingen in steenachtige vloeren en wanden zijn altijd voorzien van mantelbuizen. Beschouw dergelijke mantelbuizen niet als 'isolatie' omdat ze namelijk nauwelijks isoleren. Zie ook [ISSO-publicatie 108 'Warmteverliezen in leidingsystemen'](#) [251].

Verwarmingsleidingen in geventileerde kruipruimten moeten worden vermeden. De warmteverliezen die hier optreden zullen niet ten goede komen aan de woning.

Het warmteverlies per meter geïsoleerde leiding is afhankelijk van:

- Het temperatuurverschil tussen het CV-water en de ruimte waar de leiding doorheen loopt;
- De diameter van de leiding;
- De dikte en het type leidingisolatie;
- Volledigheid van isolatie bij beugels, doorvoeringen etc.

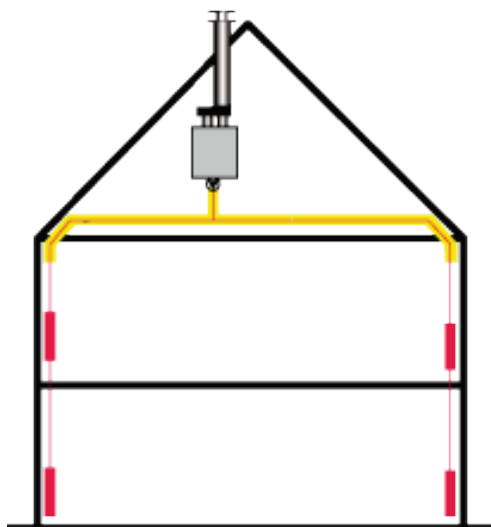
Met behulp van afbeelding 7.13 is de besparing door het aanbrengen van leidingisolatie globaal te berekenen. Hierna staat een voorbeeld van zo'n berekening. De netto-reductie van het energieverbruik door leidingisolatie ligt lager dan de waarden uit afbeelding 7.13 omdat een deel van de leidingverliezen ten goede komt aan de verwarming van de woning.

Afb. 7.13 Bruto vermindering van het leidingverlies per meter leiding in een water-CV door het isoleren van de leidingen ten opzichte van de situatie zonder leidingisolatie, in m³ aardgas per jaar

| | | Leidingdiameter | | | | |
|-----------------------|-------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | 12 mm | 15 mm | 22 mm | 28 mm | 35 mm |
| | | Jaarlijkse aardgasbesparing per meter leiding bij isolatie [m ³] | | | | |
| Dikte leidingisolatie | 9 mm | 2,5 | 3 | 5 | 6 | 8 |
| | 20 mm | 3 | 3,5 | 6 | 7 | 9 |
| | 30 mm | 3,5 | 4 | 6,5 | 8,5 | 10 |

Uitgangspunten bij afbeelding 7.13:

- De gemiddelde ruimtetemperatuur: 15 °C (onverwarmde ruimte);
- Gemiddelde watertemperatuur van 30 °C over het stookseizoen, inclusief nachtverlaging;
- Gebruiksrendement HR-ketel: 97,5% bovenwaarde;
- Een stookseizoen van 212 dagen.



Afb. 7.14 Het isoleren van de CV-leidingen op de geïsoleerde zolder van de referentie tussenwoning bespaart zo'n 50 m³ aardgas per jaar als de zolder niet verwarmd wordt

Rekenvoorbeeld:

- 25 meter geïsoleerde verwarmingsleidingen op zolder;
- Onverwarmde zolder (15 °C);
- Diameter 22 mm en isolatiedikte 20 mm.

Effect van het achterwege laten van deze isolatie:

Volgens afbeelding 7.13 neemt het bruto energieverbruik toe met: 25 x 6 = 150 m³ aardgas per jaar. Hiervan komt naar schatting tweederde ten goede aan de ruimteverwarming van de woning. Het netto energieverbruik neemt toe met de rest, dit is dus circa 50 m³ aardgas per jaar.

Let op!

- Voorzie afsluiters, bochten, aansluitingen, en dergelijke ook van goede isolatie;
- Zorg voor isolatie bij doorvoeren door wanden en vloeren;
- Bevestig beugels bij voorkeur om de leidingisolatie heen (afbeelding 7.15);
- Isoleer ook de verdeler(s).



Afb. 7.15 De leidingisolatie blijft bij deze beugel ononderbroken. (Bron: Walraven B.V. te Mijdrecht)

Regeling

De warmtetoevoer naar de vertrekken kan op verschillende manieren geregeld worden:

- Een kamer- of ruimtethermostaat: het water of de lucht wordt opgewarmd en vervolgens aan het distributiesysteem afgegeven. Als de temperatuur in het hoofdvertrek (waar de thermostaat bevestigd is) de ingestelde temperatuur bereikt, zal deze de warmteopwekker schakelen. De installatie is in principe zo ontworpen dat, als de hoofdruimte op temperatuur is, de overige ruimtes ook de ontwerptemperatuur zullen hebben. Het is niet mogelijk om de overige ruimten te verwarmen als er in het hoofdvertrek geen warmtevraag is. Dit probleem is te verhelpen door het gebruik van een verplaatsbare (draadloze) kamerthermostaat in plaats van een vaste kamerthermostaat. De circulatiepomp draait alleen als de thermostaat warmte vraagt met een beperkte nadraaitijd;
- Een weersafhankelijke regeling: hierbij wordt de aanvoertemperatuur van het water of de lucht geregeld op basis van de buitentemperatuur volgens een stooklijn, er is geen 'centrale' kamerthermostaat. Alle ruimten zijn onafhankelijk van elkaar te verwarmen. De circulatiepomp draait in principe continu. Dat is een verspilling van stroom (circa 200 kWh extra verbruik). Sommige fabrikanten hebben daar iets op gevonden. Het loont de moeite om daarnaar te informeren.

In beide gevallen kan de temperatuur per ruimte nageregeld worden door een thermostatische radiatorknop of een gewone afsluiter op het afgiftesysteem.

De kamerthermostaat kan een klok- of computerthermostaat zijn, die de gewenste temperatuur op basis van een dag of weekprogramma regelt. Een computerthermostaat ('zelfdenkende thermostaat') bepaalt op basis van de opwarm- en afkoelsnelheid op welk moment het verwarmingstoestel geschakeld moet worden om op het ingestelde tijdstip de gewenste temperatuur te bereiken. De opwarmsnelheid is bekend van de afgelopen dagen. Bij een modulerend toestel hoort een bijpassende thermostaat die het verwarmingstoestel modulerend aanstuurt.

Er zijn ook regelsystemen verkrijgbaar die met behulp van een centraal regelpaneel de verwarming per radiator en/of per vloerverwarmingszone zone kunnen regelen.

Er zijn steeds meer thermostaten verkrijgbaar die op afstand te bedienen zijn via een 'smartphone' of thuis via PC of 'tablet' mits er wifi in de woning aanwezig is. Ze kunnen bovendien soms inzicht geven in o.a. het (actuele) energieverbruik (zowel gas- als elektriciteitsverbruik). Er zijn talloze slimme tools op de markt beschikbaar waarmee inzicht in het energiegebruik kan worden verkregen. Voor een overzicht van slimme apps, zie www.energieverbruiksmanagers.nl en www.eigenhuis.nl.

Geschat wordt dat huishoudens bij directe feedback via een display een gemiddelde besparing van ruim 5% op het energieverbruik zullen realiseren. Bij gebruik van indirecte feedback, zoals via een website, zal gemiddeld ruim 3% op beide worden bespaard [189]. Uit recenter onderzoek [252] blijkt de besparing bij

indirecte feedback tot nu toe zo'n 1% te bedragen. Alleen bij directe feedback is een iets hogere besparing te verwachten, gelet op ervaring in het buitenland.

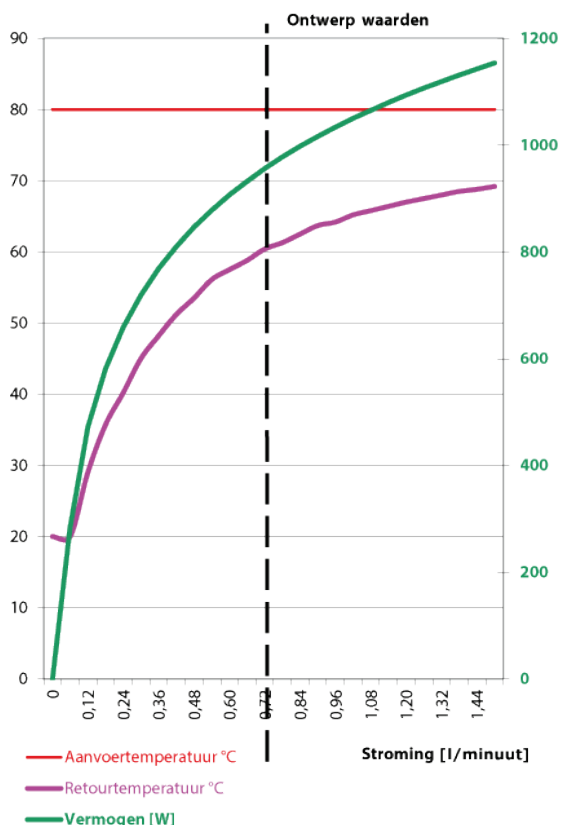
Aandachtspunten:

- Een kamerthermostaat dient de juiste temperatuur weer te geven: zorg ervoor dat deze niet beïnvloed wordt door zonnestraling, straling van lampen of apparatuur. Zorg er ook voor dat deze niet in de 'tocht' hangt van een deur die veelvuldig geopend wordt;
- In de ruimte waar een kamerthermostaat hangt mogen geen thermostatische radiatorkranen op de radiatoren zitten: de regeling raakt in de war;
- Een goede regeling van de ruimtetemperatuur voorkomt te hoge temperaturen, levert een beter comfort en kost minder energie;
- Vooral bij vloer- en wandverwarming kan het stroomverbruik van de regeling en de pompen oplopen door het stand-by verbruik en het niet uitschakelen van de pomp als die niet nodig is.

Inregeling

Om in iedere ruimte de juiste hoeveelheid warmte af te geven, moet er een optimale stroming over de radiatoren of de slangen in wand of vloer plaatsvinden. Het temperatuurverschil over de radiator (Delta-T genoemd) is dan conform het ontwerp van de installatie. Om deze optimale stroming ('flow') over de radiator of vloerverwarmingslus te bereiken moet de installatie waterzijdig inregelend worden. Hiertoe wordt per radiator of slang de waterstroming met een nippel of stelschroef in het voetventiel of de radiatorknop of op de verdeler ingesteld.

Zowel bij te grote als te kleine stroming over de radiator zal deze niet de optimale hoeveelheid warmte afgeven (afbeelding 7.16). Voorzie een afgiftesysteem daarom altijd van inregelventielen omdat deze ervoor zorgen dat het warme water goed verdeeld wordt over het totale verwarmingssysteem.



Afb. 7.16 Bij vermindering van de stroming zal de temperatuur van het uitgaande water lager worden. De gemiddelde temperatuur wordt lager en daarmee ook het afgestane vermogen. Wanneer de stroming zo laag is dat het uitgaande water de kamertemperatuur heeft bereikt (knikpunt) neemt het afgenomen vermogen lineair af tot nul

Het ontbreken van een inregeling leidt zeker tot klachten omdat sommige vertrekken te warm en andere helemaal niet warm worden. Uiteindelijk leidt het tot een hoger energieverbruik (voor de pomp en het energieverbruik van van het opwekkingstoestel) en een lager comfort [159].

7.3 Warmte-opwekking

7.3.1 Energie

Om warmte op te wekken voor ruimteverwarming is energie nodig. We onderscheiden:

- Fossiele brandstoffen;
- Duurzame energie;
- Combinatie van beide.

Fossiele brandstoffen

Door verbranding van aardgas, olie of propaan in een CV-ketel ontstaat warmte, die direct via de lucht of indirect, via overdacht op water, aan de woning kan worden afgegeven. Vanaf 1 juli 2018 moeten door de wet VET (Voortgang Energietransitie) in Nederland alle nieuwbouwwoningen aardgasvrij zijn. De wet biedt nog wel ruimte aan het college van B&W om bij zwaarwegende redenen van algemeen belang uitzonderingen te maken.

Ook wordt er elektriciteit gebruikt in een installatie voor ruimteverwarming. Deze kan direct ingezet worden voor de opwekking van warmte bijvoorbeeld met een warmtepomp, maar wordt ook indirect gebruikt voor de aandrijving van circulatiepompen, regelapparatuur et cetera (zie paragraaf 10.1).

Restwarmte van elektriciteitscentrales of de industrie is ook een vorm van benutting van fossiele brandstof waardoor het totaalrendement wordt verbeterd.

Energiegebruik op basis van fossiele brandstoffen brengt uitputting (gas, olie, kolen) en vervuiling van de atmosfeer (CO_2 , NO_x , SO_2 , fijnstof) met zich mee.

Duurzame energie

Warmte kan ook gewonnen worden uit bronnen met een duurzaam karakter zoals:

- Zonne-energie: Door omzetting in warmte kan zonne-energie benut worden voor ruimteverwarming (paragraaf 7.3.8) en/of warm tapwater (paragraaf 9.3.5);
- Omgevingswarmte: Water, lucht en bodem zijn mogelijk bronnen van omgevingswarmte. Met behulp van een warmtepomp wordt de warmte naar een hoger temperatuurniveau gebracht, geschikt voor afgifte in een LT-systeem. Bodem, grondwater en diep oppervlaktewater zijn de meest geschikte bronnen, omdat in de periode dat er warmtevraag is, de temperatuur relatief hoog is;
- Biomassa. Door verbranding of vergassing van biomassa wordt energie gewonnen (warmte en elektriciteit). Er zijn diverse soorten biomassa te onderscheiden zoals snoeihout, resthout en energiegewassen (hout en grasachtige gewassen);
- Afval. Het gaat hierbij om energiewinning (warmte en elektriciteit) bij verbranding van afval en uit de winning van stortgas uit afval. Duurzaam is alleen dat deel wat afkomstig is van biomassa;
- Windenergie. Ook windenergie is in ons land een belangrijke bron van duurzame elektriciteitsproductie (zie verder hoofdstuk 10);
- Aardwarmte. Bij aardwarmte wordt warmte van hoge temperatuur (maximaal 120 °C) uit diepere lagen van de aarde gehaald (1-3 km). Toepassing van aardwarmte kan alleen in collectieve systemen. Om deze optie economisch rendabel te maken moeten minimaal zo'n 4.000 woningen aangesloten worden.

De NTA 8800 berekent het aandeel hernieuwbare energie dat in een gebouw gebruikt wordt. Ieder nieuw gebouw moet gebruik maken van één of meerdere hernieuwbare energiebronnen. Dit wordt berekend in de BENG 3 indicator. Om deze indicator te kunnen berekenen wordt per energiepost bekeken in welke mate er sprake is van de inzet van hernieuwbare of duurzame energie. Voor ruimteverwarming hebben de volgende systemen een positieve invloed op de BENG 3 indicator:

- Biomassa ketels: de hoeveelheid geleverde energie door de biomassa ketel;

- Warmtepompen: de hoeveelheid hernieuwbare energie die bronzijdig door de warmtepomp gebruikt wordt. Ventilatie- en rookgaslucht wordt hierbij niet als een hernieuwbare energiebron gezien. Buitenlucht, bodem, grondwater en oppervlaktewater zijn wel hernieuwbare energiebronnen;
- Stadsverwarming: indien een verklaring aanwezig is met daarop aangegeven welk deel van de geleverde energie uit hernieuwbare bronnen afkomstig is, dan mag dit toegerekend worden aan de woning;
- Zonneboilercombi: de hoeveelheid opgewekte energie door de zonneboilercombi ten behoeve van ruimteverwarming.

7.3.2 CV-ketel

Alhoewel vanaf 1 juli 2018 nieuwe woningen niet meer voorzien worden van een aardgas aansluiting, gaan we hier nog wel in op de toepassing van CV-ketels in woningen omdat deze toestellen de komende jaren nog aanwezig zullen zijn in bestaande woningen.

Verwarmingsketels voor centrale verwarming zijn als volgt in te delen:

- Open of gesloten;
- Wel of geen combinatie met tapwaterverwarming: 'combiketels';
- Het rendement van de ketel;
- Type regeling;
- Ketel-warmtepomp combinaties;
- Combinatie met elektriciteitsopwekking 'HRe ketel'

Open en gesloten ketels

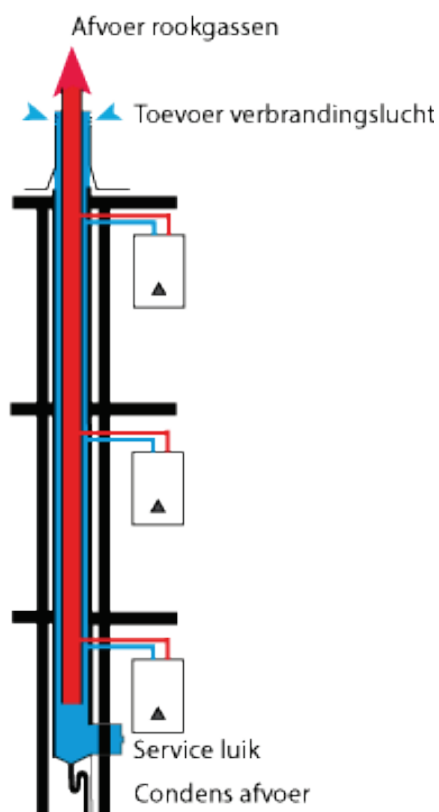
- Bij een gesloten ketel wordt de benodigde verbrandingslucht via een luchttoevoerkanaal met behulp van een ventilator van buiten aangevoerd. De kanalen voor de aanvoer van verbrandingslucht en de afvoer van rookgassen kunnen gecombineerd zijn uitgevoerd. De lengte is aan een maximum gebonden in verband met de capaciteit van de ventilator;
- Bij een open ketel wordt de verbrandingslucht uit de opstellingsruimte van de ketel gehaald. De ketel heeft alleen een afvoerkanaal voor de rookgassen. Voor de luchttoevoer moeten niet-afsluitbare ventilatievoorzieningen gemaakt worden. In nieuwbouw worden open toestellen niet meer toegepast.

Opmerkingen

- De opstelplaats moet met zorg worden gekozen in verband met de geluidseisen (paragraaf 4.4);
- CV-ketels gebruiken niet alleen elektriciteit voor de ventilator (bij gesloten toestellen, circa 30 à 70 kWh per jaar), maar ook voor de regelelektronica. Het gaat om 20 tot 80 kWh per jaar. De pomp gebruikt, uitgaande van een pompregeling, zo'n 75 à 150 kWh per jaar afhankelijk van de weerstand in de rest van de installatie en het type pomp. Bij een weersafhankelijke regeling kan het verbruik van de pomp oplopen tot circa 300 kWh. Totaal komt dat in de praktijk uit op een jaarverbruik van 100 tot 500 kWh. Ketels worden hierop getest. Kies dus een ketel met een laag verbruik.

In de gestapelde bouw worden individuele toestellen meestal aangesloten op een gecombineerd luchttoe- en rookgasafvoersysteem, een zogenaamd CLV-systeem (afbeelding 7.17). Hierop dienen wel toestellen met een ventilator met de juiste opvoerhoogte te worden aangesloten (zie toestelvoorschrift van de fabrikant). Dit kanaal kan uitgevoerd zijn als concentrisch dan wel als parallel afvoer/toevoer kanaal.

Onder voorwaarden wordt de lucht vanaf de gevel gehaald en wordt alleen de afvoer op een collectief rookgasafvoerkanaal aangesloten.



Afb. 7.17 Een voorbeeld van een CLV-systeem

Combiketels

Een combiketel zorgt zowel voor ruimte- als voor tapwaterverwarming. Het is van belang om de combiketel zodanig te situeren dat de leidingen voor het warmtapwater zo kort mogelijk zijn, vooral naar de keukens (paragraaf 4.4 en paragraaf 9.2.1). Bij gelijktijdige warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater krijgt de levering van tapwater voorrang. Het toestel heeft een aparte regeling voor de watertemperatuur van het tapwaterdeel en voor de ruimteverwarming.

Belangrijke voordelen ten opzichte van gescheiden opwekking voor ruimteverwarming en tapwaterbereiding:

- Goedkoop;
- Minder hulpenergie voor regeling etc.;
- Minder ruimtebeslag.

Nadelen

- Soms nog een matig rendement op tapwaterverwarming door o.a. het op temperatuur houden van het toestel;
- Soms een lange wachttijd van het toestel voordat het warmwater kan leveren; bij de nieuwste ketels speelt dit nadeel vaak niet meer;
- Soms een te beperkt modulatiebereik om als naverwarmer voor een zonneboiler of zonneverwarming te werken. Daarvoor moet het minimum vermogen circa 2 kW (of lager) bedragen.

Rendement

Het rendement van een ketel geeft aan hoeveel van de energie die er als brandstof in wordt gestopt ook daadwerkelijk als warmte uitkomt. In recente woningbouw (voor 2018) werden alleen nog HR-ketels toegepast, VR-ketels (verbeterd rendement) niet meer.

HR-ketels (hoog rendement)

In een HR-ketel worden met een grote of extra warmtewisselaar de verbrandingsgassen zover afgekoeld dat er condensatie optreedt. De daarbij vrijkomende warmte wordt eveneens gebruikt. Bij LT-

verwarmingssystemen komt dit effect van condenseren maximaal tot zijn recht. HR-ketels zijn van het Gaskeur HR-label 100, 104 of 107 voorzien (afbeelding 7.18).

Kenmerken van de HR-ketel:

- Gemiddeld gebruiksrendement bedraagt 90% à 97,5% op bovenwaarde volgens NTA 8800 [30]. In deze norm is dit verder opgesplitst: Er wordt onderscheid gemaakt tussen toepassing van de HR-ketel bij hoge of lage temperatuursystemen en bij water-CV of (direct gestookte) luchtverwarming;
- Veel voorzieningen zijn standaard zoals een elektronische ontsteking en een pompregeling;
- Altijd met gesloten verbrandingsruimte;
- Altijd met Gaskeur SV (Schone Verbranding);
- Een corrosievrije condensafvoer op het riool is noodzakelijk;
- Een HR-ketel kan niet worden aangesloten op een gemetselde schoorsteen. Met een mantel kan de schoorsteen geschikt gemaakt worden.

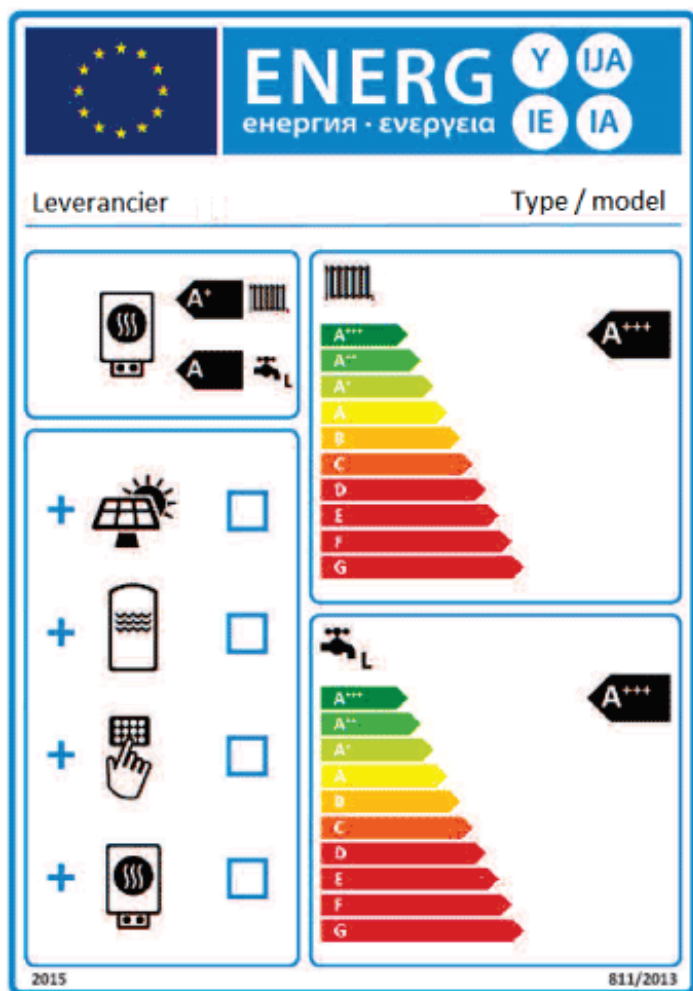
Het rendement [nuttig gebruikte energie/totaal toegevoerde energie in de brandstof] x 100% kan op verschillende manieren worden uitgedrukt en onder diverse omstandigheden worden bepaald. Met name de begrippen 'rendement op onderwaarde' en 'rendement op bovenwaarde' scheppen vaak verwarring. Sinds eind 1997 wordt in ons land, volgens Europese norm, in de GASKEUR-criteria uitgegaan van de onderwaarde. Omdat het gebruik van de bovenwaarde begrijpelijker is (geen waarden boven 100%), zullen in deze paragraaf rendementen volgens beide methoden worden gehanteerd.

Gebruikelijk is om het rendement van een gasketel op de volgende wijze te meten en weer te geven:

- Waterzijdig: Er wordt gekeken naar de daadwerkelijk op het CV-water overgedragen warmte;
- Bij vollast: De ketel brandt continu met volledige gastoevoer tijdens het meten, waarbij een gemiddelde watertemperatuur wordt aangehouden van 70 °C (aanvoer 80 °C, retour 60 °C);
- Bij deellast: Bij een HR-ketel wordt het rendement (voor het bepalen van het HR-Gaskeur) gemeten bij een retourwatertemperatuur van 30 °C met een gastoevoer van 30%. Onder deze omstandigheden wordt optimaal gebruik gemaakt van de condensatiewarmte;
- Ten opzichte van de calorische onderwaarde van de brandstof: Alleen de warmte die direct bij de verbranding vrijkomt, wordt meegeteld;
- Bij het rendement op bovenwaarde wordt de warmte die vrijkomt bij de condensatie van de waterdamp in rookgas wel meegeteld, i.t.t. bij het rendement op onderwaarde. HR-ketels maken juist gebruik van deze condensatiewarmte. Het gevolg is dat HR-ketels, uitgaande van de onderwaarde, rendementen van boven de 100% hebben. Het rendement op bovenwaarde komt overeen met 0,898 x het rendement op onderwaarde;
- Bij berekeningen voor het energieverbruik is het gebruiksrendement over een jaar van belang. Bij dit jaargebruiksrendement worden bijvoorbeeld ook de stilstandsverliezen meegerekend. Bij combiketels wordt bij het jaargebruiksrendement de warmte die zich na een tapping nog in het toestel bevindt 's winters toegerekend aan de CV-functie (de warmte wordt nuttig gebruikt) waardoor dit rendement voor tapwater toeneemt. NTA 8800 [30] gebruikt voor het 'jaargebruiksrendement' het begrip opwekkingsrendement.

Afb. 7.18 Overzicht indeling klassen label 'Gaskeur HR'. Het rendement wordt gemeten onder gestandaardiseerde omstandigheden. Let op: De rendementen gelden alleen voor ruimteverwarming en niet voor tapwaterverwarming. In combinatie met het gaskeur CW zegt het HR-label wel iets: Het jaargebruiksrendement moet dan minstens 67% (op onderwaarde) bedragen. Voor tapwater is een apart keurmerk: Gaskeur HRww; daarbij moet het jaargebruiksrendement tenminste 75% (op onderwaarde) zijn (bron: Handboek Gemeenten EPG, 2012). Vanaf september 2015 moeten alle nieuwe verwarmings- en warmwatertoestellen voorzien zijn van een Europees energielabel 2012 (zie www.VFK.nl), de Gaskeurlabels blijven gehandhaafd. Er komen twee soorten labels: een 'productlabel' voor een toestel of ander apparaat en een 'pakketlabel' (afbeelding 7.19) voor een samenhangend pakket toestellen en/of apparaten (bijv. combiketel met een zonneboilersysteem en bijpassende klokthermostaat)

| | Rendement op onderwaarde in % volgens Gaskeur HR | Rendement op bovenwaarde in % (afgeronde cijfers) |
|--------|--|--|
| HR 100 | ≥ 100 en < 104 | ≥ 90 en < 94 |
| HR 104 | 104 en < 107 | ≥ 94 en < 97 |
| HR 107 | ≥ 107 | ≥ 97 |



Afb. 7.19 Voorbeeld van pakketlabel volgens de Europese ERP-richtlijn (Energy Related Products) voor een combiketel met aanvullingen; hetgeen van toepassing is wordt aangevinkt

Opmerkingen

- Alle CV-ketels moeten een (vollast) rendement hebben van minimaal 82% op onderwaarde (CE norm);
- Door de aanvoer van verbrandingslucht en de afvoer van verbrandingsgassen via een concentrisch kanaal te laten plaatsvinden, neemt het rendement van het verwarmingstoestel iets toe ten opzichte van de situatie zonder concentrisch kanaal.

Gastoestellen kunnen worden voorzien van diverse Gaskeur-labels (www.milieucentraal.nl). CV-ketels met het Gaskeur Basislabel moeten een (vollast) rendement hebben van minimaal 88,5% op onderwaarde (ruim 79,5% op bovenwaarde. Naast de Gaskeur Basislabel bestaan er aanvullende labels die elk betrekking hebben op een specifiek aspect van een gastoestel. Toestellen kunnen tegelijkertijd voorzien zijn van meerdere labels. Te onderscheiden zijn:

- Gaskeur HR (Hoog Rendement): Het toestel levert warmte met een hoog rendement;
- Gaskeur HRe: Het toestel (CV-ketel) levert zowel warmte als elektriciteit;
- Gaskeur HRww: Het toestel levert warmwater met een relatief hoog rendement;
- Gaskeur SV (Schonere Verbranding): Het toestel stoot minder dan 40 ppm (parts per million) aan stikstofoxiden (NO_x) (voor toestellen met een vermogen kleiner dan 31,5 kW) en minder dan 160 ppm aan koolmonoxyden (CO) uit;
- Gaskeur NZ (Naverwarming Zonneboilers): Het toestel is veilig om gecombineerd te worden met een zonneboilersysteem. Het keur zegt echter tot op heden niets over het rendement bij de combinatie met een zonneboiler;
- Gaskeur CW (Comfort Warm Water): Gastoestellen met het CW-label voldoen aan bepaalde eisen met betrekking tot tapdrempel, wachttijd, gelijkmatigheid van temperatuur en rendement [zie verder in paragraaf 9.3].

Opmerking

Vanaf september 2015 moeten alle verwarmings- en warmwatertoestellen voorzien zijn van een Europees energielabel (zie www.VFK.nl); een pakket apparaten moet voorzien zijn van een 'pakketlabel' (afbeelding 7.19).

Type regeling

Een ketel kan voorzien zijn van een aan/uit regeling, of van een modulerende regeling.

Aan/uit regeling

Bij een ketel met een aan/uit regeling komt de brander bij warmtevraag volledig in bedrijf. Vervolgens schakelt de brander weer volledig uit. De meeste niet-modulerende ketels hebben een instelbare capaciteit voor ruimteverwarming van minimaal zo'n 8 kW. Dit is voor ruimteverwarming in een goed geïsoleerde woning meestal te veel. Dat is de reden dat deze ketels vrijwel niet meer worden gebruikt. Bij combiketels varieert de tapvraag zo sterk dat moduleren daarvoor toch al nodig is.

Modulerende regeling

Een modulerende ketel stemt zijn vermogen traploos af op de werkelijke warmtevraag op elk moment. Wordt er veel warmte gevraagd, dan brandt de ketel op maximaal vermogen. Is de warmtevraag minder, dan brandt de ketel op een kleiner vermogen en geeft de ketel dus minder warmte af. Moderne CV-ketels zijn meestal traploos modulerend vanaf een bepaald minimum vermogen. Voordelen van een modulerende regeling zijn:

- Meer comfort door een gelijkmatiger temperatuur;
- Energiebesparend, er is namelijk minder kans op overbodige warmteproductie;
- Langere levensduur van de brander.

Bij -10°C is in een nieuwbouwwoning meestal maar 5 of 6 kW vermogen nodig, bij echt zuinige woningen nog veel minder. Bij hogere buitentemperaturen volstaat vaak één kW. Kies daarom voor een ketel met een zo groot mogelijk modulatiebereik, zowel voor ruimteverwarming als tapwaterverwarming. In elk geval moet het minimale vermogen kleiner zijn dan de maximale vraag bij -10°C .

Gebruik bij een modulerende ketel altijd een bijpassende modulerende klok- of kamerthermostaat. Dat zal meestal of een thermostaat van de ketelfabrikant zijn of een 'Open therm' thermostaat. Men maakt dan optimaal gebruik van de voordelen van zo'n ketel. 'Open therm' staat voor een universele taal voor de communicatie tussen CV-ketels en thermostaten.

Capaciteit ketel en thermische massa van het systeem

Als de minimum capaciteit van de ketel groot is en de massa (waterinhoud of de thermische massa van een vloer of wand) erg klein, is er een risico dat de ketel gaat pendelen: met korte tussentijd aan en uit

gaan. Dit verhoogt het energieverbruik en verkort de levensduur. In de meeste ketels is een voorziening opgenomen om dit effect te temperen. De massa in een vloer- of wandverwarming zal het pendelen in elk geval voorkomen.

Ketel-warmtepomp combinaties

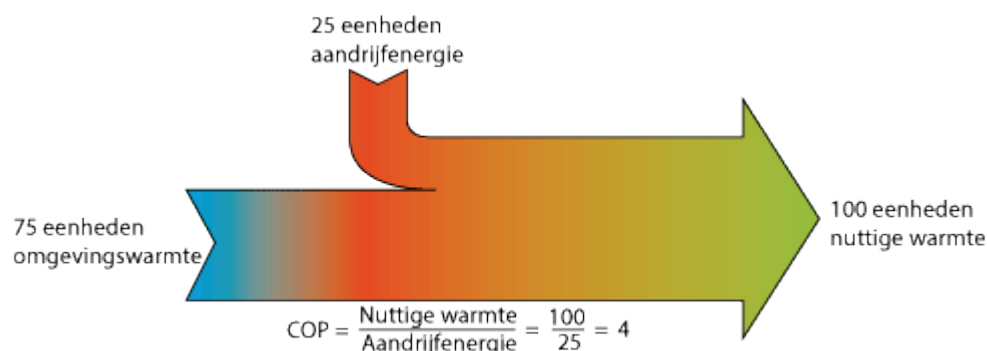
Het gaat hierbij om CV-ketels die bestaan uit een gasketel gecombineerd met een, in het toestel geïntegreerde, warmtepomp. Hierbij levert de warmtepomp de basis warmtevraag en wordt het verbrandingsgedeelte ingeschakeld voor de piekvraag. Het gaat om warmtepompen met buitenlucht of ventilatielucht als bron (paragraaf 7.3.3)

HRe-ketel

Een HRe-ketel is een CV-ketel die naast warmte ook elektriciteit opwekt (micro-warmtekracht). Het voordeel van zo'n ketel is dat het totaal rendement (95% bovenwaarde) veel hoger is dan van gescheiden productie van warmte (95% bw) en stroom (39% bw) of van een traditionele WKK (85% bw). Ook zijn de distributieverliezen voor stroom en warmte te verwaarlozen. HRe-ketels leveren (afhankelijk van het type) circa 2,5 tot 40kW warmte en 1 tot 20 kW elektriciteit. Deze toestellen moeten veel draaiuren maken om de extra investering enigszins terug te verdienen. Denk aan een gasverbruik boven de 1300 m³/jr. Bij zuinige nieuwbouw is dat meestal niet het geval. Let op het gewicht en de (relatief hoge) geluidproductie van deze toestellen.

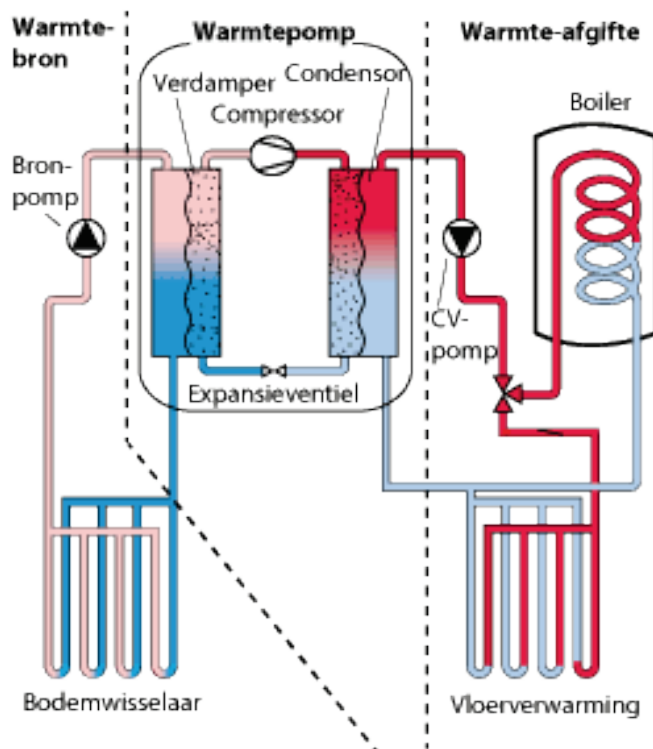
7.3.3 Warmtepomp

Een warmtepomp is een toestel waarmee warmte van een lage temperatuur (bijvoorbeeld grondwater van 10 °C) wordt omgezet naar een hogere temperatuur om te gebruiken voor ruimteverwarming en warmtapwater. Hiervoor wordt een relatief kleine hoeveelheid elektriciteit toegevoerd aan de compressor van de warmtepomp. Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt in de COP (Coëfficiënt Off Performance). Dit opwekkingsrendement ligt in de ordegrootte van 3 tot 5 (afbeelding 7.20), gebaseerd op tabel 9.27 van NTA 8800 voor de elektrische warmtepomp.



Afb. 7.20 De COP = 4. Dit betekent dat de warmtepomp 4 keer meer warmte (kWh thermisch) levert dan het apparaat als elektrische energie (kWh elektrisch) gebruikt. Naast 25% elektrische energie wordt 75% duurzame omgevingswarmte gebruikt bij verwarming van de woningen

Rekening houdend met het opwekkingsrendement van elektriciteit (69%) volgens NTA 8800 [30] levert de warmtepomp een rendement van 200 tot 340% op primaire energie. Er zijn ook warmtepompen op gas: deze hebben een rendement van 130 tot 180%. (Elektrische) warmtepompen leveren een aanzienlijke bijdrage aan de verlaging van het primaire energiegebruik (tweede BENG indicator) en hebben daarnaast (in veel gevallen) ook een positieve invloed op de derde BENG indicator: het aandeel hernieuwbare energie.



Afb. 7.21 Het principe van de warmtepomp

Een systeem met warmtepompen bestaat uit:

- Bron;
- Omzetting (warmtepomp);
- Afgifte.

Met deze basisopbouw kunnen verschillende systeemconcepten worden uitgewerkt. Meer informatie: zie ook www.dhpa-online.nl (Dutch Heat Pump Association).

Bron

Bronnen waar energie aan kan worden onttrokken:

- Ventilatielucht. De warmtepomp gebruikt de warmte uit de afgezogen ventilatielucht om een huis te verwarmen. De capaciteit van warmte uit ventilatielucht is vaak beperkt. Voor ruimteverwarming wordt de combinatie veelal gemaakt met een elektrisch element of een traditionele HR-ketel in de bestaande woningbouw. Een andere mogelijkheid is dat de warmtepomp, bij een tekort aan warmte uit ventilatielucht, buitenlucht bijpakt. De warmtepomp kan ook voorzien zijn van een ingebouwde boiler om te voorzien in de tapwaterbehoefte van de woning (paragraaf 9.3.6);
- Bodem door een verticale of horizontale bodemwarmtewisselaar ('gesloten bron'). Bodemwarmtewisselaars bestaan uit een of meerdere U-lussen. Horizontale systemen liggen op ca. 1 tot 3 meter diepte, waarbij een aanzienlijk oppervlak grond vereist is. Dat is in Nederland meestal niet beschikbaar. Verticale bodemwisselaars (afbeelding 7.22) worden tot een diepte van maximaal zo'n 100 meter in de bodem aangebracht door sondering of boring. Heipalen kunnen eveneens als bodemwarmtewisselaar fungeren. In de heipalen worden kunststof buizen aangebracht, waardoor vloeistof stroomt. Voor meer informatie over het ontwerp en de uitvoering van verticale bodemwisselaars zie [161] en [162].



Afb. 7.22 Rechts op de voorgrond, tussen de funderingsbalken, is de aansluiting (zie de twee zwarte leidingen) met de verticale bodemwisselaar te zien. De foto is genomen in RijswijkBuiten in Rijswijk (ZH)

- Grondwater ('open bron'). Het temperatuurniveau van grondwater in diepe zandlagen op ongeveer 50 à 150 m diepte is gedurende het gehele jaar circa 12 °C. Om dat te benutten moet een bronnensysteem aangelegd worden waarmee het grondwater uit een diepere watervoerende laag (aquifer) kan worden onttrokken. Ten behoeve van de grondwateronttrekking dienen zowel een onttrekkingsbron als een injectiebron te worden aangelegd. Tussen grondwater en warmtepomp moet een warmtewisselaar worden geplaatst om vervuiling van het grondwater en de warmtepomp uit te sluiten. Grondwater is vaak agressief. Grondwater heeft tijdens alle seizoenen een nagenoeg constante temperatuur. De COP van de warmtepomp zal daardoor ook vrij stabiel zijn;
- Oppervlaktewater. Indien in de nabijheid voldoende oppervlaktewater, bijvoorbeeld uit een rivier, meer of zee en, voor kleinere projecten, een vijver beschikbaar is kan deze als bron fungeren. Let op dat de onttrekking zo diep moet plaats vinden dat die niet bevriest en dat anderzijds het leven in de waterbodem niet verstoord wordt;
- Buitenlucht. Met behulp van een ventilator wordt de buitenlucht door een warmtewisselaar gezogen. Een nadeel is dat deze energiebron anticyclisch is: de grootste warmtevraag doet zich voor als de buitentemperatuur laag is. Dat beïnvloedt de COP negatief. Het rendement is beduidend lager dan met een bodemwisselaar of grondwater. Ook is het verbruik van de ventilator meestal aanzienlijk. Let op geluidsproductie van de buitenunit (vooral 's nachts kan geluid vlakbij slaapkamerramen erg hinderlijk zijn!). Diverse fabrikanten leveren de combinatie van lucht-waterwarmtepomp en HR-ketel, samen vaak aangeduid als hybride warmtepompsysteem. Speciale aandacht vraagt de architectonische inpassing van de buitenunit;
- Energiedak of asfaltcollectoren (in het wegdek of onder een parkeerplaats). Met behulp van deze collectoren wordt zowel zonnewarmte als warmte aan de buitenlucht onttrokken. Deze bron wordt vooral toegepast voor regeneratiedoelinden om naast verticale bodemwisselaars of grondwater in de zomer de bodem weer op temperatuur te brengen;
- Restwarmte. Deze kan verkregen worden uit interne of externe bronnen. Interne bronnen zijn bijvoorbeeld afvoerlucht van het ventilatiesysteem of rioolwater. Externe bronnen worden gevormd door restwarmte van industriële processen, elektriciteitscentrales of koelbehoeften van gebouwen in de nabijheid.

De toepasbaarheid van een bron hangt af van:

- Het temperatuurniveau en de warmte-overdrachtseigenschappen;
- De beschikbaarheid, zowel geografisch als in de tijd;
- De grootte en complexiteit van de installatie voor het bruikbaar maken van de bron;
- De investeringskosten en de kosten voor onderhoud en exploitatie.

Efficiënte bronnen zoals grondwater of de bodem zijn voor individuele toepassingen relatief kostbaar in verband met de benodigde installaties. Het collectieve gebruik van dergelijke bronnen (voor meerdere

individuele warmtepompen) of het tegelijkertijd realiseren van de bronnen in grotere projecten is daarom vaak voordelig. Het distributieleidingsysteem dat hiervoor nodig is, hoeft niet geïsoleerd te worden gezien de lage temperaturen van ca. 10-12 °C uit de bron.

Om de kosten te beperken wordt de capaciteit van een warmtepomp meestal aan de kleine kant gekozen. Er is dan of een buffer of bijverwarming nodig om pieken op te vangen. In de bestaande bouw wordt de combinatie met een bestaande HR-ketel veelal gekozen om het gebruik van fossiele energiebronnen (gas) te beperken. In de all-electric concepten zijn de warmtepompen voorzien van ingebouwde elektrische elementen die eventueel voorziet in de thermische desinfectie van de boiler en als ondersteuning van de CV-verwarming.

Het rendement is hoger naarmate het temperatuurverschil tussen de gebruikte warmte (bron) en de geproduceerde warmte (afgifte) kleiner is. Een warmtepompinstallatie voor toepassing van ruimteverwarming vereist daarom een LT-afgiftesysteem.

Het rendement van de warmtepomp wordt uitgedrukt in de Coëfficiënt Of Performance (COP): de verhouding tussen de geleverde warmte en de daarvoor benodigde energie van de compressor.



De Seasonal Performance Factor (SPF) geeft eveneens de verhouding aan tussen de geleverde warmte en de daarvoor benodigde toevoer van energie, echter inclusief de benodigde hulpenergie voor de bronpomp en het distributiesysteem en gemeten voor een heel stookseizoen.



Zowel COP als SPF kunnen worden bepaald aan de hand van een gemiddelde van de meetwaarden over een geheel seizoen, of een gehele periode.

De Primary Energy Ratio (PER) geeft, evenals de SPF, de verhouding aan tussen de nuttig geleverde energie en de daarvoor benodigde toevoer van energie, waarbij gekeken wordt naar de herkomst van de energietoevoer. Voor elektriciteit wordt rekening gehouden met het rendement waarmee deze is opgewekt. Informatie in [175].

Regeneratie

Bij warmte-onttrekking aan de bodem zal deze op termijn in temperatuur dalen waardoor het rendement van de warmtepomp afneemt. De temperatuur van de bodem moet daarom gedurende het jaar (of gedurende enkele jaren) weer in balans gebracht worden. Het is daarom meestal noodzakelijk om weer evenveel warmte in de bodem te injecteren als er aan warmte is onttrokken (bodemregeneratie); soms is een klein koude-overschot toegestaan omdat het tekort op natuurlijke wijze via grondwaterstromen wordt aangevuld. In de zomer kan deze regeneratie plaatsvinden door bijvoorbeeld gebruik te maken van:

- Ruimtekoeling door zogenaamde 'vrije koeling' (paragraaf 8.3.4); let op: vrije koeling zal lang niet altijd voldoende warmte voor volledige regeneratie opleveren;
- Zonnecollectoren. In de zomer kunnen de collectoren warmte opnemen, welke voor lange termijn in de bodem opgeslagen wordt. In de winter kan deze door de warmtepomp benut worden. De hiertoe beschikbare collectoren zijn veel goedkoper dan de collectoren voor warmtapwaterbereiding. Mogelijkheden zijn bv. asfaltcollectoren of dakcollectoren die onder de platdakbedekking (een '[zonthermisch dak](#)' [179]) worden weggewerkt;
- Oppervlaktewater, dat in de zomer wordt opgewarmd kan tevens een bijdrage aan de regeneratie van de bron leveren. Het oppervlaktewater koelt hierdoor een stuk af.

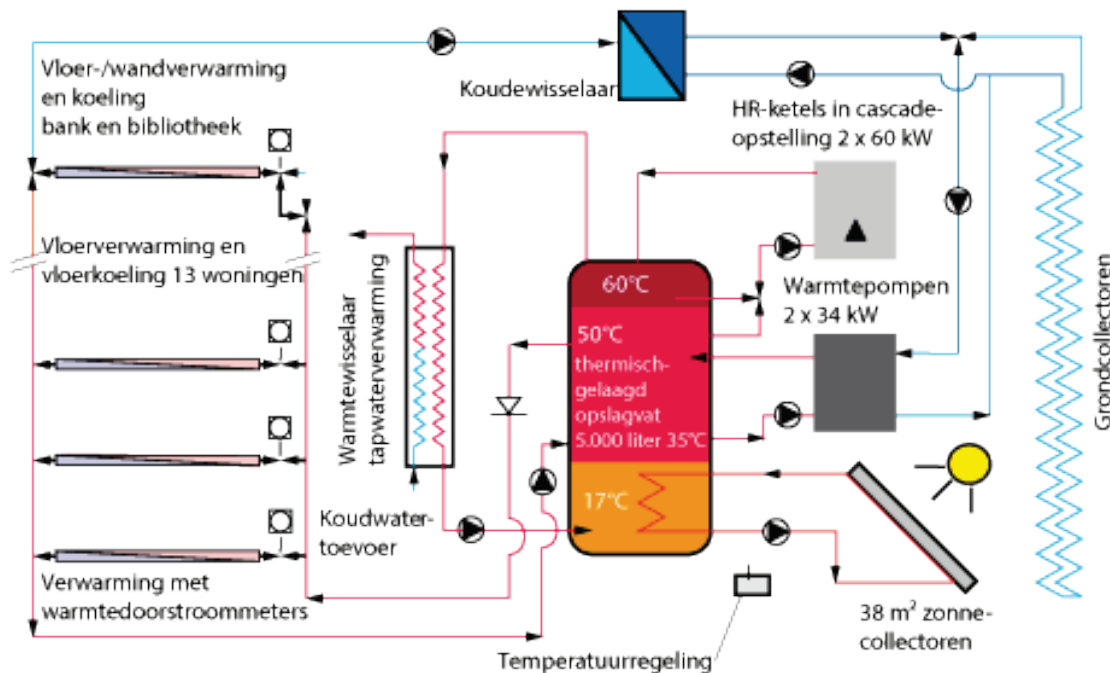
Zie bij paragraaf 7.3.9 (WKO) voor vergunningen of meldingen om een bodemenergiesysteem aan te leggen.

Elektrische (compressie-)warmtepomp

De COP van een warmtepomp is erg gevoelig voor de temperatuur van de bron en van het afgiftesysteem (afbeelding 7.25). Lage temperatuursystemen die werken met een temperatuur lager dan 45 °C zijn noodzakelijk; de brontemperatuur mag niet te laag zijn. Tot 80% van de geleverde warmte wordt aan

de bron onttrokken. De bron moet dus een grote capaciteit hebben.

Elektrische warmtepompen zijn in alle capaciteiten te koop: Van klein voor basislast in een enkele woning tot groot voor collectieve systemen. Een compressie-warmtepomp is een mechanisch apparaat. Daarom is aandacht voor de geluidproductie van belang.



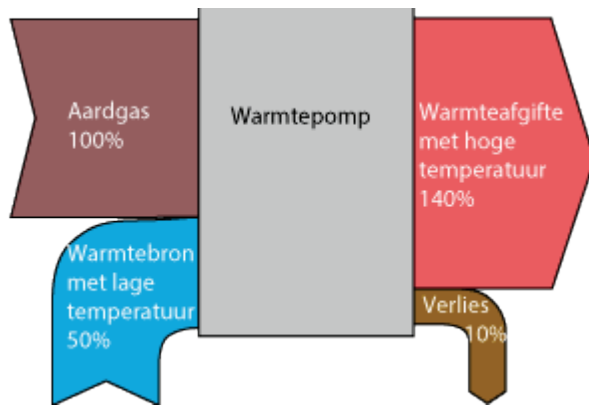
Afb. 7.23 Principeschema installatie voor verwarming en koeling van het voorbeeldproject Rabobank Pey-Posterholt in Echt te Limburg [171]. Het project omvat zowel een bank, een bibliotheek als dertien woningen. De installatie voor ruimte- en tapwaterverwarming (en koeling) is collectief. Twee warmtepompen onttrekken warmte uit de bodem of uit de vloerkoeling van de bank. De warmtepompen geven deze warmte af aan een opslagvat van 5 m³. Ook de zonnecollectoren (circa 40 m²) geven hun warmte af aan dit (buffer)vat. Eventuele extra verwarmingscapaciteit kan geleverd worden door twee HR-ketels die ook de warmte leveren voor het naverwarmen van het tapwater. De bank en bibliotheek zijn voorzien van vloer en wandverwarming, de woningen van vloerverwarming. De vloer- en wandverwarming worden ook gebruikt voor de afgifte van koude. Deze koude wordt onttrokken uit de bodem of is afkomstig van de warmtepomp (als deze warmte produceert). (Bron: Opdrachtgever: Rabobank; Architect: Architectenbureau Keulers, Schrijen Coonen te Echt/Geleen; Adviseur: Boom-Maastricht; Realisatie: 1999)

Gasgestookte (absorptie-)warmtepomp

De gasgestookte absorptiewarmtepomp heeft maar een bron met kleine capaciteit nodig, tot zo'n 40% van de geleverde warmte. Als de temperatuur van de bron daalt, daalt het totale rendement wel, maar nooit onder dat van de beste HR-ketel. Dit geldt ook voor de afgiftetemperatuur. Hoger dan 70 °C moet die echter niet komen. De absorptiewarmtepompen kunnen uitermate stil zijn door het ontbreken van draaiende delen.

Een speciale uitvoering van de gasgestookte warmtepomp is de gasmotor-warmtepomp: een combinatie van gasmotor- en compressie-warmtepomp. Gezien als 'black box' heeft die vergelijkbare eigenschappen als wat hiervoor is gesteld, met uitzondering van het geluidsniveau: Een separate opstellingsruimte met een zeer goede geluidsisolatie is noodzakelijk.

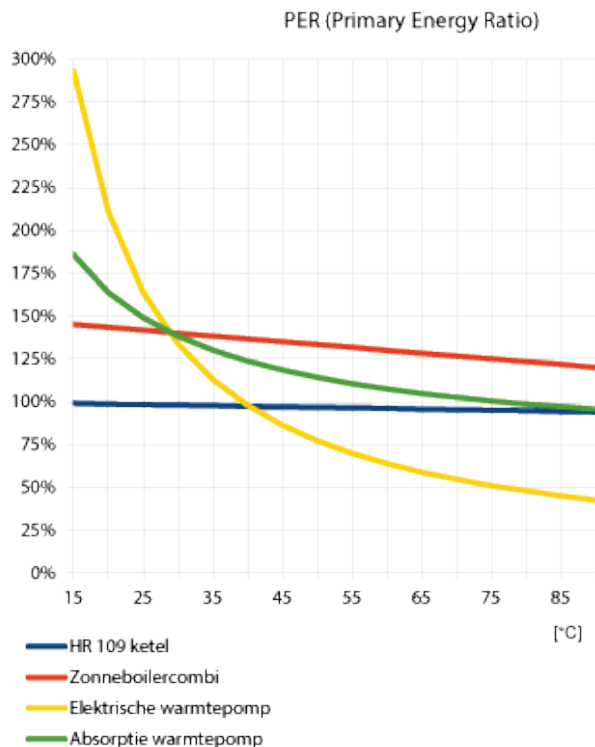
Er zijn al langere tijd systemen vanaf 40 kW te koop, geschikt voor minimaal tien woningen.



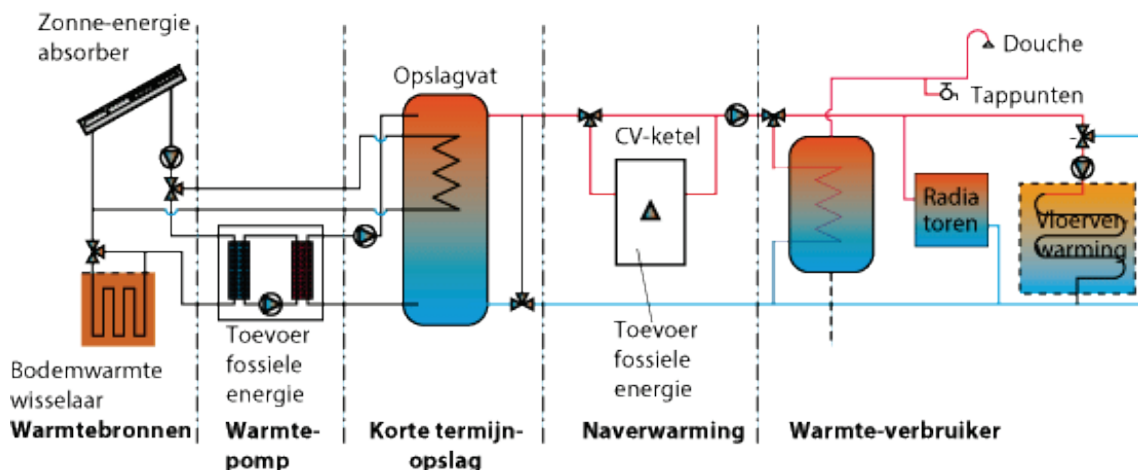
Afb. 7.24 Sankey-diagram van een gasgestookte warmtepomp

Aandachtspunten

- De individuele warmtepomp voor een woning neemt meer ruimte in beslag dan een CV-ketel. Reserveer minimaal 0,6 x 0,6 m² en neem tijdig contact op met een leverancier. Ook is het gewicht veel hoger dan dat van een CV-ketel, ordegrrootte 150 tot 200 kg;
- Vanwege de mogelijkheid tot vrije koeling levert de individuele warmtepomp extra comfort in de zomer zonder veel extra energieverbruik (alleen de bronpomp moet dan draaien);
- Om de investering te reduceren, wordt vaak gekozen voor collectieve warmtepompen. Dit is technisch goed mogelijk. De isolatie van het leidingnet en de individuele bemetering en afrekening verdienen daarbij veel aandacht;
- De warmtevraag moet zo nauwkeurig mogelijk worden berekend. Een overschatte warmtevraag verlaagt het rendement van een warmtepomp sterk doordat de warmtepomp niet optimaal kan draaien door voortdurend starten en stoppen. Veel warmtepompen kunnen moduleren ('inverter technologie'), maar nog niet alle;
- Let op geluiddemping en trillingvrije opstelling bij gasmotoren en compressiewarmtepompen. Kies een plek in de woning die niet grenst aan een slaapkamer;
- Warmtepomp-systemen die hun warmte uit de buitenlucht halen, kunnen afhankelijk van het vermogen geluidsoverlast veroorzaken door de grote hoeveelheid lucht die ze verplaatsen;
- Het is van belang om voor bodemwarmtewisselaars en grondwaterbronnen meerjarige garantie op de capaciteit en de goede werking te krijgen. Een te kleine capaciteit komt pas na jaren aan het licht;
- Het energieverbruik voor pompen en ventilatoren van de bron- en afgiftesystemen bij warmtepompinstallaties kan variëren van 5 tot 20% van het totale energieverbruik, dus inclusief de warmtepomp zelf. Dit percentage hangt af van het ontwerp en de dimensionering van de genoemde systemen. Dat kan het voordeel van de warmtepomp tenietdoen. Houd hiermee rekening bij het ontwerp van de installatie;
- Bij toepassing van elektrische warmtepompen op grote schaal binnen een plangebied (buurt, wijk) moet het elektriciteitsnet waarschijnlijk zwaarder worden uitgevoerd dan gebruikelijk; houd ook rekening met de benodigde capaciteit bij opstarten van de warmtepompen na storing;
- Warmtepompen kunnen ook voor de verwarming van tapwater worden gebruikt (paragraaf 9.3.7).



Afb. 7.25 Indicatie van de PER van een elektrische en gasgestookte warmtepomp, zonneboilercombi en van een HR107-ketel, afgezet tegen het temperatuurverschil dat de warmtepomp moet overbruggen tussen de bron en het afgiftesysteem. Voor de HR-ketel en de zonneboilercombi is de aanvoertemperatuur van de CV-installatie genomen. De investering voor de beide warmtepompen en de zonneboilercombi zijn globaal hetzelfde. Duidelijk blijkt hoe sterk de PER van warmtepompen afhangt van het genoemde temperatuurverschil



Afb. 7.26 Toepassing van warmtepomp in combinatie met andere apparatuur

Systeemkwaliteit warmtepompen

Een systeemkeur voor warmtepompsystemen bestaat nog niet, een keurmerk voor de afzonderlijke functies van warmtepompen wel. De kwaliteit van een installatie met een warmtepomp is afhankelijk van het totale systeem en niet van de werking van de warmtepomp alleen. De BRL 6000 [177] is een belangrijke informatiebron voor installateurs. Een installateur die KOMO-INSTAL gecertificeerd is en die volgens de genoemde BRL de warmtepompinstallatie ontwerpt en aanlegt, zal een waarborg zijn voor een goede installatie.

Zie voor meer informatie de sites van de Dutch Heat Pump Association (DHPA en InstallQ (www.installq.nl).

7.3.4 Warmte/kracht-koppeling (WKK)

Men spreekt over warmtekrachtkoppeling wanneer de warmte die vrijkomt bij de opwekking van de elektriciteit, wordt gebruikt voor verwarmingsdoeleinden. De brandstofbesparing kan oplopen tot circa 30% van het verbruik bij gescheiden opwekking (afbeelding 7.27). Warmtekrachtkoppeling wordt tot nog toe vrijwel alleen in collectieve systemen toegepast (paragraaf 7.4). In woningen is op kleine schaal ervaring opgedaan met de toepassing van kleine WKK-toestellen: de HRe ketel (§7.3.2). Deze toepassing is nooit echt doorgebroken, en met de komst van de wet VET is de toekomst voor deze techniek onzeker.

Er is een onderscheid tussen het elektrische rendement en het totaalrendement. Om de toepassing van een WKK rendabel te maken moet het totaalrendement zo hoog mogelijk zijn (>90% bovenwaarde). Het elektrisch rendement ligt voor elk type WKK min of meer vast. Het totaalrendement is vaak te verbeteren door het toevoegen van een extra rookgaskoeler en/of warmtewisselaar die de opstellingsruimte koelt in plaats van het koelen met buitenlucht wat nu nog veel gebeurt.

Haalbaarheid WKK

Afhankelijk van het aantal woningen komen bepaalde typen WKK's in aanmerking. Vanaf zo'n 20 woningen is mini-WKK met een elektrisch vermogen vanaf 5 kW geschikt. Het elektrisch rendement ligt op 25% (bovenwaarde). De WKK wordt op blokniveau ingepast.

Grote gasmotor WKK-installaties hebben een elektrisch vermogen vanaf circa 150 kW tot 5.000 kW of meer, thermisch vanaf zo'n 260 kW. Zij zijn geschikt voor projecten vanaf circa 200 woningen met een voorkeur voor minimaal 300 woningen (paragraaf 7.4). Het elektrisch rendement is afhankelijk van de grootte vanaf 34% tot > 45% op bovenwaarde.

Voor grote woningbouwprojecten (globaal 4000 (gestapelde) woningen) komen ook gasturbines in aanmerking. Het elektrisch-rendement van gasturbines bedraagt circa 34% op bovenwaarde. Zowel gasmotoren als -turbines hebben het nadeel dat ze een hoge uitstoot van stikstofdioxide (NO_x) veroorzaken. Deze uitstoot is drie (bij gasturbines) tot zeven (bij gasmotor) maal zo hoog als die van een HR-ketel.

In een brandstofcel wordt gas direct omgezet in warmte en elektriciteit. Elektrische rendement van 44% (bovenwaarde) en 90% totaal rendement wordt nu al gehaald. NO_x uitstoot is te verwaarlozen en de systemen zijn erg stil. Ze worden nagenoeg nog niet toegepast.

Zeer hoge elektrische rendementen tot 50% op bovenwaarde en een lage uitstoot van NO_x worden gehaald met een combinatie van een Stoomgenerator En Gasturbine, de zogenaamde STEG-centrales. Dat rendement daalt wel als er warmte wordt afgetapt. Het totaal rendement blijft daarom steken op 80%. Daar gaat het verlies in het distributienet nog af. De vermogens van deze centrales zijn hoog, minimaal 200 MW, waardoor ze een zeer groot aantal aansluitingen nodig hebben (vanaf circa 20.000 woningen). De aanleg van een grootschalig distributienet, dat voor deze centrales noodzakelijk is, blijft financieel een riskante zaak.

Kleinschalige distributienetten met kleinere WKK-installaties blijven daarom interessant, mede vanwege het feit dat ze later, als het distributie-netwerk volledig is uitgebouwd en de oude WKK's versleten zijn, aan een grootschalig distributienet met STEG-centrales gekoppeld kunnen worden.

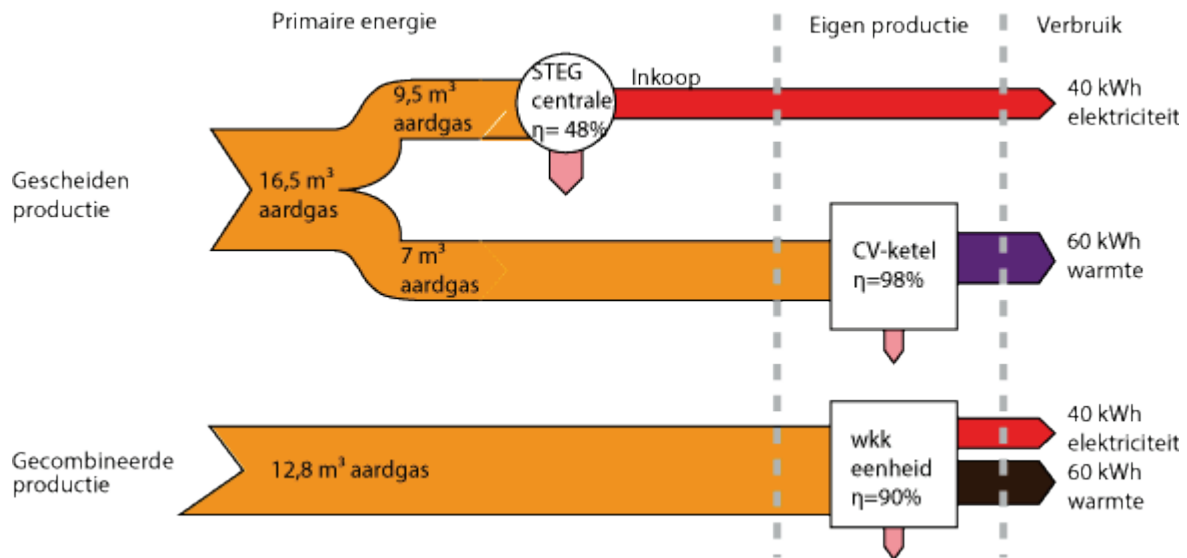
Exploitatie WKK

De exploitatie van een WKK-installatie kan vaak in samenwerking met het energiebedrijf of een andere exploitatiemaatschappij plaatsvinden. Dit bedrijf neemt dan de elektriciteit af en de warmte gaat naar de woningen. Als het energiebedrijf een korting op de warmtekosten geeft is dat een voordeel voor de bewoners.

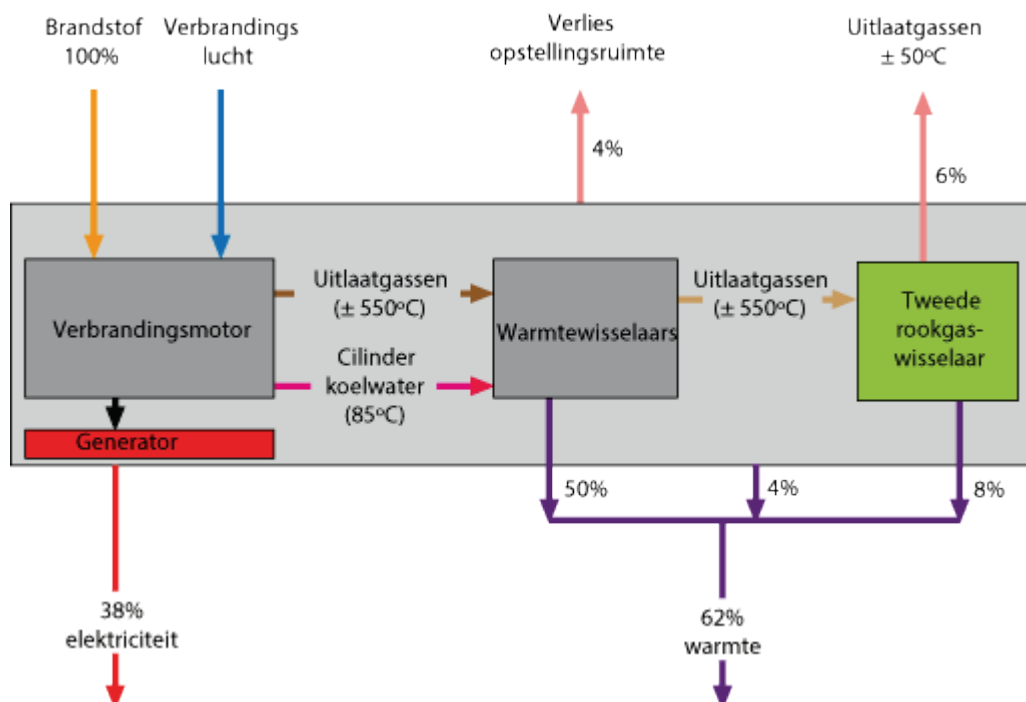
Opmerkingen:

- Een WKK-installatie veroorzaakt geluid en trillingen. Bij plaatsing in een woonblok zijn maatregelen nodig;
- Houd rekening met het onderhoud aan de installatie. Vraag om een vast onderhoudscontract;

- Zorg er voor dat de installatie veel ongestoorde draaiuren kan maken. Veelvuldig starten en stoppen is funest voor de levensduur. Kies het vermogen niet te groot en zorg voor voldoende buffer.



Afb. 7.27 Verschil in primair energieverbruik tussen een gescheiden en een gecombineerde productie van warmte en elektriciteit



Afb. 7.28 Werkingsprincipe van een WKK-eenheid. Rendementen op onderwaarde

7.3.5 Biomassa ketel

Dit zijn ketels waarin sommige soorten biomassa wordt verstoekt:

- Houtblokken. Dit is een goedkope brandstof, maar het stoken vereist zeer veel werk, waar maar weinig mensen zin in hebben. Met een zogenaamde 'vergasser' ketel is de verbranding redelijk schoon en het rendement vergelijkbaar met een VR-gasketel;
- Houtsnippers. Zoals de plantsoenendienst die kan aanleveren. Vaak een lokale bron en daarom aantrekkelijk. Ketels kunnen volledig automatisch werken. Er is een grote voorraad nodig (1 m³ snippers heeft de verbrandingswaarde van 80 m³ gas). Snippers moeten minimaal een jaar drogen, natte snippers branden wel, maar zijn vervuילend en met een slecht rendement;

- Houtpellets, geperste zaagsel brokjes 5 tot 15 mm groot. Verregaand geautomatiseerde systemen tegen een lage investering. Zeer hoge HR-rendementen zijn mogelijk. De pellets vormen een kant en klare brandstof, met een internationale afkomst en een prijs die uiteindelijk aan de olieprijs is gekoppeld;
- Vloeibare biomassa zoals frituurvet, koolzaadolie en dergelijke (wordt zelden toegepast). Dit is te verstoken in normale olietanks met een aangepaste brander. Het is echter de vraag of deze brandstof die in principe schaars is, niet beter gebruikt kan worden in WKK of transport.

De investering voor een biomassa installatie is hoog, maar de bedrijfskosten meestal laag. De rookgassen zijn minder schoon dan van aardgas. Ook onderhoud aan de installatie is meer dan we van een gasinstallatie gewend zijn.

Biomassa wordt door de overheid als een duurzame brandstof beschouwd omdat de CO₂ die vrijkomt bij de verbranding weer wordt opgenomen door nieuwe bomen en gewassen die worden aangeplant. Vrij recent is er echter twijfel ontstaan over de mate van duurzaamheid van sommige soorten biomassa. Meer info: Kennisdocument Houtstook in Nederland [255], www.milieucentraal.nl en www.rvo.nl.

In de NTA8800 wordt een onderscheid gemaakt in drie typen systemen voor het stoken van vaste biobrandstoffen:

- Grote systemen die moeten voldoen aan de (emissie) vereisten uit het Activiteitenbesluit;
- Kleinere (huishoudelijke) systemen die voldoen aan bepaalde emissie vereisten (bijlage R van NTA 8800);
- Overige systemen die niet voldoen aan het Activiteitenbesluit of bijlage R.

De eerste categorie systemen wordt binnen de NTA 8800 als volledig hernieuwbare energie gewaardeerd, voor de tweede categorie wordt uitgegaan van 50% hernieuwbare energie. En de laatste categorie wordt als niet hernieuwbaar behandeld in de NTA 8800. Deze waardering van biomassa in de NTA 8800 is een beleidsmatige keuze.

7.3.6 Geothermie of aardwarmte

Hoe dieper in de aardkorst, hoe warmer het wordt. Gemiddeld neemt de temperatuur met 3 graden per 100 m toe. Op 2 km diepte is de temperatuur dus 70 °C. Daar kunnen dus prima huizen mee worden verwarmd. Voorwaarde is wel dat op die diepte een aquifer (watervoerende laag) aanwezig is zodat door water op te pompen warmte kan worden onttrokken. Via een tweede bron wordt dat water, afgekoeld, weer terug gepompt. Het zal duidelijk zijn dat de investeringen in deze bronnen erg groot zijn en dat die voor een groot aantal (enkele duizenden) woningen gebruikt moeten worden.

Extra bijkomstigheid is dat er geen zekerheid bestaat dat een boring ook lukt (een goede laag aanboort). Dat maakt het risico groot. Om dit risico af te dekken bestaat er een collectieve regeling, zodat het risico over alle aardwarmte projecten wordt gespreid. Een andere hobbel die echter pas na tientallen jaren boven komt, is dat aardwarmte niet eindeloos is. Een bron raakt eens uitgeput omdat de hoeveelheid die gewonnen kan worden fundamenteel beperkt is tot circa 50 kW/km² terwijl we een veel groter vermogen (enkele MW) winnen. Tegen die tijd opent zich echter wel een nieuwe mogelijkheid om de bronnen te gebruiken als verliesloze opslag voor hoge temperatuur (zonne)warmte.

Zie o.a. www.geothermie.nl voor informatie over lopende projecten.

7.3.7 Cascade opstelling

Een groot vermogen voor de warmte-opwekking kan opgebouwd worden uit een groot aantal kleinere eenheden, zoals WKK, warmtepompen en HR-ketels. Bij dergelijke parallel geschakelde warmtebronnen spreekt men van een 'cascade-opstelling'. Belangrijke voordelen zijn:

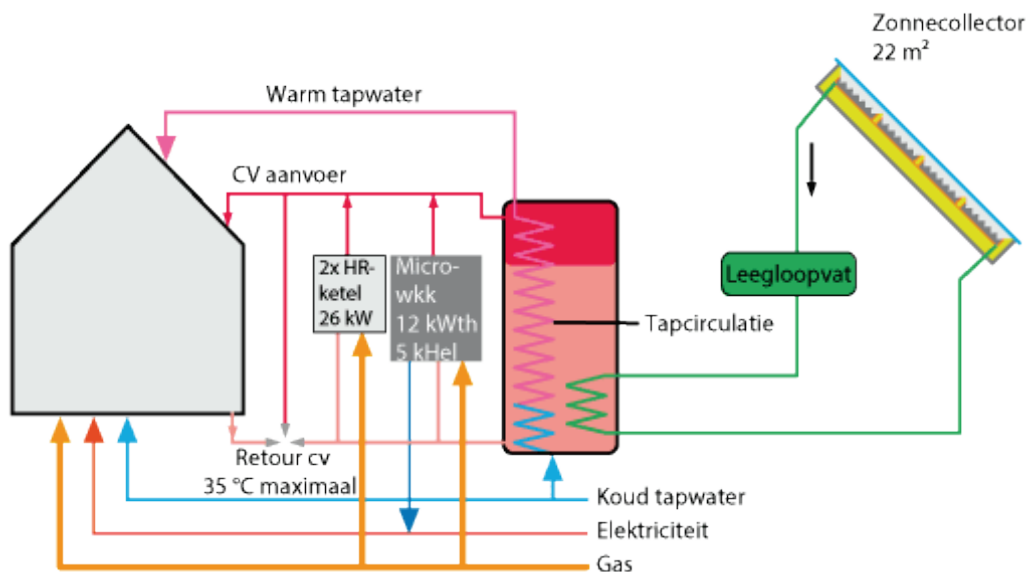
- Kleinere eenheden worden in massa geproduceerd en zijn daardoor voordelig in aanschaf en onderhoud;
- Door het grote aantal (tot 10 stuks) is storing in een eenheid geen probleem. Er hoeft geen overcapaciteit te worden geïnstalleerd om altijd te kunnen leveren;
- De eenheden zijn zo aan te sturen dat het maximale rendement wordt gehaald;

- De verwarming van tapwater die vaak gekoppeld is aan het CV-systeem vraagt kortstondig maar een klein vermogen. Grote ketels hebben dan een zeer slecht rendement omdat de energie om de ketel op temperatuur te brengen al groter is dan de tapvraag. Een kleine eenheid van een cascade-opstelling kan hier juist perfect aan voldoen.

Een cascade-systeem biedt voor grote systemen zoals we die aantreffen in collectieve installaties dus veel voordelen boven de traditionele opstelling van twee grote eenheden. Cascade-opstellingen zijn zowel voor nieuwbouw (afbeelding 7.29), als voor renovatie [180] interessant.

Opmerking:

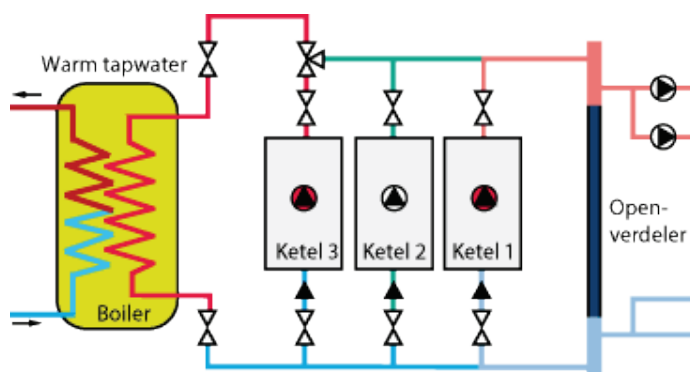
Let er op dat de eenheden die niet werken, niet doorstroomd worden met het CV-water. Dit wordt bereikt door per eenheid terugslagkleppen te monteren. Zonder deze voorziening zal een niet-werkende eenheid als koelrib gaan werken.



Afb. 7.29 Voorbeeld van toepassing van mini-WKK in combinatie met zonne-energie bij een complex van 11 seniorenwoningen en enkele gemeenschappelijke ruimten in Bennebroek. Er is een cascade toegepast van zonneboiler, mini-WKK, en twee HR-ketels. Realisatie: 1997

In de woning van afbeelding 7.29:

- Vergrote radiatoren;
- HR⁺⁺-glas;
- Gebalanceerde ventilatie met WTW;
- Gas voor koken;
- Alle energie individueel afgerekend;
- Regenwater voor toiletspoeling;
- Waterbesparende maatregelen.



Afb. 7.30 Voorbeeld van een cascade-opstelling met voorkeurschakeling voor warmtapwater

7.3.8 Zonneboilercombi

Met een zonneboilercombi wordt zonne-energie actief ingezet voor ruimteverwarming en warmtapwater (zie hoofdstuk 9). In voor- en naseizoen is de inzet voor ruimteverwarming vaak efficiënter dan voor het verwarmen van tapwater doordat het temperatuurniveau voor ruimteverwarming lager is. De installatie bestaat uit zonnecollectoren met aanvullende voorzieningen voor opslag en distributie.

Voor een zonneboilercombi is 6 tot 10 m² collector nodig.

De naverwarmer kan in het opslagvat geïntegreerd zijn of apart aan het opslagvat gekoppeld worden. Dankzij de warmte in het opslagvat kan een zonneboilercombi ook de vaak zeer kleine vermogens voor ruimteverwarming leveren die in nieuwbouwwoningen gevraagd worden.

Door de ongelijktijdigheid van aanbod van zonne-energie en vraag naar ruimteverwarming levert de zonne-energie een kleine bijdrage aan de warmtevraag voor ruimteverwarming (ca. 10 tot 20%).

Opmerkingen:

- Ruimteverwarming met behulp van actieve zonne-energie wordt steeds interessanter bij vergroting van de mogelijkheden van seizoensopslag voor zonnewarmte (paragraaf 7.3.9);
- Naarmate het temperatuurniveau van het warmte-afgiftesysteem lager is kan er een hogere bijdrage geleverd worden door zonne-energie. Een ontwerp-aanvoertemperatuur onder de 40 °C is aan te bevelen;
- Zonnecollectoren voor ruimteverwarming leveren een bijdrage aan de verdere verlaging van het primaire energiegebruik (BENG 2 indicator) en hebben een positieve invloed op de BENG 3 indicator (aandeel hernieuwbare energie);
- Zie voor een uitgebreidere toelichting op zonnecollectoren bij warmtapwater (paragraaf 9.3.5).

7.3.9 Warmte-opslag (en koudeopslag - WKO)

Het opslaan van warmte en/of koude is een belangrijk onderdeel van verschillende systemen voor duurzame energie en andere energie-efficiënte installaties. Door gebruik te maken van warmte- en/of koudeopslag wordt het rendement van dergelijke systemen vergroot. Men spreekt van een WKO (Warmte/Koudeopslag) wanneer in een systeem zowel warmte als koude wordt opgeslagen waarbij de warmte 's winters gebruikt wordt en de koude 's zomers. In deze paragraaf is vooral aandacht voor de opslag van warmte, zie paragraaf 8.3.3 en paragraaf 8.3.4 voor de opslag van 'koude'.

Warmte-opslag is vooral van belang bij actieve zonne-energie, warmtepompen en warmtekrachtkoppeling (WKK). Dit komt doordat:

- De zon alleen overdag schijnt, terwijl er juist in de avond of vroege ochtend veel vraag is;
- Warmtepompen meestal een relatief lage capaciteit hebben. Men moet dus de warmte tijdelijk kunnen opslaan om aan de piekvraag te kunnen voldoen;
- WKK-installaties zoveel mogelijk draaiuren achter elkaar moeten maken, dus zonder aan- en uitschakelen; het opstarten kost namelijk relatief veel energie en verkort de levensduur. Ook wil men een WKK juist laten draaien als stroom duur is, dat valt meestal niet samen met momenten met een hoge warmtevraag.

We onderscheiden enerzijds systemen voor de korte en anderzijds voor de lange termijn.

Korte termijn

Watervat: Een bekend voorbeeld hiervan is het voorraadvat van een zonneboilersysteem. Dit vat is bedoeld voor de opslag van warm water van maximaal zo'n 80 à 90 °C voor maximaal enkele dagen. Een andere toepassing is bijvoorbeeld het tijdelijk opslaan van restwarmte van een WKK-installatie. In afbeelding 7.23 is een voorbeeld te zien van een korte-termijn-opslag voor de warmte afkomstig van zowel zonnecollectoren als warmtepompen. Het gaat hierbij steeds om opslag van 'hogere' temperaturen, vanaf ongeveer 40 °C gemiddeld over het jaar. Het is van belang om dit soort vaten erg goed te isoleren en vooral te letten op warmtelekken door aansluitingen en de poten waar het vat op staat. Om thermische trek in de aansluitingen te voorkomen moeten die zoveel mogelijk naar beneden gevoerd worden. Aansluitingen op de kop zijn meestal grote lekken.

Langere of lange termijn/seizoensopslag. Opslag temperatuur < 20 °C

De warmte kan niet direct benut worden voor ruimteverwarming. Warmtepompen zijn essentieel om de warmtevoorraad van dit niveau te kunnen gebruiken.

Bij deze warmte-opslag wordt in de zomer de temperatuur opgevoerd richting 20 °C. Die warmte is meestal afkomstig van koeling van de woning via vloer- of wandkoeling, maar kan ook afkomstig zijn van een zonnecollectorsysteem (afbeelding 7.34). Een 'normaal' bodembronsysteem (via een gesloten buizenstelsel, ook wel bodemwisselaar genoemd) heeft een temperatuur van rond de 12 °C, de temperatuur die de bodem van nature heeft. De verhoogde temperatuur kan zorgen voor de verhoging van de COP van een warmtepomp in de winter met één punt (bijvoorbeeld van 5 naar 6). De buizen kunnen ook opgenomen zijn in heipalen; een zorgvuldig bouwproces is vereist i.v.m. aansluiting buizenstelsel aan bovenzijde van de palen.

Langere of lange termijn/seizoensopslag. Opslag temperatuur > 25 °C

De warmte kan direct gebruikt worden voor ruimteverwarming. De opslag kan plaatsvinden in:

- Een 'aquifer' ('open' systeem). Dit is een watervoerende bodemlaag. De warmte wordt bij een aquifer rechtstreeks in het (grond)water en het zand opgeslagen. Een voor warmte-opslag geschikte aquifer bestaat meestal uit een zandlaag die is omgeven door 'waterdichte' (horizontale) lagen klei. De grondwaterstromen in de zandlaag mogen slechts een beperkte snelheid hebben om warmteverliezen te beperken. Bij een doorlatende grond ontstaan thermische stromingen die het warmteverlies sterk vergroten. Anderzijds moet de grond wel doorlatend zijn omdat anders geen water opgepompt kan worden. Door deze tegenstrijdigheid is het lastig om geschikte plaatsen te vinden voor hoge-temperatuur-opslag. Het temperatuurniveau moet daarom meestal laag blijven. Een mooi voorbeeld hiervan in de bestaande bouw is het 2MW project van Eneco in Haarlem (opslagtemperatuur circa 40 °C) (afbeelding 7.31);
- Een grote watervoorraad. Een grote inhoud is essentieel om de oppervlakte-inhoud verhouding gunstig te laten zijn en daarmee het warmteverlies te beperken. Diverse uitvoeringen zijn mogelijk zoals een metalen of betonnen tank, of een in de bodem uitgegraven put met bekleding. De bovenzijde en de omtrek moeten zeer goed geïsoleerd worden, denk aan één meter dikte. Temperaturen tot 80 °C zijn mogelijk. In het buitenland lopen diverse proefprojecten hiermee (afbeelding 7.32), in ons land is eind 2014 een prototype van een ondergronds opslagvat met behulp van o.a. een damwand aangelegd [190];
- Buizenstelsel in zand-, klei- en veenlagen ('gesloten' systeem, ook wel verticale bodemwisselaar genoemd). De (zonne)warmte wordt via een vloeistof in een gesloten buizenstelsel aan de bodem afgegeven en weer teruggewonnen. De buizen kunnen ook opgenomen zijn in heipalen; een zorgvuldig bouwproces is vereist i.v.m. aansluiting buizenstelsel aan bovenzijde van de palen. Ook bij het buizenstelsel mogen er natuurlijk geen grondwaterstromen zijn. De grondmassa waar de buizen inzitten moet aan de bovenzijde en rondom zeer goed geïsoleerd worden (in tegenstelling tot de systemen voor temperaturen < 20 °C). Hoge temperaturen zijn mogelijk.

Meer informatie: zie brochure 'Wko 3x beter' [183], wkotool.nl, www.bodemenergie.nl en www.rws.nl.

Vergunning en melding bodemenergiesystemen (WKO)

Ga bij het toepassen van bodemenergiesystemen (warmte- en koudeopslag – WKO) goed na welke vergunning of melding vereist is. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen 'open' en 'gesloten' systemen.

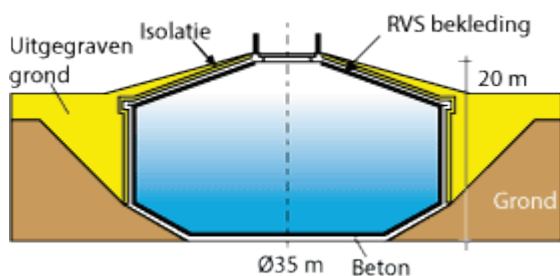
Zo is voor open systemen meestal een watervergunning nodig. De Provincie geeft voor kleine systemen waarbij de wateronttrekking kleiner is dan 10 m³ per uur soms vrijstelling. Wel is dan een melding nodig in het kader van het Waterbesluit.

Bij gesloten systemen die binnen een 'inferentiegebied' liggen is een 'Omgevingsvergunning beperkte milieutoets' nodig en anders altijd een melding. Voor systemen die een bodemzijdig vermogen ≥ 70 kW hebben of in een 'interferentiegebied' liggen is ook een 'Omgevingsvergunning beperkte milieutoets' nodig. Bij bodemenergiesystemen in elkaars nabijheid bestaat het risico dat de thermische invloedsgebieden elkaar overlappen (=interferentie). Meestal is de gemeente het bevoegd gezag.

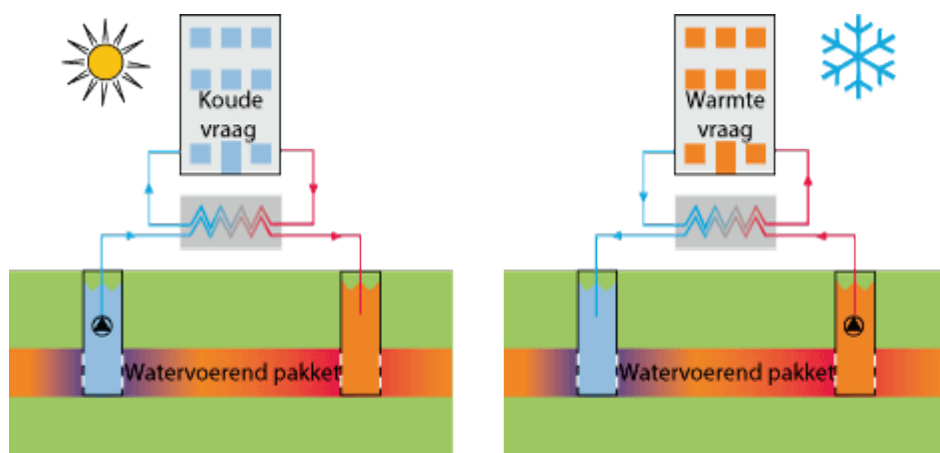
Zie voor meer info www.infomil.nl.



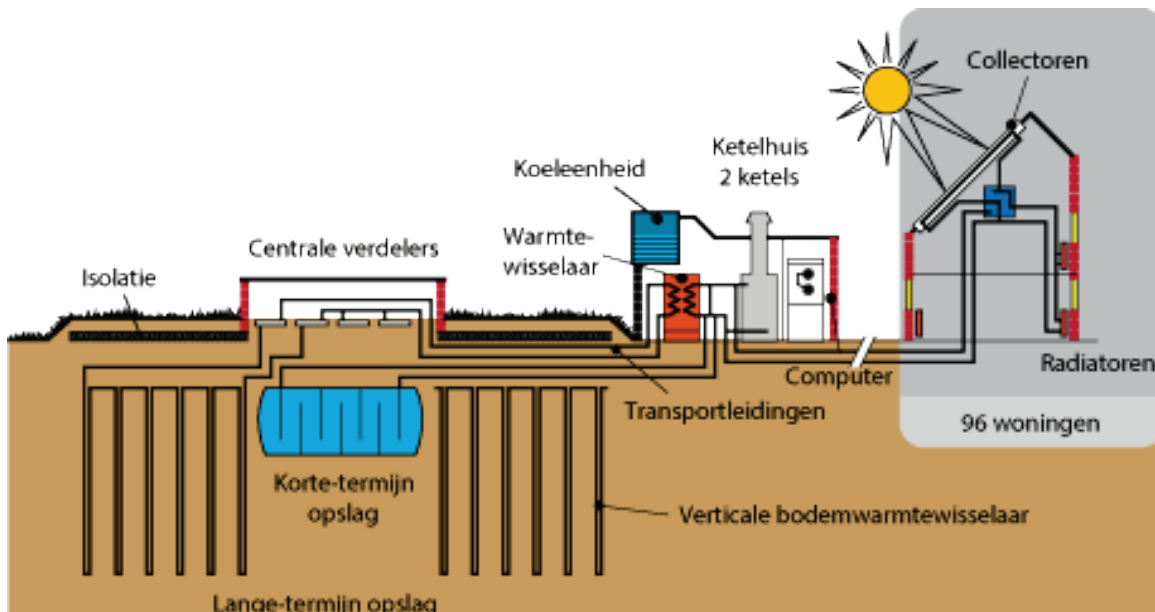
Afb. 7.31 In het 2MW-project in het Haarlemse stadsdeel Schalkwijk wordt bij 382 bestaande flatwoningen door toepassing van verschillende systemen en maatregelen een energiebesparing gehaald van 70%. Een nooit eerder op zo'n grote schaal toegepaste combinatie van zonnecollectoren, warmteopslag in de bodem en warmtepompen vervangt de bestaande verwarmingsinstallatie. De zonnecollectoren zijn in duidelijk zichtbare 'dakkappen' opgenomen. (Betrokken partijen: Opdrachtgevers: Elan Wonen Haarlem, de Woonmaatschappij en Pré Wonen; energiesysteem: Eneco; adviseur: BOOM-SI en DWA)



Afb. 7.32 Seizoenopslag voor zonnewarmte in Friedrichshafen (Duitsland) voor een project met bijna 600 appartementen. De opslag bestaat uit een grotendeels ingegraven betonnen tank (12.000 m³). De tank is aan de binnenzijde bekleed met roestvrijstaal in verband met de waterdichtheid. Zonnecollectoren met een totale oppervlakte van 5600 m² leveren de warmte. Realisatie: 1996 [172]



Afb. 7.33 Principe aquifer in winterperiode. In de praktijk worden zandlagen gebruikt die minimaal zo'n 20 meter dik zijn en die op een diepte tussen 40 en 150 meter liggen



Afb. 7.34 Seizoenopslag voor zonnewarmte in het project Froukemaheerd in de Groningse wijk Beijum uit 1980. De opslag bestaat uit 15 km slangen aangebracht onder een centraal gelegen grasveldje. De opslag heeft een diameter van bijna 40 m en een diepte van 20 m en is aan de bovenzijde geïsoleerd. De 96 woningen zijn voorzien van totaal 2350 m² zonnecollectoren. Het verwarmingssysteem in de woningen bestaat uit lage temperatuur radiatoren. Er is een centrale bijstook met gasketels. Uit metingen blijkt dat de bijdrage van de zonne-energie aan de totale warmtevraag voor ruimte- en tapwaterverwarming ongeveer 65% bedraagt. De gemiddelde temperatuur van de bodem in de opslag varieert van circa 30 °C rond februari tot bijna 50 °C rond oktober. Het totale systeem functioneert nog steeds zonder bijzondere klachten. In de loop van de jaren zijn wel enige wijzigingen aangebracht en reparaties verricht [173]. In 2009 is het installatiesysteem gerenoveerd en aangepast [181]. Zo zijn er o.a. efficiëntere zonnecollectoren aangebracht zodat de collectoroppervlakte kleiner kon zijn en er ruimte vrij kwam om PV-panelen te plaatsen. De gewonnen warmte wordt nu (in tegenstelling tot voor de renovatie) direct in de desbetreffende woning voor tapwater gebruikt. Een overschot wordt per woonblok verzameld en voor ruimteverwarming gebruikt. Alleen als daarna nog warmte over is, wordt deze centraal opgeslagen. (Bron: Ontwerp: Architecten- en Ingenieursbureau Kristinsson i.s.m. Bredero Energy Systems; renovatie: BAM Techniek i.s.m. Nefit, Opdrachtgever: corporatie De Huismeesters)

7.4 Collectieve verwarming

Bij collectieve verwarming worden meerdere woningen van warmte voorzien vanuit één centrale installatie. Het kan hier gaan om een beperkt aantal woningen in een woongebouw, maar ook om een groot aantal in een woonwijk. Collectieve verwarmingssystemen zoals blokverwarming en warmtelevering kunnen energie besparen. Of dat het geval is, hangt ondermeer af van:

- De energetische kwaliteit van de warmte-opwekking;
- Temperatuurniveau en regeling van het systeem;
- De kwaliteit en de totale leidinglengte van het distributienet;
- De energievraag per hectare.

Voordelen van collectieve systemen:

- Er kan gebruik worden gemaakt van efficiënte energie-opwekkers, restwarmte en/of opslagmethoden, zoals:
 - warmtekrachtkoppeling;
 - Industriële restwarmte;
 - Warmtepomp;
 - Biomassa;
 - Seizoensopslag met zonne-energie (afbeelding 7.31);
 - Geothermische energie of diepe aardwarmte (paragraaf 7.3.6).

- Door de grotere schaal van een collectief systeem kan bespaard worden op de capaciteit en de investering van de energieopwekking. In een collectief systeem kan immers gebruik gemaakt worden van de ongelijktijdigheid: het grootste deel van de tijd is er slechts een beperkte basislast vraag en het vermogen voor de piekvraag kan 'uitgesmeerd' worden over meerdere woningen;
- Door cascade-opstelling van kleinere eenheden kan gebruik gemaakt worden van goedkope componenten en met een hoog rendement;
- Collectieve installaties geven over het algemeen minder milieuverontreiniging, o.a. door:
 - de efficiëntere opwekking van energie of warmte;
 - Een beter onderhoud.
- Er is geen warmtebron voor ruimteverwarming in de woning aanwezig. Voordelen:
 - Veiliger;
 - Eenvoudiger onderhoud; het onderhoud aan de warmtebron behoeft namelijk niet per woning plaats te vinden;
 - Minder ruimtebeslag in de woning.

Nadelen van collectieve systemen

- De investeringen in het distributienet zijn over het algemeen hoog;
- De warmteverliezen in het distributienet zijn vaak erg hoog; bij grote systemen, waar grondleidingen worden gebruikt, kunnen de verliezen zelfs tot 30% van de totale warmteproductie oplopen. De verliezen zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van de isolatie en de hoogte van de temperatuur. Bij een afnemende warmtevraag (bijvoorbeeld door extra besparende maatregelen op woningniveau) nemen de verliezen verhoudingsgewijze toe.

Het [Nationaal Expertisecentrum Warmte](#) (NEW) heeft veel informatie over en hulpmiddelen voor warmtelevering zoals de Uniforme Maatlat voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw.

Warmtedistributie

Aansluiten

De warmte uit het collectieve distributienet kan:

- Direct worden toegevoerd aan het leidingnet van de woning; de beide netten staan dan in open verbinding met elkaar;
- Via een warmtewisselaar worden overgebracht op het leidingnet van de woning.

Het voordeel van de eerste is dat er geen extra kosten voor een warmtewisselaar gemaakt hoeven worden en er hier ook geen ruimte voor nodig is. Door het ontbreken van de warmtewisselaar zijn de temperaturen in het distributienet circa 4 °C lager dan met een warmtewisselaar. Dus minder verliezen en een hoger rendement van de opwekker. Het nadeel is dat bij lekkage in één woning het hele systeem leeg kan lopen, tenzij hiertegen een beveiligingsklep wordt gemonteerd.

In het Bouwbesluit art. 6.10 lid 3 staat omschreven wanneer aansluiting op een warmtenet verplicht is. In de toelichting op het Bouwbesluit is bij dit artikel vermeld dat uiteraard een beroep op gelijkwaardigheid kan worden gedaan om gebruik te maken van een andere warmtevoorziening.

Warmtapwater

In woningen met een collectief verwarmingssysteem wordt meestal ook het tapwater collectief verwarmd. Er zijn verschillende systemen zie paragraaf 9.3.4.



Afb. 7.35 Individuele afleverset voor stadsverwarming met tapwaterverwarming via een platenwisselaar en warmtemeter. Let op de perfecte isolatie. Een compact apparaat heeft de voorkeur (Bron: NIBE Energietechniek)

Warmte-opwekking

Schaal van de systemen

Het belangrijkste verschil tussen blokverwarming en warmtelevering is te vinden in de schaal van de beide systemen voor warmtedistributie. Bij blokverwarming gaat het om een collectief systeem in een of enkele bouwblokken en is dus klein van omvang. Bij warmtelevering (voorheen 'stadsverwarming') gaat het om een systeem voor duizenden woningen. Systemen die qua grootte tussen beide invallen, zijn ook mogelijk. Er wordt dan meestal gesproken over wijkverwarming. Afhankelijk van de grootte van dit systeem lijkt het op een blokverwarming of op warmtelevering.

Voor warmtelevering en dergelijke systemen van 1000 of meer woningen wordt vrijwel altijd gebruik gemaakt van: warmtekrachtkoppeling, industriële restwarmte of aardwarmte. De hoofdopwekker levert 75 tot 90% van de jaarlijkse benodigde hoeveelheid warmte. De overige warmte wordt door hulpketels geleverd die soms in onderstations staan opgesteld om een betere benutting van het distributienet mogelijk te maken. Om het totaal rendement op peil te houden is het noodzakelijk dat hiervoor HR-ketels worden ingezet. Daarop wordt nog wel eens bezuinigd. Vraag bij een warmtenet naar een gecontroleerde (EMG-) kwaliteitsverklaring over het rendement van het systeem.

Bij de kleinere collectieve systemen kan voor de warmte-opwekking gebruik worden gemaakt van:

- Warmtekrachtkoppeling;
- Warmtepompen;
- Zonne-energie;
- Biomassa-ketels of -WKK;
- Een combinatie van de vorige mogelijkheden.

Opmerking:

- Ontwerp een lage temperatuur afgiftesysteem in de woningen Dit beperkt de verliezen in het systeem;
- Houd rekening met de ruimte in de woning voor een afleverset (afbeelding 7.35); circa 0,3 (diepte) x 0,4 (breedte) x 0,6 m (hoogte);
- Ventileer de meterkast goed en isoleer alle warme leidingen en onderdelen in de meterkast;
- Kies een zo zuinig mogelijke wijze van tapwater verwarming;
- Beperk de leidingverliezen door:
 - Een zo kort mogelijk leidingnet te ontwerpen; een relatief hoge bebouwingsdichtheid is daarom gunstig; globale richtgetallen zijn [166]:
 - Bij een grootschalig warmtenet (vanaf zo'n 3000 woningen) netto dichtheid van 30 woningen per hectare;
 - Bij een kleinschalig warmtenet (vanaf zo'n 300 woningen) netto dichtheid van 55 woningen per hectare.
 - Uitstekende leidingisolatie toe te passen; let op zorgvuldige uitvoering over de volle lengte;
 - Leidingen niet in het grondwater aan te leggen;
 - Collectieve leidingen zo veel mogelijk in ruimten te situeren die toch warmte nodig hebben (het warmteverlies komt dan nog ten goede aan deze ruimte);

Warmtewet

Per 1 januari 2014 is de Warmtewet in werking getreden. De wet regelt de voorwaarden voor de levering van warmte aan kleinverbruikers. De wet geeft bepalingen ten aanzien van tariefbescherming, leveringszekerheid voor de gebruiker, een vergunningstelsel en onafhankelijk toezicht. De wet geldt niet voor de levering van koude! Bij blokverwarming met een gebouwgebonden installatie is de eigenaar van deze installatie voor de wet een warmteleverancier. Uitzondering hierop vormen Verenigingen van Eigenaren (VvE's) [184]. Een woningcorporatie kan dus echter wél warmteleverancier zijn. Voor meer informatie zie [185] en [186].

7.4.1 Regeling

Regeling collectief gestookte CV-installaties

Het type regeling is afhankelijk van de wijze waarop tapwater wordt verwarmd. Als dit in de woning gebeurt, staat het distributienet altijd op 70 °C. In de afleversets zit dan een thermostaat die er voor zorgt dat de retourtemperatuur niet warmer wordt dan 40 °C. Indien er een apart tapwaternet is of tapwater op andere wijze wordt verwarmd, wordt het systeem voorzien van een weersafhankelijke regeling. Het regelsysteem zorgt ervoor dat de zuinigste opwekkers het meest gebruikt worden.

Bij blokverwarming kan de regeling van de CV deel uit maken van een compleet gebouwbeheersysteem, waarin ruimte- en tapwaterverwarming, ventilatie, verbruiksmeting, beveiliging en dergelijke is opgenomen. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om vraag en aanbod van warmte (voor bijv. ruimteverwarming) bij een collectieve installatie optimaal op elkaar af te stemmen. Door het gebouwbeheersysteem kan namelijk op een bepaald moment exact de warmtevraag van alle woningen samen geregistreerd worden. Het project 'Puntegale' (afbeelding 7.36) is een voorbeeld waarbij een gebouwbeheersysteem is toegepast.

De warmteafgifte in de woningen bij collectieve systemen moet minimaal geregeld worden met:

- Thermostatische radiatorcrankranen in combinatie met voetventielen op alle radiatoren; gewone radiatorcrankranen zijn sterk af te raden;
- Of een (kamer)thermostaat die een klep in de toevoerleiding naar de woning regelt. De radiatoren zijn voorzien van normale of thermostatische radiatorcrankranen. Deze laatste niet toepassen in de woonkamer als daar de kamerthermostaat aanwezig is.



Afb. 7.36 Project Puntegale, het voormalige Rotterdamse belastingkantoor, is een multifunctioneel woon/werkcomplex [167]. Het complex is o.a. voorzien van collectieve installaties voor ruimte- en tapwaterverwarming. Het is aangesloten op een warmtenet en heeft bovendien een zonneboiler- en een mini-wkk. Alle (woon)eenheden zijn aangesloten op een gebouwbeheersysteem. Via infrarood-detectie worden in de betreffende woning de verwarming en ventilatie op gebruiks- of (bij afwezigheid) op minimumniveau gebracht. De bewoner kan de gebruikstemperatuur drie graden hoger of lager instellen. Per eenheid wordt het gas-, elektriciteits- en waterverbruik (warm en koudwater) ingelezen en centraal geregistreerd. (Betrokken partijen: Opdrachtgever: Stadswonen; Architect: De Jong Bokstijn architecten; Aannemer: Moeskop's Bouwbedrijf)

7.4.2 Bemetering

Verbruiksmeting collectieve systemen

Bij collectieve systemen is individuele warmtemeting een 'must': Bij bestaande woningcomplexen levert een dergelijke warmtemeting blijvend jaarlijks gemiddeld 15 à 20% energiebesparing op ten opzichte van de situatie zonder individuele meting. Het artikel Individuele warmtemeting [168] laat zien dat ook na verloop van jaren warmtemeting veel energie bespaart. NEN 7440 [169] en NPR 7441 [170] geven aan hoe men een systeem voor individuele warmtemeting kan opzetten, zowel technisch als administratief. Het is van groot belang dat de totale kosten eerlijk verdeeld worden over de betreffende woningen. Daarvoor zijn diverse mogelijkheden. Het gaat daarbij om het verdelen van de stookkosten voor algemene ruimten en leidingverliezen. Tussen buurwoningen met een verschillende temperatuur vindt warmteoverdracht plaats door de scheidingsmuur of -vloer. In goed geïsoleerde woningen is dit een zeer aanzienlijk deel van het totale verbruik. Iemand die een lage temperatuur wenst, hoeft vrijwel niet te stoken, dat doen zijn burens wel. Dit effect is alleen te voorkomen door de woningscheidingen te isoleren. In nieuwbouw is dat aan te raden.

Qua verbruiksmeting is onderscheid te maken tussen:

- Verbruiksmeting per radiator of convector;
- Verbruiksmeting per woning.

Verbruiksmeting per radiator of convector

De meting vindt plaats met behulp van een verdampingsmeter of een elektronische radiatormeter. Elke radiator is hiervan voorzien. Het totale energieverbruik van het complex wordt evenredig aan het aantal verbruikseenheden van de verdampingsmeter per woning verdeeld.

Dit type meters wordt alleen nog in de bestaande bouw toegepast. In nieuwbouw kan de warmte altijd op één punt de woning in gebracht worden om daar een verbruiksmeter te plaatsen.

Verbruiksmeting per woning

Elektronische warmtemeters (GJ meters): Deze meten per woning de hoeveelheid aangevoerd CV-water en de temperatuur van het aanvoer- en retourwater. Uit deze gegevens wordt het totale warmteverbruik berekend, inclusief het verlies van de leidingen in de woning na de meetpunten. Vaak is deze warmtemeter opgenomen in de afleverset (afbeelding 7.35). Per woning moet een 'centrale voeding' aanwezig zijn, d.w.z. één aanvoer- en één retourleiding. Om de warmtetoevoer naar de gehele woning te kunnen regelen is deze centrale voeding ook vereist.

Voordelen van een systeem met warmtedoorstroommeters (ten opzichte van meting per radiator):

- De grote nauwkeurigheid;
- De toepasbaarheid bij alle verwarmingssystemen, mits een 'centrale voeding' aanwezig is;
- De eenvoudige incasso bij centraal aflezen;
- Bewoners kunnen hun verbruik makkelijk bijhouden en controleren.

Centraal aflezen

Het centraal ('op afstand') aflezen van het verbruik is bij beide typen meters mogelijk. Deze aflezing is mogelijk via een kabeltje of radiografisch. Automatische koppeling met maandelijkse incasso is niet ongebruikelijk.

Voordeel:

- Eenvoudige incasso;
- Tussentijdse controle mogelijk op het goed functioneren van de installatie;
- Bij verhuizing vindt automatisch juiste verrekening plaats.