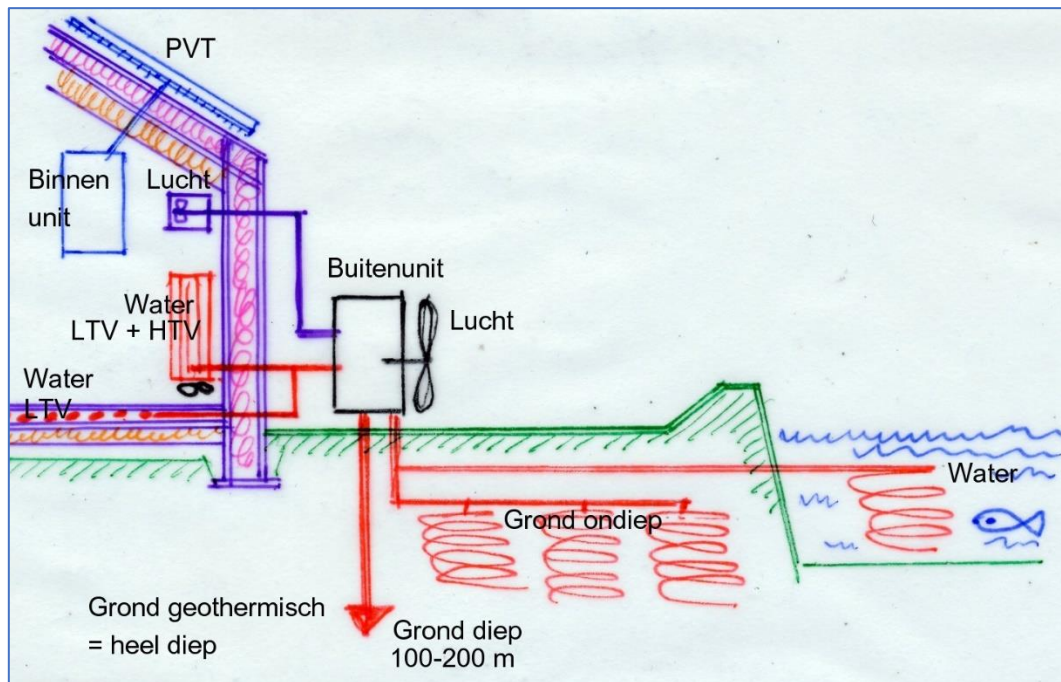


Warmtepomp voor het verwarmen van woningen Een overzicht met voor- en nadelen



Abstract: Beschrijving van warmtepompen, de modellen zoals Hybride, All electric en tussenvormen. De werking en de verschillende systemen zoals Lucht-Lucht (airco), Lucht-Water, Water-Water, Grond-Water (ondiep, diep), met de voordelen en nadelen en uitgebreide observaties. Betekenissen. COP, SCOP, Laag Temperatuur Verwarming (LTV) en All-electric en Hoog Temperatuur Verwarming (HTV). Koelvloeistoffen en GWP, R290. Geluid van buitenunits, PV-Thermisch en keuze van woningaanpassing. Berekenen vermogen. Offertes beoordelen. Warmteopslag.

Inhoud

Inleiding.....	2
1. Een warmtepomp voor de verwarming van de woning.....	3
2. De verschillende keuzes van aanpak.....	8
3. Overzicht meest voorkomende warmtepompen systemen.	11
4. Het koudemiddel of koelmiddel.....	17
5. Het buffervat.....	18
a. Stadsverwarming uit geothermie.....	23
b. Het PVT-systeem.	25
6. Berekening vermogenscapaciteit All-electric warmtepomp zonder en met tapwater.....	27
7. Berekening vermogenscapaciteit van Hybride warmtepomp.....	29
8. Radiatorventilator.....	30
9. De Hybride warmtepomp (combinatie).....	31
10. Wanneer is een hybride warmtepomp te overwegen?.....	32
11. De hoge-temperatuur verwarming (HTV) warmtepomp.....	32
12. Subsidie op warmtepomp, warmtenet en zonneboiler.....	33
13. Algemene opmerkingen m.b.t. de warmtepomp.....	33
14. Offertes van aannemers of installatiebedrijven.	36
16. Warmteopslag en batterijopslag.....	38

Inleiding.

Een woningeigenaar wil graag weten wat de kosten zijn voor installatie en op lange termijn (TCO Total Cost of Ownership) en de theoretische TerugVerdienTijd (TVT) op de energierekening in vergelijking met een ander warmtesysteem (met gas of pelletkachels) en de milieuaspecten zoals CO₂-uitstoot (reductie). Vanwege de wisselende energietarieven door de elektriciteit-netcongestie en de noodzaak om 'van het gas af' te gaan vanwege het afsluiten van het Groningse gas, en niet te vergeten de politiek, liggen de tarieven in de toekomst niet vast. Eind 2024 lijken de gastarieven na een korte tijd van verlaging alweer omhoog te gaan.

Isoleren van de woning blijft voorop staan, samen met de warmtewisselaar voor de ventilatielucht.

Vóór het aanleggen van een warmtepomp zal de woningeigenaar vaak aanbevolen worden om de isolatie van de woning te verbeteren, zodat een kleiner vermogen warmtepomp kan worden aangeschaft, die gedurende de tijd dat deze werkt minder stroom verbruikt dan een groter vermogen warmtepomp. Dat isolatieverbetering kan ook in fasen. Ook kan het warmteafgifte systeem aangepast worden want Laag Temperatuur Verwarming (LTV 35°C) is meer energie-efficiënt dan een hoog temperatuur (HTV) afgifte systeem. Veel koudemiddelen worden per 2027 verboden voor warmtepompen tot 50 kW, dan blijven hoofdzakelijk R290 en R410a en R454 en R454C nog over.

Het rendement van de warmtepomp wordt aangegeven door de COP (Coëfficiënt of Performance) of de Seasonal COP (SCOP). Dit verschilt per type warmtepomp en de stooklijn, terwijl met lage lucht temperaturen de COP van een Lucht-Water warmtepomp snel daalt. Dit document geeft een overzicht van veel elementen die komen kijken bij het kiezen van een warmtepomp.

Elke woning kan met een warmtepomp verwarmd worden. Er zijn warmtepompen die een heel ziekenhuis kunnen verwarmen, maar aan elk systeem hangt een energie (prijs)kaartje. Slechts door beter te isoleren, energiezuinig te ventileren en de temperaturen laag te houden worden de beste economische maatregelen bereikt. Vooral goed isoleren is een duurzame maatregel die ook de meerwaarde van een woning verhoogd. Een slimme, zuiniger installatie is vaak mogelijk, maar installaties gaan maar tussen de 15 en 30 jaar mee, terwijl isolatie zolang meegaat als het gebouw.

1. Een warmtepomp voor de verwarming van de woning

Volgens de 2021 BENG-normen moeten woningen niet alleen beter geïsoleerd zijn maar ook zoveel mogelijk hernieuwbare energie opwekken en gebruiken om te verwarmen. Er moet gekeken worden hoe nóg betere isolatie én duurzame energieopwekking gerealiseerd kan worden. Een warmtepomp produceert meer Joule warmte per ingestopte energie (gas/stroom) dan een gas-CV. Het economische effect hangt af van de elektriciteitsprijs en de gasprijs. De elektriciteitsprijs hangt af van de wisselende tarieven (dag/nacht), of je zelf stroom opwekt, saldering of dat je een batterij systeem hebt.

Wanneer over een paar jaar¹ de HR-Cv-ketel² vervangen moet gaan worden (15-20 jaar nuttige leeftijd maximaal)³ kan de woning op tijd geschikt gemaakt worden voor een nieuw en energiezuiniger verwarmingssysteem, eventueel gecombineerd met een balansventilatiesysteem met WTW (WarmteTerugWinning)⁴. Zelf opwekken van energie kan met PV-panelen (elektra) en zonneboiler (warm water). Voor het opwaarderen van warmte uit de grond, lucht en water worden warmtepompen gebruikt. Efficiënte systemen hebben een LaagTemperatuurVerwarming (LTV) waarbij de Cv-watertemperatuur in het warmteafgifte systeem < 35°C blijft zoals bij vloerverwarming.

Voor een woning mag volgens de norm BENG 2021 **niet meer dan 75 kWh/m²/jaar** aan warmte-energie verbruikt worden (exclusief het koken). Bij koken op gas moet de hoeveelheid m³ aardgas moet dan omgerekend worden naar kWh. (1 m³ aardgas ≈ 10,2 kWh).

Een matig geïsoleerde 140 m² hoekwoning⁵ met 2 personen verbruikt gemiddeld in 2020 ongeveer 1600 m³ gas/jaar of 16.320 kWh oftewel $16.320 : 140 = 117 \text{ kWh/m}^2$ jaar. Dat ligt 50% boven de BENG norm en vereist een ≈ 8 kW warmtepomp voor de gebouwverwarming (1600 / 200 = de vuistregel). Daarnaast moet de warmtepomp het tapwater verwarmen (≈20% extra). Dan komt de warmtepompcapaciteit inclusief de boiler/buffervat dus op 9,5 kW.

¹ Als per 2026 een Cv-ketel vervangen gaat worden, dan moet dat een duurzamer systeem (warmtepomp) worden. Dat kan een hybride systeem zijn (elektra + gas), maar de voorkeur gaat uit naar een ALL-electric systeem, want een hybride systeem gebruikt nog steeds gas als het minder dan 0°C of -5°C wordt, waarbij het energetisch rendement van het systeem daalt.

² De HR-CV gasketel verbruikt aardgas en daarmee hoofdzakelijk fossiele energie en heeft een flinke CO₂ uitstoot. De warmtepomp heeft een 30% tot 50% lagere CO₂ uitstoot en produceert warmte met elektriciteit, die in steeds grotere mate duurzaam wordt opgewerkt. Sinds 2020 wordt elektriciteit (PV en wind) ook gebruikt om waterstofgas aan het gasnet toe te voegen. Dit is primair voor de industrie.

³ Cv-ketels die niet zwaar belast worden kunnen wel langer mee. In de nabije toekomst wordt meer waterstofgas bij het aardgas gemengd. In dat geval zullen bij oudere modellen de sproeistukken en branders vervangen moeten worden om het rendement te verbeteren. Cv-systemen die op een LTV aansluiten (≈ 35°C watertemperatuur) hebben een iets hoger rendement dan een CV die > 65°C staat.

⁴ Veel woningen die tussen de jaren 1970 en 200 zijn gebouwd hebben een mechanische ventilatie. Deze voert constant warme lucht uit de woning af en komt er koude lucht de woning in. Hierdoor zijn deze systemen onzuinig in het energiegebruik. Ombouwen naar een lucht WTW-systeem is dan belangrijk.

⁵ Een kleinere tussenwoning van 120 m² (minder geveloppervlak) zou met een gasverbruik van < 900 m³/jaar een 5 kW tot 6 kW kunnen volstaan, afhankelijk van de COP (minimaal 4) en de stooklijn (LTV).

Om diezelfde woning met een 5 kW warmtepomp voldoende warm te krijgen bij $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ moet de gasconsumptie $< 1000\text{ m}^3$ zijn (exclusief koken op gas)⁶. $1000\text{ m}^3\text{ gas} / 200 = 5\text{ kW}$.

Wanneer de huidige Cv-ketel het begeeft, ga dan bij voorkeur niet direct voor een hoog-temperatuur-warmtepomp of een hybride systeem (= elektra + gas) met een nieuwe HR-CV, wanneer de energie consumptie van de woning boven de $75\text{ kWh/m}^2/\text{jaar}$ ligt. Het Cv-installatiebedrijf kan een tijdelijke CV aanbieden die de woningeigenaar de tijd geeft om de nodige isolatiemaatregelen te nemen **totdat de woning voldoende geïsoleerd is om een LTV-warmtepomp aan te schaffen.**



Figuren 1. Een LTV-vloerverwarming is niet altijd nodig. Wanneer u een mooie parketvloer heeft, zou u die niet willen slopen om daar een LTV-vloerverwarming in/op te bouwen. Links. Oude situatie met oude radiator. Rechts. Toepassing van binnenzijdige muurisolatie tot een $R_c > 4\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ (brede vensterbank) en plaatsing van een Jaga convectorradiator met ventilator. In de convectorbak is ook een nieuwe convectorradiator geplaatst. Bij een goede gebouwisolatie⁷ en LTV kunnen vaak de oude radiatoren blijven zitten en voorzien worden van radiator-ventilatoren voor een versnelde warmteafgifte.

Omdat bij LTV de Cv-water temperatuur laag is (max $35\text{ }^{\circ}\text{C}$), is er meer warmteafgifte oppervlak nodig dan bij een midden temperatuur systeem ($> 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $55\text{ }^{\circ}\text{C}$) en veel meer oppervlak dan bij een hoog-temperatuur systeem ($> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $80\text{ }^{\circ}\text{C}$). Een LTV-vloerverwarming is dan de ideale oplossing (veel oppervlak), maar vraagt een rigoureuze verandering van de begane grond vloer.⁸



Figuren 2. Het verhogen van de bestaande vloer of het aanleggen van een geheel nieuwe vloer met LTV houdt veel werk in, maar met een betere gebouwisolatie en radiatorventilatoren kan ook goed verwarmd worden.

⁶ Het woonoppervlak (vrije hoogte $> 150\text{ cm}$) is meestal iets kleiner dan het gebruiksoppervlak dat door veel makelaars wordt gehanteerd. Gebruiksoppervlak is inclusief de lage gedeeltes onder een schuin dak.

⁷ Een oude woning heeft vaak een slechte glas en muur en dakisolatie. Door deze aanzienlijk te verbeteren kunnen vaak de oude radiatoren blijven bestaan, eventueel met een radiator ventilator.

⁸ Zie document "begane grondvloer isolatie" op www.nienhuys.info voor het toepassing LTV in de vloer. Het vervangen van de begane grond vloer kan nodig zijn wanneer deze van slechte kwaliteit is en de vloerafwerking toch ook vervangen gaat worden. Dat zijn wel allemaal extra kosten.

Het warmtepompsysteem bestaat al tientallen jaren; een koelkast is ook een warmtepomp. De warmtepomp **concentreert** met elektriciteit in een gesloten gaskringloop de warmte uit de lucht, bodem, kanaal of grondwater en heeft daardoor een hoger rendement (COP vanaf 3,5) dan een HR107-CV ketel (COP = 1,07) die aardgas verbrandt⁹.

Het kan wel een jaar in beslag nemen om een goed en duurzaam plan te maken én de nodige bedrijven te vinden die kunnen helpen met de bouwkundige maatregelen. Bij het overwegen van de energiemaatregelen moet goed gekeken worden naar een gezonde (energiezuinige) woningventilatie met warmteterugwinning (WTW). Bij een mechanische balansventilatie¹⁰ met WTW (aanwezigheids- of CO₂ monitoring, luchtbevochtiging, zomer bypass) is kierdichting van de woning relevant; zonder mechanische ventilatie is kierdichting niet erg relevant, tenzij het erg tocht bij wind.

Een All-electric laagtemperatuur warmtepomp van 5 – 6 kW voor een gemiddelde woning (140 m²) kost in 2024 rond de 8.000 euro (subsidie verrekend, zonder aanpassing van de radiatoren). Een hoogtemperatuur warmtepomp (>65°C afgiftetemperatuur) kost iets meer, en verbruikt ook meer elektrische energie, en is dus minder voordelig.

Op basis van de rekenmodellen van 'Energie Verbonden in 't Gooi' is een voorbeeld uitgerekend waarbij een woning (met na isolatiemaatregelen) niet 1000 m³ gas/jaar verbruikt, maar 600 m³ gas/jaar. Afhankelijk van het gekozen LTV- of HTV-verwarmingssysteem is de terugverdientijd op de gasrekening aanzienlijk verschillend. Hierbij is de afschrijving van de Cv-installatie niet meegerekend. Bij deze berekening heeft de woningeigenaar te maken met de afschrijving van de warmtepompinstallatie of de terugverdientijd (TVT) op hun energierekening. **De conclusie is dat altijd gekozen moet worden voor een LTV-systeem.**

Voor het gemiddelde woonhuis (140 m²) met een vroeger CV verbruik van 1600 m³ gas kan een kostenbezuiniging verkregen worden van ≈ 50% met een LTV-All electric. Wanneer de woning wordt afgesloten van het gasnet (en elektrisch gaat koken) is de verdere bezuiniging het vastrecht en netbeheer van ≈ € 300/jaar (afhankelijk van leverancier), of € 3000 in 10 jaar. Deze bezuiniging moet meegeteld worden in de lange termijn begroting.¹¹

Bij een warmtepomp met HoogTemperatuurVerwarming (HTV) waarbij geen LTV-vloerverwarming wordt aangelegd zal deze op een veel lager rendement werken en extra elektriciteit gaan verbruiken bij een HTV-systeem. Twee berekeningen:

In de eerste berekening is een warmtepompinstallatie gekozen die bruto euro 12.000 kost en in de tweede berekening een die bruto euro 8.000 kost.

De terugverdientijden zijn zonder de afschrijvingskosten van de installatie. Wanneer de gasprijs omhooggaat (erg waarschijnlijk) gedurende deze 20+ jaar zal de terugverdientijd verkorten. In de berekening is meegenomen dat de gasaansluiting vervalt.

Bij een HTV-afgifte van 55°C of hoger weinig economisch voordeel zijn voor de woningeigenaar. Het is voor de langere termijn en duurzaamheid dus relevant dat er een LTV-afgifte systeem komt. Praktisch gesproken wil dat zeggen met LTV-vloerverwarming.

⁹ Een aardgas Cv is erg efficiënt en kan veel warmte in korte tijd produceren.

¹⁰ Balansventilatie is een mechanische ventilatie waarbij dezelfde hoeveelheid lucht in- en uitgaat (balans).

¹¹ Sinds 2023 is het afsluiten van het gas door de energieleverancier gratis (overheidsregeling).

De berekeningen zijn zonder de bijkomende kosten (b.v. 3 fasen of een nieuwe stoppenkast). Wanneer het warmteafgifte systeem (de radiatoren) vervangen moeten worden door een vloerverwarming zijn dat extra kosten. Maar als de begane grondvloer sowieso vervangen moet worden om andere reden of vanwege stijl en comfort zijn die kosten geen onderdeel van de TVT. Om een LTV-systeem aan te leggen in een oude maar beter geïsoleerde woning zonder vloerverwarming zouden de radiatoren aangepast moeten worden voor een grotere warmteafgifte of met (Type Speedcomfort) radiatorventilatoren eronder; dit zijn beperkte kosten. Echter, wanneer de woning niet veel beter is geïsoleerd moeten de plaatradiatoren vervangen moeten worden door Jaga of Henrad radiatoren zullen de kosten hoger uitvallen.

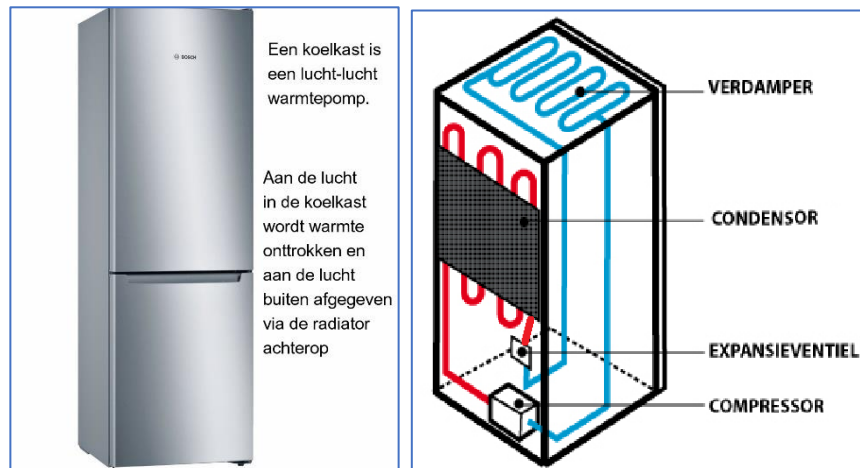
UITKOMSTEN ALL ELECTRIC WARMTEPOMP	Grootheid	Waarde					
Aanschaf en installatie warmtepomp	Euro	12000					
ISDE subsidie warmtepomp	Euro	3600					
Eventuele overige "meevallers"	Euro	0					
Extra onderhoudskosten per jaar	Euro	0					
Vermeden vervangingskosten gasketel	Euro	1867					
Benodigde aanvoertemperatuur bij 0 graden Celsius	Graden Celsius	35	40	45	50	55	60
Extra aantal kWh voor tapwater en verwarming	kWh/jaar	1447	1512	1627	1753	1869	2030
			Besparing (ex afschrijving)				
Jaarlijkse besparing met een all electric warmtepomp	Euro/jaar	697	672	627	578	532	470
Terugverdientijd warmtepomp in jaren	Aantal jaar	9	10	10	11	12	14

UITKOMSTEN ALL ELECTRIC WARMTEPOMP	Grootheid	Waarde					
Aanschaf en installatie warmtepomp	Euro	8000					
ISDE subsidie warmtepomp	Euro	2400					
Eventuele overige "meevallers"	Euro	0					
Extra onderhoudskosten per jaar	Euro	0					
Vermeden vervangingskosten gasketel	Euro	1867					
Benodigde aanvoertemperatuur bij 0 graden Celsius	Graden Celsius	35	40	45	50	55	60
Extra aantal kWh voor tapwater en verwarming	kWh/jaar	1447	1512	1627	1753	1869	2030
			Besparing (ex afschrijving)				
Jaarlijkse besparing met een all electric warmtepomp	Euro/jaar	697	672	627	578	532	470
Terugverdientijd warmtepomp in jaren	Aantal jaar	5	6	6	6	7	8

Wanneer bij een oudere woning met grote radiatoren de woning (was niet geïsoleerd) eerst goed na-geïsoleerd wordt, kan het zijn dat die bestaande radiatoren voldoende zijn voor een LTV, of misschien met de support van slechts een paar radiatorventilatoren in de woonkamer. Een mogelijk bijkomend voordeel van deze optie is dat oudere woningen met grote radiatoren dan voldoende waterinhoud hebben (> 30 tot 50 liter) zodat er geen of een kleiner buffervat nodig is. Dat buffervat is vooral nodig om te zorgen dat de WP continue (modulerend) kan draaien en niet steeds aan en afslaat (slijtage). Het buffervat kan ook voor het warme tapwater zorgen.

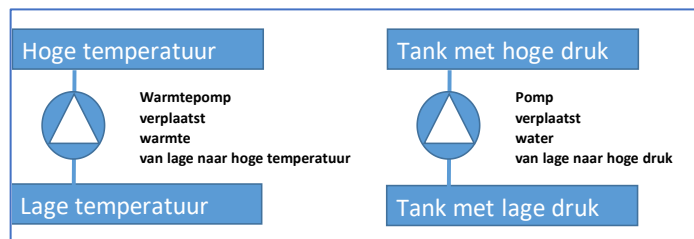
Bij de toepassing van een zonneboiler zal het tapwater voorverwarmd worden, waardoor er minder elektrische energie nodig is. Bij de toepassing van een WTW op de douche zal het warme afvalwater het koude aanvoerwater voorverwarmen waardoor er tot 40% minder heet tapwater nodig is. Zie documentje Douche WTW. In beide situaties is een kleiner buffervat/boiler nodig.

Figuur 3. Een koelkast is een warmtepomp die warmte onttrekt aan de binnenlucht en die warmte afvoert via de radiator die meestal achter op de koelkast zit. Om die warmte kwijt te raken moet de koelkast dus achterop goed geventileerd worden.



De gebruikte warmte (omgezette elektriciteit) van het pompsysteem blijft in de leidingen zitten en gaat dus niet verloren. Veel warmtepompen kunnen verwarmen én koelen¹². Wanneer je een binnen in de woning staande koelkast met de koelkastdeur open deur naar buiten zet, en de radiator aan de achterkant in de woning, dan heb je een warmtepomp die de woning verwarmt.

Figuren 4. Afbeelding van Webinar. Van nature stroomt een vloeistof van hoge druk naar lage druk. De warmte gaat van hoge temperatuur naar lage temperatuur. De warmtepomp keert dit proces om.



Bij een woning stroomt in de winter de warmte constant van binnen naar buiten¹³. Dat gebeurt hoofdzakelijk door infrarode (IR) warmtestraling ($\approx 65\%$) en de rest door convectie, contact en (mechanische) ventilatie zonder warmteterugwinning (WTW).

Door de woning goed te isoleren vertraag je het warmteverlies in een koel klimaat. De moderne isolatieruiten hebben een warmte reflecterende coating (Low-E coating) die een groot gedeelte van de infrarode warmtestraling tegenhoudt. De ruiten zijn over het algemeen wel de minst isolerende oppervlaktes in de buitenschil van het gebouw¹⁴. Het dak is vaak het grootste oppervlak van het gebouw.



Bij hoekwoningen is de zijmuur van het gebouw een groot warmteverlies oppervlak.

¹² Bij oude woningen met dikke gietijzeren leidingen wordt koelen met de warmtepomp niet aanbevolen want dan kan condens op de buizen ontstaan die dan gaan roesten.

¹³ De koude komt dus niet naar binnen, maar de warmte gaat eruit, tenzij je in de hete tropen woont, dan komt de warmte van buiten. De grootte van de warmtestroom (verlies) wordt berekend op basis van het oppervlak, de isolatiewaarde van dat oppervlak en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Bij het dak is het temperatuurverschil groter dan bij de begane grondvloer. Daarnaast is er warmteverlies door ventilatie en afvalwater, vooral door de vorm van de ventilatie.

¹⁴ Voor meer informatie over ruiten en glas en isolatie zie document "101 Soorten Glas" op www.nienhuys.info

2. De verschillende keuzes van aanpak.

Eerst kan er een keuze gemaakt worden over de aanpak van het installeren de warmtepomp, dit is sterk afhankelijk van het bestaande verwarmingssysteem.

2.1. De **woning is meer dan 50 jaar oud** met dikke (32 mm) stalen buizen en traditionele radiatoren. Bij stalen buizen mag de Cv-installatie niet koelen in de zomer; dan komt er namelijk **condens op de ijzeren buizen en die gaan dan roesten**. In dit geval moet gekozen worden voor een Cv-systeem dat alleen verwarmd. Dit kan een hoog-temperatuur systeem zijn (onzuinig) of een laag-temperatuur verwarming (LTV) systeem, maar daarbij moet zowel de woning goed geïsoleerd zijn en het warmte afgiftesysteem voldoende afgifte oppervlakte hebben. Dat kan zowel middels (a) bestaande grote radiatoren¹⁵, (b) ventilatoren onder de bestaande verwarming, (c) nieuwe convector radiatoren of (d) LTV-vloerverwarming. Wanneer men wel wil koelen dan is het noodzakelijk om de oude stalen leidingen te vervangen door het hele gebouw of te verwijderen en alleen een nieuwe LTV-vloerverwarming toe te passen. Na goede isolatie van de woning kunnen soms de oude radiatoren (die dan een overcapaciteit hebben) behouden blijven. Daar moet wellicht naar gerekend worden.

2.2. De **gas-CV is minstens 15 jaar oud** en zal binnen enkele jaren hogere onderhoudskosten krijgen of aan vervanging toe zijn. In dat geval heeft u tijd om te plannen en eventueel betere isolatie aan de woning toe te passen zodat de woning minstens energielabel A heeft of beter. De berekening van de grootte van een warmtepomp hangt af van de gemiddelde stooktemperatuur en de kwaliteit van de isolatie van het buitenoppervlak van de woning en het ventilatiesysteem. Dit ventilatiesysteem moet bij voorkeur een warmte-terugwinnig (WTW) hebben. Bij deze optie is het verstandig om voor een All-electric systeem te kiezen zodat de gas aansluiting kan vervallen.¹⁶

Bij een All-electric systeem zal het energienet tegen de avond overbelast raken wanneer veel mensen thuiskomen, de Cv aanzetten en het licht aandoen en elektrisch gaan koken. Dit wordt zonder batterij opslag een steeds groter probleem en kan de kosten van de elektra opdrijven. Bij een hybride systeem (elektra + gas) kan dan op koude dagen de gas-Cv gaan bijverwarmen. Een optie is dat de woning niet in de vroege avonduren verarmd wordt, maar goed geïsoleerd is en vooral elektra gebruikt in de uren dat de stroomprijzen laag zijn.

2.3. De **gas-CV is ongeveer 10 jaar oud**. Men heeft nog vijf jaar de tijd voordat het echt noodzakelijk is om deze te vervangen. **All-electric ready**¹⁷. Deze term wordt gebruikt voor een warmtepomp die straks geschikt is om de woning te verwarmen, maar nog tijdelijk als een hybride systeem werkt in combinatie met de gas-CV, zolang de woning nog niet optimaal geïsoleerd is. De berekening van de warmtepomp is dan gebaseerd op de straks beter geïsoleerde woning.¹⁸

¹⁵ Wanneer er LTV-vloerverwarming wordt aangelegd zijn de oude radiatoren overbodig. Het is vaak mogelijk de grote radiatoren uit de woonkamer naar de slaapkamer te verhuizen zodat die meer warmteafgifte hebben. In dat geval is er geen LTV-vloerverwarming op de etage nodig.

¹⁶ Een gasaansluiting kost ongeveer euro 300 per jaar, dus euro 3000 in 10 jaar. In 2023, na het aanmelden voor afsluiting (lange wachtlijst), kon het zijn dat men nog minstens een jaar moest wachten voordat u aan de beurt kwam voor afsluiting. Ook al wordt er geen gas gebruikt, betaalt men wel de maandelijkse aansluitkosten.

¹⁷ In 2024 ontstaat er een onbalans op het elektriciteitsnetwerk door de vele PV en wisselende windenergie. Wanneer alle woningen van het gas af gaan en een elektrische warmtepomp hebben en elektrisch koken zal er in de namiddag een grote piekbelasting ontstaan bij koud weer, wat het elektriciteitsnet niet aan kan. Sommige provincies bevelen dan ook een hybride systeem aan met behoud van de Gas-Cv.

¹⁸ Bedrijven kunnen verschillende warmteverlies berekeningen maken. De grootste warmtepomp is nodig als de gemiddelde woningtemperatuur 20°C is (tussen 18°C en 22°C) en alle ruimtes (ook slaapkamers) op die

2.4. Een **hybride warmtepomp**. Deze optie is relevant wanneer men nog een vrij nieuwe gas-CV heeft (maximaal vijf jaar oud). Bij dit model zal de warmtepomp klein zijn en voor 80% van de tijd de warmte leveren, eventueel inclusief warm tapwater. Wanneer het echter koud wordt (vorst en strenge vorst) dan neemt de gas-CV het over of gaat bij-verwarmen. De gasaansluiting moet hierbij blijven bestaan (euro 300/jaar = euro 3000/10 jaar). Bovendien zal er twee jaarlijks een onderhoud moeten plaats vinden (euro 150 – 200). Er is ook de optie dat de warmtepomp slechts de LTV verzorgd en de gas-CV het warme tapwater. Omdat dit model de kleinste warmtepomp nodig heeft is het ook de goedkoopste oplossing voor aanschaf.

De operationele kosten kunnen hierbij wat hoger zijn dan bij een All-electric warmtepomp, omdat de gas-CV voor verwarming in de winter meer kost dan de warmtepomp.

Sommige bedrijven of gemeentes doen de aanbeveling voor een Hybride systeem om de net overbelasting te voorkomen.

2.5. **Split-unit of Monoblock**. Bij een split-unit warmtepomp is de buitenunit een stuk compacter en lichter dan bij een monoblock waarbij alle componenten in het buitenblok zitten (meestal een Lucht-Water warmtepomp). Het monoblock is relevant als er binnen **ruimtebeperkingen** zijn¹⁹. Bij een split-unit is aanvullend een binnenunit nodig, omdat niet alle componenten zich in de buitenunit bevinden. De binnen-unit maakt weinig lawaai (koelkast niveau), terwijl de nieuwste buitenunits ook steeds groter zijn en daardoor minder lawaai maken.²⁰

2.6. **Laagtemperatuur- of hoog-temperatuur systeem**. De warmtepomp van een laagtemperatuur verwarming systeem (LTV) is altijd zuiniger dan een hoog-temperatuur systeem, maar heeft een groter warmte-afgifteoppervlak nodig zoals een LTV-vloerverwarming systeem. Dit is dan hoofdzakelijk nodig op de begane grond etage want de bovenetage wordt indirect verwarmd via het plafond van de woonkamer beneden. Het kan voordelig zijn om een paar grotere radiatoren met meer platen (T33 model) te plaatsen zodat de warmte-afgifte beter wordt.

Wanneer men geen LTV-vloerverwarming kan/wil installeren zoals bij mooie vloeren of het ontstaan van hoogteverschillen²¹, tussen de verschillende vloerdelen, kan gekozen worden voor convectorradiatoren met radiatorventilatoren. Bij woningen van 50 jaar oud komen vaak (te) dunne leidingen voor²² die dan vervangen moeten worden. Bij het behoud van antieke radiatoren (en dikke leidingen) kan gekozen worden voor een LTV zonder buffervat omdat de waterinhoud van het systeem dan vaak voldoende is, maar dan is aparte tapwaterverwarming nodig. Bij hybride systemen hoeft er weinig aangepast te worden als de bestaande gas-CV een midden of hoog-temperatuur verwarming heeft.

temperatuur verwarmd kunnen worden tijdens een koude winterperiode met 10 graden vorst. Bij een lagere gemiddelde temperatuur en/of minder verwarming van de slaapkamers kan dan een kleiner systeem toe.

¹⁹ Het monoblock en PVT kunnen bij lage luchttemperaturen en luchtvochtigheid ijsafzetting krijgen. Het systeem kan tussentijds opwarmen waardoor de ijsafzetting verdwijnt, maar dat kost wel energie.

²⁰ De Bosch Compress 5800i AW is een erg stille lucht-water warmtepomp. Met maar 26 dB(A) op 3 meter is hij stiller dan de stilste warmtepomp uit de laatste Consumentenbondtest. Met het natuurlijk koudemiddel R290 (propan) haalt hij aanvoertemperaturen tot 75°C (hoog-temperatuur systeem).

²¹ De beschikbare hoogte van de kamers is hier relevant. Om minder dan 240 cm netto hoogte over te houden is geen verbetering van de woningwaarde. Vloer hoogteverschillen en deuren aanpassen zijn ook kosten.

²² Wanneer de leidingen 12 mm (buitenmaat) zijn is de doorstroming geremd en moeten ze bij de aanleg van een warmtepomp vaak vervangen worden. Bij een LTV-vloerverwarming worden ze dan sowieso verwijderd.

- 2.7. Wanneer men naar een **All-electric systeem** overstapt met alleen LTV-vloerverwarming op de begane grond kunnen de oude radiatoren op de etage vaak blijven. De eerste etage heeft dan een vloertemperatuur die ongeveer 2° tot 3°C lager is dan het plafond van de begane grond, tenzij het plafond geïsoleerd is. Hierdoor hoeft er bij een niet isolerend plafond op de slaapkamers nauwelijks bij-verwarmd te worden en zijn de bestaande radiatoren of de verhuizing van de grotere radiatoren van de begane grond vaak voldoende. Een vloerverwarming op de etage is dan niet nodig.
- 2.8. **Warmtepomp met airco back-up.** Wanneer men voor een kleine warmtepomp kiest²³, bijvoorbeeld wanneer men de slaapkamers of de eerste etage en de zolder niet verwarmd met de warmtepomp en LTV, dan kan een combinatie met een Airco een optie zijn die warme of koude lucht op de etage levert. De meeste airco's verversten de lucht niet en er is geen subsidie op, maar verwarmen de lucht wel snel. Een COP 5 van een airco's is mogelijk. Een airco vraagt ongeveer 2 kWh.
- 2.9. **PVT-systeem.** Photo Voltaïsch Thermisch. Bij voldoende (sterk) dakoppervlak kan een PVT-systeem warmtepomp worden toegepast. Het systeem ligt op het dak en levert stroom en warmte via de water/glycol gevulde radiatoren/absorbers die geïntegreerd onder de PV-panelen zitten. Meer informatie over PVT-systemen verderop in dit document. Bij de installatie van een gewone warmtepomp zal ook vaak besloten worden om extra PV aan te leggen. Die PV zit in de prijs van het PVT-systeem besloten. Het is door de extra PV wel een hogere investering, maar ook een duurzaam en een geluidarm systeem.
- 2.10. **Bodemwarmte pomp of open water warmtepomp.** Dit zijn beiden systemen waarbij het grondwater of het open water gebruikt wordt als warmtebron. Het zijn dan allebei water-water systemen. Het voordeel is dat diep grondwater niet onder de 10°C komt en diep open water niet onder de 0°C. Hierdoor hoeft de bodemwarmtepomp het CV-water slechts op te warmen van +12°C naar +35°C (netto +23 graden) of bij de water-water warmtepomp van 0°C naar +35°C (netto +35 graden). Dit zijn temperatuursprongen waarop de warmtepomp het meest efficiënt werkt. De bodemwarmtepomp is een duurder systeem (te vergelijken met het PVT-systeem in kosten) maar door de lage temperatuursprong het meest efficiënt en daarom op de lange termijn (30 jaar) het goedkoopst.
- 2.11. Voor **alle warmtepompen systemen** geldt dat er bijkomende kosten kunnen zijn zoals het maken van een berekening en offerte (warmteverliesberekening, euro 500), het verbeteren van de woningisolatie, het verbeteren van de woningventilatie (kierdichting en WTW), het aanpassen van de radiatoren/convectoren, leidingen en vloeren aanpassen bij LTV, aanpassen van de meterkast²⁴ en drie-fasen stroom²⁵. Er is beschikbare ruimte nodig voor binnen- (bodemwarmtepomp en buffervat en buiten installaties (bij lucht-water) op of naast het gebouw. Vooral voor de bodemwarmtepomp is veel buitenruimte nodig waarbij een eventuele nieuwe tuinaanleg extra kosten zullen zijn.

²³ Installatiebedrijven berekenen vaak de capaciteit van de warmtepomp bij -10°C en alle kamers verwarmd op een temperatuur van 20°C of zelfs 21°C. Hierdoor zal de berekening hoog uitvallen. Het kiezen voor een lagere maximale ruimtetemperatuur (19°C) en minder kamers vereist een kleinere warmtepomp.

²⁴ Sinds 2001 zijn installatiebedrijven verplicht de (draai)stoppenkast te vervangen met ingebouwde schakelaars, aardlekschakelaars. De kosten kunnen tot euro 1000 bedragen.

²⁵ Wanneer er slechts een fase is en elektrisch koken, dan zal de kookplaat een automatische stroom regeling moeten hebben die voorkomt dat er te veel stroom wordt getrokken. Alle pitten tegelijkertijd kunnen dan wel laag aanstaan, maar niet vol.

3. Overzicht meest voorkomende warmtepompen systemen.

Er zijn een zevental warmtepomp systemen, waarvan (B) de (buiten)Lucht-(binnen)Water warmtepomp het meeste voorkomt voor woningen. De efficiënte bodemwarmtepomp (E) komt voor bij kleine, grote en grotere gebouwen. Voor elk gebouw kan de juiste warmtepomp gevonden worden. Een enkele warmtepomp voor 50 appartementen of een heel ziekenhuis kan dus ook.

#	Buiten-Binnen	Werking WP	Voordelen	Nadelen
A	Lucht- Lucht	Koeling , koelkast, airco. Haalt warmte uit de binnenlucht en verlaagt die. Recirculatie of afvoer naar buiten. Ook met radiatoren.	Eenvoudig systeem. Werkt al tientallen jaren feilloos. Split systeem maak weinig lawaai.	Koelkast werkt niet meer als die in een ruimte staat met temperaturen onder de 5°C. Beperkte temperatuur range. Meeste systemen ventileren niet.
	Lucht-Lucht	Verwarming : Neemt warmte op uit buitenlucht en verhoogt die warmte en geeft die binnen af.. Werkt tussen de buitenlucht en binnenlucht ²⁶	Goedkoopste versies. COP 3,5 tot 4. Weinig ruimte nodig.	Lage COP bij koude. Kan lawaaiig zijn; dan is een extra geluid- isolerende omkasting nodig. Geen warm tapwater tenzij Hybride met HR-CV op gas.
	Lucht-Lucht	Verwarming en koeling . Sommige moderne airco's. Veel soorten warmtepompen.	Bekende technologie. Niet alle airco's verwarmen én koelen	Niet gesplitste airco's zijn lawaaiig. Sterke luchtcirculatie. Gebouwmassa komt langzaam op temperatuur.
B	Lucht-Water	Onttrekt warmte uit buitenlucht en geeft die binnen af aan het Cv-radiatorwater. Werkt economisch op Lage Temperatuur-Verwarming.	Gebruik bestaande LTV-vloerverwarming of convectorradiatoren COP 3 tot 5	Lagere COP bij koude. Kan lawaaiig zijn; dan is een extra geluid-isolerende omkasting nodig. < 40dB Geen warm tapwater tenzij Hybride.
	Lucht-Water	Monoblok. De WP is geïntegreerde unit die in haar geheel buiten kan staan. Geen boilervat. ²⁷ . Kan bij vochtige lucht ijzel vormen.	Hele unit buiten, geen lawaai binnen. Geen gecertificeerde F-gassen monteur nodig.	Goed geïsoleerde leidingen nodig die naar binnen lopen. Bij langdurige stroomuitval kan zonder Glycol in strenge winter het hele systeem bevriezen.
	Lucht-Water.	PVT = PVThermisch. Buitenelement (radiatoren) onder de PV-panelen gevuld met Glycol haalt de warmte uit de buitenlucht. Kan bij vochtige lucht ijzel vormen.	Bijna geruisloos. Op het dak. Geïntegreerd met PV. Duurzame investering. Lage operationele kosten.	Lagere COP bij erge koude. Elektrische bijverwarming bij -7°C. Bevriezen (veel ijsafzetting) van de buiten koellamellen afhankelijk van het gekozen systeem.
	Lucht-Water		Lagere operationele kosten dan Hybride systeem of Gas-CV. Lage aanschaf kosten, dan Water-Water of Grond-Water warmtepompen, maar ≈ 30% hoger hogere exploitatie kosten	
C	Water-Water	Tussen oppervlaktewater (kanaal, meer, open bron) en binnen LTV. Bij meren goed mogelijk.	Geen buitenlawaai. COP 3,5 tot 4,5 stabiel Weinig ruimte nodig.	Aanwezigheid van ruim, nooit bevrozend open water naast de woning nodig. Geen warm tapwater, tenzij een hoog temperatuur model of cascade opstelling.
D	Horizontaal Grond (droge grond) - Water	Brine vloeistof (of Glycol). Tussen de buiten grond (oppervlakkig, >2 m diep) en de woning met LTV. Korven of matten in de grond met veel leidingen. Drukmeter voor controle lekkages systeem.	Geen buitenlawaai. COP 3,5 tot 4,5 stabiel. Weinig binnenruimte nodig. Geen onderhoud. > 30 jaar duurzaam.	> 2x woning oppervlakte grond naast de woning nodig. Niet in de buurt van boomwortels. Geen warm tapwater tenzij hoogtemperatuur systeem (meer elektriciteit vraag, lagere COP) >€ 5000 duurder dan A, B en C aanschaf.
Hoog-temperatuur-WP bestaan, maar worden minder gebruikt omdat ze een lager gemiddeld rendement hebben (met tapwater gedeelte rendement van COP ≈ 2,5 - 3,2) dan een LTV-WP. Dit laatste rendement wordt steeds beter bij nieuwe warmtepompen. Twee warmtepompen worden dan in serie geplaatst (dubbel systeem), de eerste voor de LTV (35°C), de tweede om de LTV -temperatuur te verhogen naar tapwater temperatuur > 60°C of Cv-water temperatuur > 75°C (bij behoud van oude radiatoren).				
A, B, C en D, All electric		Alleen op het stroomnet en PV zonder hybride (gas Cv) bijverwarming. Deze All-electric hebben minder CO ₂ uitstoot dan hybride systemen wanneer elektriciteit duurzaam is opgewekt .		Grote geïsoleerde bufferboiler en voor heet tapwater ²⁸ nodig. Opwarming tijdens nadeeluren elektriciteitstarieven tenzij batterijen aanwezig.

²⁶ De meeste buitenlucht warmtepompen maken lawaai dat tot een minimum (< 40dB) beperkt moet worden. Het rendement (L-L en L-W) daalt naarmate de temperatuur van de buitenlucht onder de 0°C komt. Ook onder de -5°C blijft het werken, maar dan is het rendement erg laag of COP 1 met elektrische bijverwarming.

²⁷ Boilervat binnen kan opgewarmd worden d.m.v. driewegklep in het monoblok die bij tapwater vraag de warmte naar het boilervat stuurt. Overeenkomstig 3-wegklep bij HR-CV tussen radiatoren en tapwater.

²⁸ Bij een zonneboiler levert de warmtepomp voor de 7 zomermaanden de warmte voor het tapwater.

#	Buiten-Binnen	Werking WP	Voordelen	Nadelen
A, B, C en D. Een enkele nieuwe Hybride- Warmtepomp eenheid		De hybride warmtepomp eenheid heeft beide elementen (warmtepomp en CV) intern ingebouwd of naast elkaar. De interne HR-CV op gas (extra winter warmte) waarbij ook de CV het tapwater verder verwarmd tot > 65°C. Dit is een tussenoplossing wanneer de oude HR-CV vervangen moet worden, maar de woning nog onvoldoende geïsoleerd is om deze gedurende koudste dagen warm te krijgen. Een Hybride systeem heeft altijd een lager rendement dan een goed uitgerekende gewone All-electric warmtepomp. Een Hybride systeem gebruikt nog steeds (geïmporteerd) gas en heeft dus een gasaansluiting (€ 300/jr).		
A, B, C en D. samen met bestaande CV = Hybride		Dit is een optie wanneer de bestaande HR-CV nog jaren mee kan, en is in aanschaf daardoor goedkoper. Elke gas-HR-CV kan gekoppeld worden met een warmtepomp waardoor je een Hybride systeem krijgt. De thermostaat en regelapparatuur schakelt tussen WP en CV (extra winter warmte en tapwater). Een Hybride systeem heeft altijd een lager rendement dan een goed uitgerekende gewone warmtepomp.		
Combinatie of integraal systemen ²⁹		De combinatie van een warmtepomp, die woning en tapwater verwarming levert, koeling en ventilatie d.m.v. balansventilatie met ingebouwde WTW (ventilatie) in een samengestelde unit.		
E	Grondwater- Water of lucht	Grondwater 100-200m diep open ³⁰ systeem met binnen LTV. 2 Pompen Er mogen niet te veel systemen vlak bij elkaar staan (zelfde buurt) omdat ze elkaar via grondwater beïnvloeden. Minimale afstand tot fundering gebouw 5 m onderling 6m. Eist veel ruimte voor aanleg nodig.	Geen buitenlawaai. Beter rendement COP 5 tot 6. Weinig ruimte nodig voor werking. Koelen goed mogelijk Warmte-koude opslag in de bodem mogelijk zonder stroming.	Diepe boring voor grotere installaties, dus meer kosten. 2X duurder dan A, B, C. Bij luchtkanalen, grote doorsnede nodig. Vervuiling (ijzeroxide) en verstopping kan optreden. Een warmtewisselaar tussen het binnen en buitencircuit is aanbevolen. Reinigen van systeem is extra kosten. Vergunning plichtig in waterwingebied.
	Grondwater- Water of lucht	Grondwater 100-200m diep gesloten systeem met binnen LTV. Per boring. 4-6 kW/boorput. Afstand van fundering >3m onderling > 6m. Warmte-koude opslag in de bodem mogelijk zonder grondwaterstroming.	Geen buitenlawaai. COP 5 tot 6. Weinig ruimte nodig bij werking. Veel ruimte voor boring. Goed passief koelen. Geen reiniging nodig. Weinig invloed natuur.	Diepe boring voor grotere installaties, dus meer bouwkosten. Mogelijk om meerdere woningen aan te sluiten. Goede berekening van grondwater en warmte opslagcapaciteit nodig wanneer er geen stroming van grondwater is. Vergunning plichtig bij gemeente.
F	Ultradiep Geothermie. ³¹	Ultra diep geothermie (2-5 km), waar heet water (80°C - 180°C) wordt opgepompt. Altijd 2 boringen nodig.	Geen buitenlawaai Hoogste rendement COP 6-8 Mogelijk warmtenet.	Kosten tot € 3 Milj/km diepte. Diepste boring voor hele grote installaties, meeste kosten. Open of gesloten systeem. Risico's. Vaak gemeentegarantie nodig.
G	Lucht-lucht. Ventilatielucht- water	Ventilatie warmtepomp. Warmte wordt onttrokken aan uitgaande ventilatie lucht.	Gebruikt de warme lucht uit de woning. Verwarming van tapwater inclusief.	In de winter moet vaak bij-verwarmd worden. Grote luchtkanalen door de hele woning. Geen subsidie.
	Warmtepomp algemeen	<p>Het selecteren van een warmtepomp moet altijd gebaseerd zijn op het noodzakelijke vermogen om bij -10°C de woning te kunnen opwarmen tot gemiddeld 19°C of hoger. De COP of SCOP moet worden aangegeven voor - 7°C. en de afgifte temperatuur (35°C of 55°C of 75°C)</p> <p>Wanneer je de woning niet kan verwarmen met een CV-water temperatuur van ≈ 50°C dan is de woning en radiatoren nog niet geschikt voor een warmtepomp met LTV.</p> <p>Koelen van ongeveer 5°K is mogelijk bij bijna alle typen warmtepompen. Dit kost in de warme zomer elektriciteit voor de circulatiepomp die meestal niet in de SCOP wordt meegenomen.</p> <p>De buitenunit met ventilator moet soms worden schoongemaakt (spinnen, bladeren).</p> <p>Geluidsbelasting is belangrijk, maar de warmtepompen worden steeds stiller (want groter).</p> <p>Hoe beter de woning is geïsoleerd, hoe beter het economisch rendement van de warmtepomp ten opzichte van een Gas-CV. Voor de langere termijn geldt dus: beter isoleren en een LTV-systeem. Daarbij hoort de ventilatie. Een mechanische ventilatie zonder WTW is erg onvoordelig.</p> <p>Voor een hoge-temperatuur warmtepomp zijn er weinig woningaanpassingen nodig, maar deze is tot 50% duurder in aanschaf en gebruik dan een LTV-warmtepomp (dus onvoordeliger).</p> <p>Per 20270 worden hoofdzakelijk alleen het koudemiddel R290 en R410a nog toegestaan voor nieuwe warmtepompinstallaties kleiner dan 50kW. Voor de bodemwarmtepomp wordt ook koudemiddel R454 en R454C gebruikt.</p>		

²⁹ Een nieuw voorbeeld is de integrale Stiebel-Eltron LWZ-5-8- C5 met ingebouwde lucht WTW.

³⁰ Voor de grondwater en bron-type warmtepompen zijn vaak vergunningen nodig, terwijl deze voor kleine woningen niet economisch binnen 15 jaar rendabel zijn vanwege de hoge installatiekosten.

³¹ Zie: https://geothermie.nl/images/Handboeken/Geothermie_in_de_Gebouwde_Omgeving.pdf

Hoe hoger de COP (Coëfficiënt of Performance), en bij dezelfde temperatuur range³², hoe lager het elektriciteitsverbruik is voor dezelfde hoeveelheid warmte, dus hoe lager de elektriciteitskosten zijn, en hoe lager de CO₂ uitstoot. Deze systemen zijn op den duur dus voordeliger in kosten en beter voor het milieu in vergelijking met elektrische of aardgasverwarming. Het direct elektrisch bij-verwarmen van de woning in een koude winter (straalkachel, ventilatorkachel) of van tapwater heeft een COP = 1.

Een COP van 3,5 betekent dat met 1 kWh elektriciteit er 3,5 kWh equivalent warmte wordt geleverd. De COP van de ene warmtepomp moet altijd vergeleken worden met de COP van een andere warmtepomp EN bij dezelfde minimum temperatuur.³³ Het is ook mogelijk om de SCOP te vergelijken; de Seizoensgebonden COP³⁴. De SCOP wordt over het hele jaar volgens de gemiddelde winters van de afgelopen jaren berekend, het gewogen gemiddelde en geeft een betere vergelijking.

Elektriciteit die is geproduceerd met alleen fossiele brandstoffen zoals aardgas, olie, steenkool of bruinkool (m.u.v. biogas) is **niet hernieuwbaar of duurzaam**, omdat het een hoge CO₂-uitstoot veroorzaakt. De CO₂-uitstoot van fossiele brandstoffen zou feitelijk met de winning (mijnbouw) al gecompenseerd moeten worden, en maatregelen genomen zoals massale bosbouw.

Duurzaamheidsverzicht verwarmingstoestellen

Groep	All-electric warmtepompen (COP zonder zomerkoeling)								elektra met gas	alleen (aard)g		Infra Rood		Houtstook			
	Geothermie 3-4 km diep	Diepe bron 150-200m	Oppervlakte water > 5°C	PVTherm. water-water	Lucht-water	Airco Lucht-Lucht	ventilator lucht	Hybride (gas) lucht-water	HR Gas-CV	gevel gaskachel	IR panelen	IR straal-kachel	Pelletkachel	Gesloten kachel	Open haard	openhaard*	
COP A-7/W+35	>8	6 tot 7	5 tot 6	4 tot 5	4 tot 6	3 tot 4	1	3 tot 4	1	1	1	1	0,9	0,6	0,4	0,2	
Δ temp bij LTV 35°C	<-150	23	25	30	45	45	45	45	45								
Δ temp bij HTV 65°C	<-120	53	55	60	75	75	75	75	75								
COP A-7/W+65		5 tot 6	4 tot 5	3 tot 4	3 tot 5	2 tot 3	1	2 tot 3	1	1	1	1	0,9	0,6	0,4	0,2	
netto X €1000 hoekwoning	woon-wijk	35-40	30-35	20-25 incl. PV	5 tot 6	2 tot 4	1 tot 2	2 tot 4	3 tot 4	1							

De kosten van elektrisch verwarmen zijn hoger dan van gas bij gelijke verwarmingscapaciteit, maar dit kan/zal veranderen in de toekomst wanneer het gas schaarser wordt of wanneer elektriciteit duurder wordt vanwege netcongestie. Deze tabel geeft dus niet aan wat het goedkoopste is, maar wel wat de minste energie kost en de minste CO₂ uitstoot.

*Behalve een heel slecht energetisch rendement veroorzaakt een open haard ook veel fijnstof.

Het zelf duurzaam opwekken van elektriciteit door PV-panelen op de woning, in combinatie met een warmtepomp verlaagt sterk de CO₂-uitstoot. Dit is ook het principe van een PVT-warmtepomp. Bij lage vries temperaturen gaat de PVT echter elektrisch bij-verwarmen, en moet eventuele ijsafzetting tussentijds door verwarming verwijderd worden. De SCOP is in dit geval relevant.

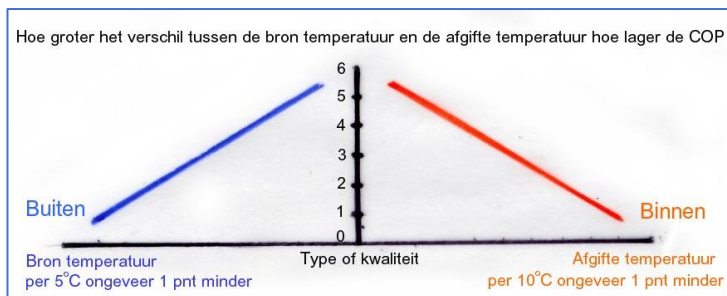
³² De specificatie A -7/W+35 betekent een buiten aanvoertemperatuur van -7°C en een binnen warmteafgifte temperatuur van +35°C, dus een temperatuur range van 42° Kelvin.

³³ Opgelet. Niet alle merken geven precies aan wat de temperatuur range is van de COP of SCOP.

³⁴ Dit is de gemiddelde COP over het hele jaar. Warmtepompen kunnen ook op basis van de SCOP goed met elkaar vergeleken worden. De SCOP-vergelijking moet steeds over hetzelfde aantal graaddagen gaan en dezelfde temperatuur range. Het aantal graaddagen op één dag is het verschil tussen de gemiddelde temperatuur in huis (18 °C) en de gemiddelde buitentemperatuur op die dag (b.v. 10 °C). 18-10 = 8 graaddagen. In Nederland waren er in 2021 2331 graaddagen. De winters worden warmer dus de graaddagen minder. Zie voor graaddagen: <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/graaddagen-in-gasjaar-2021>

Observatie 1. Bij een lucht-water warmtepomp kan de buitenlucht temperatuur dalen tot -10°C , maar de grondtemperatuur daalt beneden een meter onder het maaiveld (plaats van leidingen) tot ongeveer $+5^{\circ}\text{C}$. Bij een dieper systeem (150 - 200 m diep)³⁵ is de grondtemperatuur vrij constant met ongeveer $+10^{\circ}\text{C}$ tot $+12^{\circ}\text{C}$. Grondgebonden systemen D en E hebben daarom een **veel hoger rendement in de winter** dan systemen A en B. Grondgebonden systemen zijn wel veel duurder in aanleg dan de Lucht-Water systemen, waardoor het financiële rendement vaak lager kan zijn. Voor grote gebouwen waar veel warmte-energie wordt gevraagd kan het grondgebonden systeem gunstig zijn. Om stadswijken (>1000 woningen) van warmte voorzien moeten worden kan soms systeem F ontwikkeld worden.

Figuur 5. De relatie tussen de bron temperatuur en de afgifte temperatuur. Een groot verschil maakt het systeem minder efficiënt. Grondgebonden systemen hebben altijd een klein verschil.



Een bodempomp met een hoger rendement vraagt minder stroom dan een Lucht-Water warmtepomp. Hierdoor is een 3-fasen aansluiting (3X 25 Amp, max 15 kW) soms niet noodzakelijk.³⁶ Een diepe bodemlus (150 m- 180 m) heeft een warmtecapaciteit van 5-6 kW. Het aanleggen van een >150 m diepe bodemlus vereist grotere apparatuur. Tussen de lussen moet minimaal 10 m liggen en ze moeten minimaal 5 uit de gebouw fundering worden aangelegd.

Observatie 2. Bij een **oppervlakkig** grondgebonden warmtepomp systeem D is een vrij groot grondoppervlak nodig waar de oppervlakte leidingen >1 tot 2m diep in de grond gelegd moeten worden. Bij een bestaande tuin zal dat erg bezwaarlijk zijn, terwijl er op het leidingen gebied geen bomen geplant mogen worden. Het horizontale gebied van de slangen is ongeveer 2X het woningoppervlak (een woning met 200 m² woonoppervlak heeft dan 400 m² nodig).



Figuren 6. Oppervlakte



leidingen netwerk, leidingen korven en oplossing voor passief huis met kelderinstallatie. Mogelijk wanneer er zich binnen de 20 m geen andere oppervlakte netwerken bevinden.

³⁵ De kleinste boorinstallaties gaan 120 -150 m diep. Grotere kunnen tot 200 m diep. Voor de grotere heeft dit consequenties voor de beschikbare buitenruimte.

³⁶ Wanneer een woning onvoldoende elektriciteit aansluiting heeft (1 fase 25 Amp) moet voor een zwaardere warmtepomp dan 5kW de netaansluiting worden uitgebreid naar 3 fasen. De piek elektriciteitsvraag van elektrisch koken en elektrische boilers speel dan ook mee.

De leidingen zijn meestal HDPE-lussen of korven die ingegraven worden. Het is mogelijk om een vijftal (rijtjes) woningen op een enkel systeem aan te sluiten, en per woning een LTV aan te leggen die op de gemeenschappelijke buitenlus is aangesloten. Dit is dan een micro-warmtenet.

Over-dimensionering van een warmtepomp veroorzaakt dat de warmtepomp vaker moet stoppen en starten (duurder en slijtage en rendementsverlies). Modulerende warmtepompen gaan langzamer draaien in plaats van aan/uit schakelen. Onder-dimensionering is ook niet goed want dan draaien ze steeds op top capaciteit. Bij slim elektriciteitsgebruik zullen WP's tijdens de piekuren uitschakelen zodat ze het net niet belasten³⁷. Te kleine systemen krijgen het gebouw niet goed warm in de winter, waardoor het elektrische bijstookelement in de warmtepomp geactiveerd wordt, met een hoger energieverbruik en kosten tot gevolg.³⁸

Observatie 3. Bij een diep en open systeem E (grondwater 150 - 200 m) moet er **een flinke afstand tussen de bronnen** zitten (> 50 m) afhankelijk van de gewenste capaciteit en de grondwatersituatie. Die afstand moet er ook met de burens zijn wanneer die ook een E-systeem hebben. Voor deze open grondgebonden systemen moet de aanleg volgens BRL 6000-12 geschieden met een milieueffectrapportage, terwijl er in sommige gemeenten andere beperkingen zijn, vooral voor de drinkwaterwinning.

Figuur 7. De gesloten bodemwarmtepomp haalt de warmte of koude uit de grond door brine-water (heel erg zoutwater). De diepte kan gaan tot 250 m. Kosten boren € 7000 - € 15000. Duratherm systeem.

Bij een bodemwarmtepomp kan excès warmte van zonnepanelen in de bodem worden opgeslagen voor gebruik in de winter. COP tot 6 mogelijk. Bodemsystemen hebben een twee keer zo lange levensduur dan lucht-water warmtepompen.



Observatie 4.

Bij het vergelijken van de COP tussen warmtepompen moet de waarde van -7 of -10°C worden vergeleken en de afgifte temperatuur.

Bij documentatie van warmtepompen worden de COP- of SCOP-gegevens vermeld (Seasonal COP). Voor een lucht-waterwarmtepomp **A7/W35** of **A+7/W+35** betekent een aanvoertemperatuur van **+7°C** (buitenlucht temperatuur) en **+35°C** afgiftetemperatuur van het water in de radiatoren. **A-7/W50** betekent een aanvoertemperatuur van **-7°C** (vorst) en **+50°C** afgiftetemperatuur van het water in de radiatoren. Dit laatste is een midden-temperatuur warmtepomp.

Sommige fabrikanten geven alleen de COP-waarde aan voor **+7°C** (gemiddelde temperatuur in de winter), maar die COP-waarde wordt erg veel lager wanneer het kouder is. Sommige systemen stoppen bijna met werken bij -5°C en dan neemt **een intern elektrisch element de verwarming over**. Bij hybride warmtepompen gaat dan de CV draaien.

³⁷ Bij voldoende warmtemassa van het gebouw samen met goede isolatie, b.v. bij betonnen vloeren en LTV, zal de woning langdurig warm blijven. Dan is het uitschakelen van een halve dag geen probleem.

³⁸ Met een overbelast elektriciteitsnetwerk zal dan bij koude de elektra vraag extra oplopen omdat All-elektrische Lucht-Water warmtepompen dan allemaal elektrisch gaan bij-verwarmen. Dit kan slechts voorkomen of verminderd worden wanneer er lokale warmtebuffers of wijk-gebonden warmte opslag is.

Elektrisch bij-verwarmen (b.v. bij sommige PVT-systemen) is erg inefficiënt (met COP 1) en kan het gemiddelde jaarrendement verlagen met 30%. Het vergelijken tussen de SCOPs van verschillende apparaten is daarom meer informatief.

Bij warmtepompen die kunnen koelen, zoals o.a. grondgebonden warmtepompen wordt in de zomer de lage watertemperatuur (< 14°C) van het grondgebonden systeem gebruikt om door de radiatoren te circuleren waardoor de woning wordt gekoeld. Hiervoor is alleen de leidingpomp noodzakelijk, niet de warmtepomp. Bij de technische opgave van een grond/grondwater gebonden systeem (met een COP 8) zitten de elektrakosten van de leidingpomp die in de hete zomer draait **vaak niet meegerekend**. Wanneer dat wel wordt meegenomen dan kan de COP uitkomen op bijvoorbeeld 6, maar dat is nog hoog en men geeft extra comfort door het koelen.

Observatie 5. De warmtepomp werkt het beste wanneer het **temperatuurverschil tussen de bron en het afgiftegebied het kleinste is**. Warmtepompen werken het best op een LTV-systeem; hoe kleiner de warmtesprong (< 40°Kelvin) is hoe hoger het rendement. Dit hangt ook af van het toegepaste koudemiddel. Daarom is de warmtepomp in principe niet geschikt voor middelhoog (>>35°C) of hoog temperatuurverwarming (HTV >60°C). Sommige warmtepompen kunnen additioneel tapwater verwarmen met een boostersysteem. Het tapwater kan dus ook op een andere manier worden bijverwarmd (gas of elektrisch) of in een zogenaamd hybride systeem dat een aanvullende boiler of HR-Cv-ketel heeft voor het tapwater. In dat laatste geval is men nog steeds niet van het gas af en heeft men de jaarlijkse gas-aansluitkosten.

Observatie 6. Bij een aircosysteem A (buitenlucht -> binnenlucht) moet er **voor meer warmte ook meer lucht verplaats worden**. Hierdoor wordt de COP wat lager. Dat kan grote luchtstromen en tocht veroorzaken, net zoals bij een airconditioner. De hoeveelheid luchtverwerking (recirculatie) voor een woning is volgens de norm $\approx 500 \text{ m}^3/\text{uur}$ of eenmaal het hele volume van de woning per uur. Op deze warmtepompen is geen overheidssubsidie. Er is alleen subsidie op A⁺⁺ systemen. Geluid is een factor die steeds belangrijker wordt. De meeste systemen zijn dan ook B (lucht-water) omdat deze in de woning bijna geluidloos zijn (geluid van een koelkast), geen sterke luchtstroming veroorzaken en geen luchtkanalen hebben.

Observatie 7. Een warmtepomp-boiler produceert een tapwater temperatuur van hooguit 55°C. Voor het warme douchewater ($\approx 38^\circ\text{C}$) is dan een beperkte hoeveelheid koud bijmengwater nodig (met grond temperatuur 12°C) en waardoor er een grote voorraadboiler (>200 liter voor gezin 4 personen)³⁹ nodig is. Bij een aparte en volledig elektrische boiler is de watertemperatuur meestal 80°C (altijd $\geq 60^\circ\text{C}$), waardoor er tenminste 50% koud water moet worden bijgemengd voor het douchewater. De elektrische boiler is veel kleiner dan een warmtepompboiler, maar kost veel meer stroom. Moderne boilers kunnen uitschakelen bij hoge elektriciteitskosten en opwarmen bij lage kosten. Moderne boilers hebben een lage opslag temperatuur die periodiek korte tijd verhoogd wordt om legionella tegen te gaan.

Observatie 8. Er zijn warmtepompen met een geïntegreerde **elektrische** boiler met twee cellen; de warmtepomp verwarmd het water in de grote medium-temperatuur cel ($\approx 50^\circ\text{C}$ en 200 liter). Het tapwater wordt naar gelang de tapvraag elektrisch in een kleine cel (30 liter) bij-verwarmd (tot $\geq 60^\circ\text{C}$).

³⁹ Het tapwaterverbruik hangt af van het aantal douches per week en per persoon. Dagelijks warm/heet douchen is ongezond; het droogt de huid uit (en kost veel shampoo, crèmes). Voor mensen die geen zware arbeid of vuil werk verrichten is éénmaal douchen per week een goede richtlijn. Koeler douchen dan 38°C is ook veel beter voor de huid. Berekeningen voor boilers zijn vaak gebaseerd op dagelijks warm/heet douchen, hetgeen resulteert in een groot boilervat.

Wanneer de stroom voor de elektrische boiler wordt meegerekend in de COP van de warmtepomp, wordt deze COP lager.

Observatie 9. Bij een gemeenschappelijke warmtepomp (van een VvE of groot flatgebouw) voor ruimteverwarming zou de tapwaterverwarming in ieder geval individueel moeten zijn. Dit gebeurt dan met een individuele booster warmtepomp (5 tot 7 kW met boilervat of buffervat 150-250 liter.) of HR-CV combi (klein 25-35 kW).

Figuur 8. Het buffervat is aan een warmtepomp gekoppeld. Het heeft vier aansluitpunten: twee voor de warmtepomp en twee voor het afgiftesysteem. Bij weinig waterinhoud van de radiatoren is een groter buffervat nodig om vaak aan-uitschakelen te voorkomen. Met veel waterinhoud kan het buffervat kleiner zijn. Het minimum waterinhoud van een systeem is 50 liter.



4. Het koudemiddel of koelmiddel

Vanwege het zeer hoge Global Warming Potential (GWP)⁴⁰ van veel koelmiddelen werden aan aantal **verboden en uit-gefaseerd**. Ook hebben veel van de vroegere koelmiddelen een Ozon-afbrekend effect (Ozon Depletion Potential, ODP). Per 2024 werken de meeste nieuwe warmtepompen op propaan of koudemiddel R 290. Per 2027 zijn voor nieuwe warmtepompen onder de 50kW alleen nog R290, CO₂ en R410a en R454 toegestaan.

Observatie 10. Omdat de koudemiddelen gevaarlijk zijn voor het milieu of ontbrandbaar, mogen leidingen van de installaties alleen maar aangelegd worden door een gekwalificeerde installateur.⁴¹ Een warmtepomp met minder dan 5 kg propaan (propaan of propeen = C₃H₈ = koudemiddel R290) valt niet onder de F-gassen classificering en mag door elke installatiemonteur worden aangelegd. Het werken aan warmtepompen met > 10 kg koudemiddel mag alleen door een gekwalificeerd installateur geschieden. Het koudemiddel isobutaan (R600a met GWP 8) of **propaan (R290 met GWP 3)**⁴², hetgeen heel veel minder is dan het synthetische koudemiddel HFC R134a (met GWP 4470 en HFC 125 = GWP 1.430, **die zijn verboden of uit-gefaseerd**). Propaan is een natuurlijk middel (komt in de natuur voor) maar is ontvlambaar. Een dergelijke warmtepomp moet dan ook buiten op het dak staan. Koudemiddel R410A heeft een GWP 2.088; deze en een aantal andere koudemiddelen **mogen per 2025 niet meer geproduceerd/geïnstalleerd worden**. Verboden koudemiddelen met GWP > 750.

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/ozon-en-f-gassen/broeikasgassen-0/>

Het GWP (Global Warming Potential) van CO₂ = 1 (R744), hoge druk (130 bar) en heeft een groot temperatuurverschil nodig.⁴³ Deze R744 warmtepompen kunnen makkelijk een hoog-temperatuur systeem hebben. Echter door de hoge druk zijn ze in aanschaf iets duurder dan lagedruk systemen.

⁴⁰ Voor uitgebreide informatie zie : https://iplo.nl/thema/lucht/ozon-en-f-gassen/ozonlaagafbrekende-stoffen-gassen/?utm_source=infomil&utm_medium=link&utm_campaign=ozon-fgassen

⁴¹ Zie: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/ozon-en-f-gassen/koudemiddelen/>

⁴² Er komen steeds meer warmtepompen op basis van R290 op de markt.

⁴³ Zie ook: https://www.linde-gas.nl/nl/products_and_supply/refrigerants/f_gas_regulation/index.html en <https://docplayer.nl/112803438-Info-voor-koudemiddelebruikers-5-leidraad-voor-de-selectie-van-koudemiddelen-een-blik-op-de-koudemiddelen-van-de-toekomst.html>

Het veel toegepaste koudemiddel R32 (geurloos, slecht brandbaar) is een beter koudemiddel dan R410A en kan gebruikt worden om R410A (GWP 2.088) te vervangen. Beide koudemiddelen hebben geen negatief effect op de ozonlaag, maar R32 (GWP 675) is gemakkelijker te recyclen. R32 werkt ook iets beter bij een hoger temperatuurverschil zoals de HTV-warmtepomp.

Onderstaand een vergelijking van de twee meest courante koelmiddelen (gassen).

#	R32	R290 propaan
1	Fluorkoolwaterstof (HFC), GWP = 675	Koolwaterstofkoelmiddel, GWP = 3
2	Bevat geen chloor en is energiezuiniger (kWh) dan sommige andere koelmiddelen.	Kan grote hoeveelheid warmte-energie absorberen en is efficiënt koelmiddel.
3	Koelcapaciteit per volume-eenheid is ongeveer 87% hoger dan R290, kleine compressor.	Lager volumetrische koelcapaciteit dan R32 Compressor met grotere cilinderinhoud.
4	Kleiner compressor en minder kWh in gebruik	Grotere compressor met meer kWh in gebruik
5	Hogere COP bij hoge en lage temperaturen.	Lagere COP bij hoge en lage temperaturen
6	R32 niet brandbaar , niet toxisch classificatie, geen ozonafbraak . OPD=0	Licht ontvlambaar en vereist specifieke veiligheidsmaatregelen. ODP=0
7	Op grotere schaal gebruikt, overal beschikbaar.	Neemt in gebruik sterk toe vanwege lage GWP (onderdelen steeds ruimer beschikbaar).
8	Kosten aanschaf is hoger, m.u.v. Aurora II (Adlar) ⁴⁴	Kosten zijn over het algemeen lager.
9	Hogere druk dan R290, goed voor grote systemen	Lagere druk dan R32
10	Grotere systemen mogelijk.	Makkelijker in onderhoud
11	Stiller , bij grotere compressor	Meer geluid , bij kleine compressor.
12		Kan gebruikt worden om bestaande systemen aan te passen.

Nieuwe Europese richtlijn GWP ≤ 150.

GWP van R454-C = 150 valt ook onder nieuwe norm. Dit wordt gebruikt in de Water-Water bodemwarmtepompen zoals: Stiebel WPE-I-08 HKW en de Compress 7001i LWMF van Nefit Bosch, en de [NIBE F1255-12](#), van Nibe.

5. Het buffervat

Observatie 11. Een buffervat heeft een extra circulatiepomp nodig om het warmte-afgiftesysteem te voeden. Soms heeft die een schakelcontact om de pomp aan en uit te schakelen. Moderne pompen zijn drukgeregeld en passen het toerental aan. De Grundfos Alpha-3 heeft een minimumverbruik van 3 Watt. Dat stroomverbruik is veel minder dan de energiebesparing van de hogere COP.

Een buffervat zorgt voor een scheiding in de installatie, waardoor de circulatiepomp van de warmtepomp niet meer in staat is om het afgiftesysteem te voeden en is er een extra circulatie pomp nodig. De Itho Daalderop pomp is groot genoeg om de vloerverwarming mee te laten circuleren, waardoor het buffervat een extra circulatie pomp niet nodig zijn.

Ook bij de combiwarmtepompen Altherma 3 van Daikin is niet altijd een buffervat nodig. Voor de ontdooicyclus bij kleine warmtepompen (8kW) is zo'n 10 liter water uit het systeemvat van ≈ 33 °C benodigd en voor grotere een 20 liter (tot 16 kW), of kan extra warm water uit de ingebouwde boiler gehaald worden. (Dit kan niet met een losse boiler)

Het buffervat is niet altijd nodig bij de stabielere bodemwarmtepomp (geen vorstrisico). Indien wel, dan is bij een inverter-gestuurde (modulerende) bodemwarmtepomp de capaciteit van het buffervat

⁴⁴ Dit heeft deels te maken met het marketingsysteem dat niet via groothandels en dealers loopt.

25% van het vermogen. Een warmtepomp van 8 kW met aan/uit-regeling vraagt een buffervat van 160 liter. Bij een modulerende warmtepomp (25% = 2kW), een buffervat van 40 liter.

Bij een installatie zonder na-regeling is de doorstroming van de vloerverwarming afgestemd op de flow over de warmtepomp. Bij woningen waar bewoners toch een na-regeling (per vertrek) wensen, plaatst Itho Daalderop een Autotemp. Deze na-regeling worden de kleppen proportioneel geopend en weet de warmtepomp daardoor hoeveel energie er moet worden geleverd. Autotemp zorgt altijd voor voldoende flow. De zone regeling heeft extra installatie en regelkosten.

Bij een na-regeling van derden is nog wel een buffervat nodig, en vaak ook een veer-belaste bypass. Wanneer zonder na-regeling de bewoners besluiten om slaapkamergroepen dicht te draaien⁴⁵ dan komt de flow van de warmtepomp niet meer overeen met die over de vloerverwarmingsgroepen. De warmtepomp kan dan gaan pendelen. Dit kan gecorrigeerd worden in de settings. Techneco heeft een slimme na-regeling, de GIW-box, die ervoor zorgt dat er altijd voldoende groepen open staan.

Figuur 9. Een ander buffervat is een systeem met ≈200 liter op temperatuur 50 tot 55°C en 30 liter op temperatuur 70 tot 80°C (tegen legionella). Er is dus altijd meteen heet tapwater beschikbaar. Bij tapwatervraag, gaat de warmtepomp de 55°C in het kleine vat direct opwaarden zodat er geen tekort aan warm water bontstaat.



Nieuwe warmtepompen verhitten het tapwater in de boiler slechts één keer per week tot boven de 60 graden om legionella te voorkomen.

Bij de berekening van de warmtepompcapaciteit wordt meestal het benodigde vermogen voor de tapwater verwarming meegenomen. Dat hangt af van het type tapwaterverwarming. Een Remeha-Mercuria zal bijvoorbeeld een tapwater boilervat gedurende enkele uren verwarmen tot hij zijn temperatuur bereikt heeft. Dat verwarmen kan ook gemaximeerd worden met tijd, bijvoorbeeld maximaal 2 uur en daarna weer 3 uur het huis verwarmen.

Bij inverter-gestuurde warmtepompen is het niet automatisch dat de ingebouwde circulatiepomp terug-regelt als het vermogen van de warmtepomp vermindert. Als de compressor in capaciteit wordt teruggeschroefd dan moet de pomp eveneens terug in toerental waarmee de doorstroming minder wordt. Bij systemen met een na-regeling is het belangrijk dat de circulatiepomp meemoduleert met de warmtevraag. Dat een reden minder om voor een buffervat te kiezen.

Observatie 12. Met een hybride systeem of met een kleine warmtepomp voor ruimteverwarming kan een aparte warmtepompboiler worden toegepast voor het tapwater (of als de Cv-ketel het opgeeft). Daar is wel weer binnenruimte voor nodig, met twee dikke luchtkanalen naar buiten. De hoeveelheid warmte-energie die nodig is voor warm tapwater (van $\geq 60^\circ\text{C}$) is ongeveer **20% van de totale warme energievraag van de woning**. Bij goed geïsoleerde woningen wordt de totale energievraag lager, dus het percentage voor tapwater verwarming hoger. De consumptie van warm tapwater wordt sterk verminderd door te toepassing van een WTW op de douche⁴⁶ en een zonneboiler.

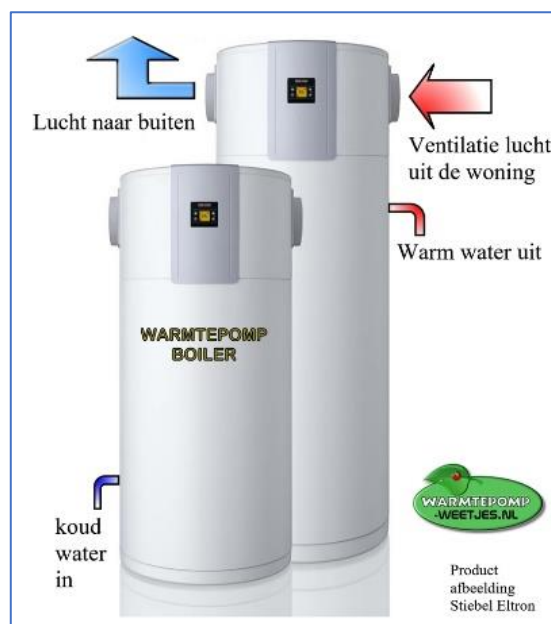
⁴⁵ Zonder warmte-isolatie tussen de woonkamer en de bovenliggende slaapkamers, zullen de slaapkamers slechts 2°C tot 4°C koeler zijn dan het plafond in die woonkamers. Op die kamers kan dan worden volstaan met gewone radiatoren die dan hoofdzakelijk uitstaan. Slaapkamers moeten goed geventileerd blijven.

⁴⁶ Zie document over Douche WTW op mijn website www.nienhuys.info. Minder warm tapwater gebruik kan ook door minder douchen, kortere douchen en koeler douchen; dit zijn bovendien gezondere maatregelen,

Figuur 10. De geïntegreerde warmtepomp boiler gebruikt de warme afvoerlucht van de woning voor het verwarmen van het water. Afbeelding Siebel Eltron uit www.warmtepomp-weetjes.nl,

Sommige systemen hebben een 3-weg klep die óf warmte geeft aan het Cv-systeem, óf warmte levert voor tapwater.

Bij het plaatsen op zolder moet de vloer wel het extra gewicht van de boiler kunnen dragen.



Observatie 13. Het totale radiatoroppervlak dat nodig is om de woning binnen een paar uur op temperatuur te krijgen wordt met de warmteverliesberekening berekend zijn op een minimum buitentemperatuur van -10°C . Bij een minder geïsoleerde woning (energielabel B) moeten de LTV-vloerverwarmingslussen dan ook dicht bij elkaar liggen (10 cm h.o.h.) of moeten de radiatoren ventilatoren hebben. Op een betonnen (systeem)draagvloer en onder de LTV-vloerverwarming moet isolatie liggen want anders gaat veel warmte in die betonmassa zitten. De meeste LTV-verwarmingssystemen zorgen dat de woning op een vrij constante temperatuur blijft met weinig verschil tussen dag en nacht. Een redelijk geïsoleerde woning (energie label A of beter) blijft dan vrij constant op dezelfde temperatuur. Wanneer onder de LTV-vloerverwarming de betonnen vloer niet geïsoleerd is, zal het tijdelijke verhogen van de kamertemperatuur langzaam gaan. Daarna zal die kamertemperatuur ook niet snel afkoelen. Wanneer de vloerverwarming onderdeel is van een betonnen gietvloer zal die vloer met haar grote warmtemassa ook de kamer op een stabiele temperatuur houden.

Een mogelijk nadeel van een grote betonmassa is dat de temperatuur van de kamer niet snel geregeld kan worden. Het effect is dat voor het avond-comfort de kamer constant warm is. Bij een matig geïsoleerde woning kan dat onvoordelig zijn.

Bij een goed geïsoleerde woning is er meervoudig voordeel:

- (1) De technische installatie is kleiner.
- (2) Er is minder warmte nodig en spaart dus CO_2 -uitstoot.
- (3) De modulerende warmtepomp slijt minder en is daarom duurzamer.
- (4) De warmtepomp kan voor een aantal uren uitstaat zonder dat het veel invloed heeft.

Voor elke 1°C temperatuurverlaging van het Cv-water, wordt de LTV-warmtepomp ongeveer 2% meer efficiënt en gebruikt dan 2% minder stroom. Voor snel opwarmen is een hogere temperatuur nodig en is de warmtepomp dus minder efficiënt.

Observatie 14. Wanneer de een warmtepomp in de winter een hoge watertemperatuur nodig heeft ($>50^{\circ}\text{C}$, en dus minder efficiënt is dan bij 35°C) betekent het ook dat deze in de herfst en lente ook minder efficiënt draait. Minder isolatie van de woning vraagt een zwaardere warmtepomp (meer

kWh, dus duurder in aanschaf) of een hogere watertemperatuur (lagere COP) en kost dan meer elektriciteit en is op de langere termijn dus minder efficiënt.

Om na te gaan (testen) of de woning bij een lage temperatuur wel warm wordt in de winter, kan men de Cv-temperatuur lager zetten en de nodige verwarmingstijd monitoren. Door dit in stappen uit te voeren kan men inzicht krijgen in de isolatiewaarde van de woning. Bij een COP van 2,5 is er weinig economisch verschil tussen een HR-CV en een warmtepompsysteem wanneer de kosten van de energiewaarde overeenkomen tussen elektriciteit en het gas.

Observatie 15. Omdat de lange leidingen van de LTV-vloerverwarming veel doorstroomweerstand hebben, is daar een extra pomp voor nodig. Deze pomp moet een **energiezuinige gelijkstroompomp** zijn. De pomp wordt geschakeld door een temperatuursensor zodat deze alleen draait wanneer er een warmtevraag is. Leidinglussen die minder warmte af hoeven te geven kunnen door de regelkranen op de verdeelbuis geknepen worden. Bij de dunne leidingen van het Warp-LTV vloerverwarming systeem is de maximale lus-lengte 50 m.

Figuur 11. Door de afsluitknoppen van de LTV-vloerverwarming gedeeltelijk of geheel dicht te draaien wordt de warmtetoevoer per doorstroom lus geregeld. Door de knoppen te merken is dat eenvoudig. Wanneer er geen knoppen op een oude verdeelbuis zitten kunnen er voetventielen in geplaatst worden om de doorstroom te regelen.



Koelen kan nodig zijn als de woning slecht geïsoleerd is of veel glasoppervlakte met zoninstraling heeft (zonder zonwering). De meeste moderne warmtepompen kunnen koelen, maar dat kost dus wel wat stroom van de circulatiepomp. Een aparte/extra Airco of technische installaties zijn duur in aanschaf en gebruik. Het aan de buitenkant van het gebouw voorkomen van warmte instraling door toepassing van buiten-zonwering zoals luifels of rolgordijnen is verstandiger.

Bij de toename van het thuiswerken worden in veel woningen de zolders omgebouwd tot kantoorruimte. **Bij slecht geïsoleerde daken wordt het dan snel te warm.** De oplossing is dan niet om een Airco aan te schaffen, maar om de zolderisolatie te verbeteren (inclusief de dakkapellen die meestal erg slecht geïsoleerd zijn).

Echter, permanente zonwering zoals zonwerende folie buiten-op de ruit geplakt blokkeert in de winter ook de zon en daarmee warmte-instraling. Wanneer zonne-instraling in de winter gewenst is kan het beste een buitenzijdige zonweringdoek of -luik worden toegepast. Er bestaan ook automatische zonweringen die sluiten bij hoge zonne-instraling.⁴⁷

Technische installaties met bewegende onderdelen (pompen, ventilators) hebben een levensduur van 15 tot 20 jaar, afhankelijk hoe hard ze moeten werken⁴⁸; daarna moeten ze gedeeltelijk of geheel vervangen worden. Een uitzondering zijn de PV-zon panelen en de PVT (thermische) PV-warmtepomp systemen die tenminste 30 jaar met een goed rendement functioneren.

⁴⁷ Zie bouwmarkten: <https://www.fakro.nl/producten/bedieningssytemen/elektrisch/elektrische-producten/>

⁴⁸ Lucht warmtepompen moeten in de koude winter langer/harder werken. Niet modulerende warmtepompen die te groot en over gedimensioneerd zijn, slaan steeds aan en uit en slijten daardoor extra (pendelen).



Figuren 12. Doek zonweringen en harde luiken houden de straling buiten. Opgetrokken laten ze de straling binnen waardoor de woning in de winter verwarmd wordt. Een gordijn of jaloezie achter het glas laat eerst het licht binnen wat dan omgezet wordt in warmte, waarbij die warmte dan niet meer goed naar buiten kan.

Wat is de CO₂-uitstoot van een warmtepomp in vergelijking met een HR-Cv?

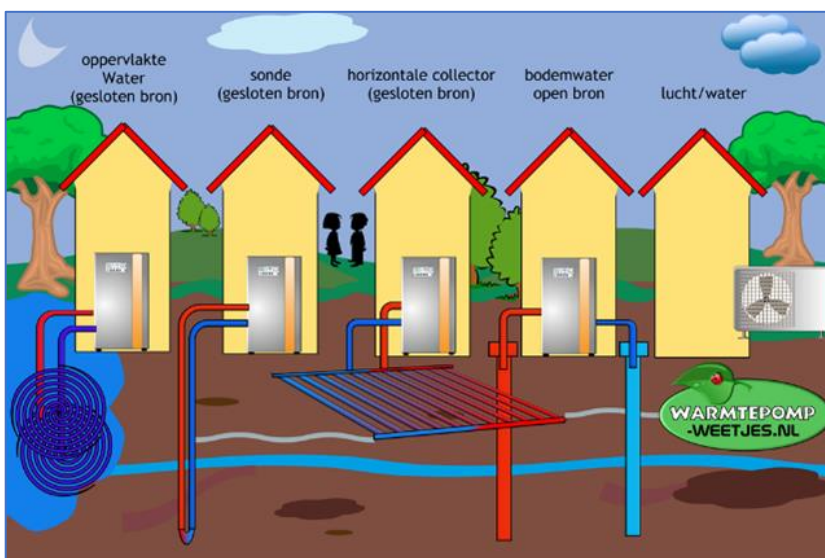
Bij een goed afgestelde warmtepomp en met een hybride warmtepomp daalt de CO₂-uitstoot met ongeveer met respectievelijk 35% tot 25%, afhankelijk of het groene elektriciteit is (dat is niet altijd het geval). De warmtepomp verbruikt dan in de winter meer elektriciteit, en de HR-Cv gas. De gasprijs gaat in Nederland waarschijnlijk jaarlijks meer omhoog in vergelijking met de elektriciteitsprijs.

Bij verbouw of modernisering wordt vaak meer glas toegepast, hetgeen in meer warmteverlies resulteert⁴⁹. In dit geval moet dan Tripleglas worden toegepast met een U-waarde van 0,5 W/m².K (Rc-waarde 2,0), in plaats van HR⁺⁺ glas (minimum nieuwbouwnorm U-waarde 1,2 /m².K .

Figuur 13. Afbeelding van www.warmtepomp-weetjes.nl
 De gesloten bron voor grote gebouwen kan tot 200 m diepgaan.

De diepe geothermische systemen zijn ook volgens het tweede model maar dan veel dieper; deze zijn alleen geschikt voor hele woonwijken en grote projecten.

Voor het derde model is een groot grondoppervlak nodig. Voor het vierde model minstens 30 m tussen de boringen, mits de buren niet hetzelfde doen.

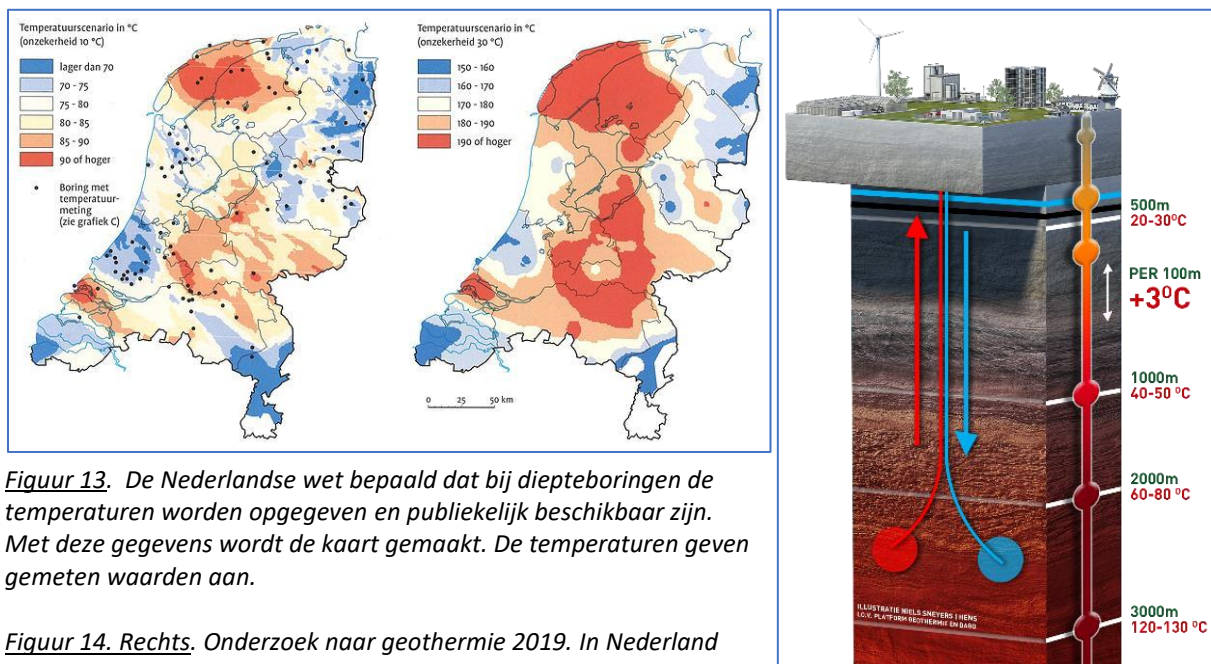


Observatie 16. Een Water-Water warmtepomp (systeem C) komt in Nederland nog weinig voor en is alleen mogelijk naar een **open water** dat bij de kanaal- of rivierbodem (waar de warmtewisselaar zit)

⁴⁹ Voor meer informatie zie document "101-Soorten-Glas" op www.nienhuys.info en andere documenten.

dat in **de strengste winter niet onder de +5°C komt**, zodat de warmtepomp er nog 4°K aan kan onttrekken. Het water (met glycol) in de buizen mag niet bevriezen.

Observatie 17. Geothermie is een erg dure, duurzame en bijna onuitputtelijke warmtebron en al veel toegepast in de kassen-tuinbouw. Het is geschikt voor warmtenetten, waarbij het rendement bij LTV-transport (>30°C) beter is dan bij HTV-transport (>70°C, tapwater), omdat onderweg dan minder warmte wordt verloren. De installatiekosten zijn echter zo hoog dat men **minimaal een groot bedrijf of 4000 tot 5000 woningen** nodig heeft (dicht bij elkaar) om het economisch rendabel te maken; bij woningen gaat het dan om stadsverwarming. Boren tot 3 km diep kan meer dan tot 1.000.000 euro/km diepte kosten. Daar overheen komen de andere installatiekosten.



Figuur 13. De Nederlandse wet bepaald dat bij diepteboringen de temperaturen worden opgegeven en publiekelijk beschikbaar zijn. Met deze gegevens wordt de kaart gemaakt. De temperaturen geven gemeten waarden aan.

Figuur 14. Rechts. Onderzoek naar geothermie 2019. In Nederland bestaan ongeveer 22 conventionele aardwarmteputten met een diepte van 2,3 kilometer die zo'n 20 MW aan energie opleveren (meest rendabel voor LTV). De eerste boring naar extra diepe aardwarmte (4 km met HTV) in Nederland bood helaas geen perspectief. Diepteboringen mislukken soms, dus werk wordt alleen uitgevoerd wanneer overheden garant staan. De woningeigenaren betalen wel aansluitkosten van € 1500 tot € 2000 en de warmte verbruikskosten, zoals bij conventionele stadsverwarming met koelingswarmte van een elektriciteitscentrale; deze is in 2023 wettelijk gebaseerd op de gasprijs. Dit wordt gewijzigd met de nieuwe warmtewet 2024.

a. Stadsverwarming uit geothermie

Stadsverwarming is in principe erg duurzaam met LTV, want de aardwarmte is bijna onuitputtelijk en het gebruik ervan heeft bijna geen invloed op de atmosfeer (geen CO₂ uitstoot door verbranding). De overheid moet dus niet de warmtekosten van een geothermische stadsverwarming volledig koppelen aan de gasprijs. Van andere soorten stadsverwarming, bijvoorbeeld gebaseerd op een biomassa elektriciteitscentrale is dat mogelijk wel relevant.⁵⁰ Stadsverwarming gebaseerd op afvalwarmte van industrieën is risicovol wanneer die industrieën zelf veel zuiniger omgaan met de energie en dus minder afvalwarmte produceren.

⁵⁰ Bij natuurlijke openlucht composteren en rotting van mest en organisch afval komt methaan vrij. Dat is een greenhouse gas dat > 25 X zo sterk is als CO₂. Bij verbranding van dat biogas en generatie van energie/warmte komt er slechts 1 deel CO₂ vrij. De CO₂ uitstoot van een biomassacentrale is dus heel veel minder dan bij de verbranding van steenkool of olieproducten.

Biogas (is ook uit biomassa zoals mest en rioolslib) uit onder andere de veeteeltsector lost een gedeelte van de methaan-uitstoot (CH_4) uit mest op ($25 \times \text{CO}_{2\text{eq}}$). Men kan de hoeveel biogas verhogen door de veeteeltbedrijven over te laten schakelen naar biogasproductie⁵¹ en ook uit industrie en rioolafval.

Stadsverwarming uit restwarmte van industrie is ook mogelijk, maar wanneer de industrieën efficiënter met energie gaan omspringen (hogere kosten voor rechten CO_2 uitstoot, dus vermindering CO_2 uitstoot door verbranding) zal ook de hoeveelheid restwarmte afnemen. Hoog-temperatuur restwarmte is minder energie efficiënt dan LTV-restwarmte door minder transportverliezen. Warmtenetten moeten daarom bij voorkeur LTV-systemen naar de woning zijn, waarbij in de minder geïsoleerde woningen een hybride systeem aanwezig is die het tapwater op een hogere temperatuur aflevert. Wanneer (kleine, lokale) warmtenetten op een bodemlus zijn aangesloten dan moet in elke woning het laag-temperatuur-water (12°C) worden opgewaardeerd naar LTV (goed rendement), MTV (matig rendement) of HTV (slecht rendement).

Observatie 18. Het gasnet is een unieke infrastructuur in Nederland en kan gebruikt worden voor de bijmenging met waterstofgas. Men voorziet in de toekomst een 30% bijmenging. Bij oudere Cv-ketels moeten dan de inspuitsstukken en branders vervangen worden. Waterstofgas kan geproduceerd worden (en opgeslagen) uit tijdelijke overcapaciteit van PV en windmolens (groene energie)⁵², het totale energierendement daarvan is dan ongeveer 75% vanwege tweemaal het omzettingsverlies. De industrie kan op de eerste plaats afnemer worden van waterstof.

Observatie 19. Op de erfgrans (perceelgrens of naast open raam of deur) mag een warmtepomp **niet meer lawaai produceren dan 40 dB(A) in de nacht** en 45 dB overdag (sinds 1 april 2021 bij de erfgrans). De dB(A) is de gecorrigeerde gevoelswaarde voor het menselijk oor en is een paar dB lager dan de dB-waarde; lage temperaturen dringen verder door dan hoge temperaturen.

Het is belangrijk dat de opstelling (op een dak of dakkapel) goed trillingvrij is zodat er geen trilling geluid naar binnen wordt overgedragen.⁵³ Goede geluidskasten kunnen tot euro 1500 kosten exclusief plaatsing. Vóórdat een warmtepomp op een dak geplaatst wordt, moet dat dak goed geïsoleerd zijn. Met de uitlaat richting een harde muur zal het geluid reflecteren. Klimopbeplanting voorkomt dit. Met de uitlaat naar boven is er ook minder geluidsbelasting op de perceelgrens.

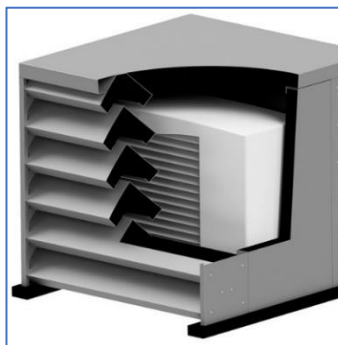
Nieuwe warmtepompen sinds 2024 hebben een grotere buitenunit met een **grotere ventilator die minder lawaai** maakt. Bij het beoordelen van offertes is duidelijke informatie over de dB of dB(A) geluidsbelasting op vol en half vermogen belangrijk.

⁵¹ Een bijkomend voordeel is dat er dan ook minder stikstof uitstoot is en het gasnetwerk kan worden bijgevuld met duurzaam gas. Het biogas kan 's nachts in elektriciteit worden omgezet of bij windstille.

⁵² Deze optie is sterk in ontwikkeling. Vooral als er overcapaciteit is op zonnige en winderige dagen is het belangrijk dat die elektriciteit meteen wordt omgezet naar waterstof en het net niet overbelast wordt. Momenteel zijn er ook Home systemen die met exces elektriciteit (van PV) waterstof produceren

⁵³ Buitenlandse warmtepompen geven meestal meer lawaai omdat de geluidseisen daar minder streng zijn met maximaal 65 dB (A). Het plaatsen van de apparatuur op rubber kussens vermindert ook de trilling naar binnen het gebouw. De uitlaat van de warmtepomp (ventilator) of rondom mag bij voorkeur niet gericht zijn op harde oppervlaktes zoals baksteen, beton, houten panelen, glas. Het voor de ventilator eenheid aanleggen van een Sedum dak vermindert sterk de geluidsreflectie verder naar buiten.

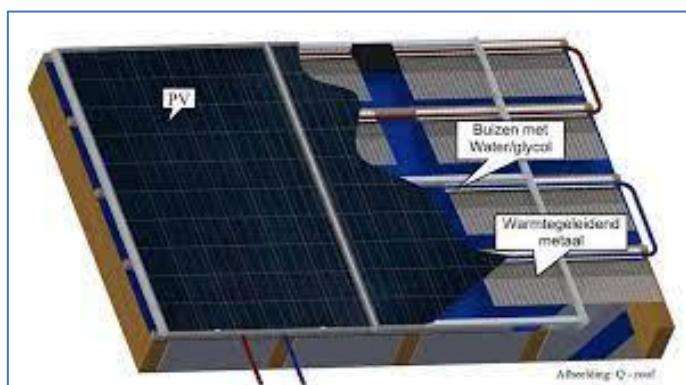
Figuren 15. Geluid absorberende omkastingen variëren in prijs naar gelang de geluidsdemping en de duurzaamheid (weer). De luchtdoorlatendheid van de buiten-unit mag niet beperkt worden (minder capaciteit. Bodem warmtepompen en PVT hebben slechts een binnen-unit die (als het goed is) het geluid maakt van een koelkast (< 35 dB).



b. Het PVT-systeem.

Naast PV (Photo Voltaïc elektriciteit, zonnepanelen) systemen zijn er ook PVT (PV-Thermisch-systemen) die aangesloten zijn op een warmtepomp⁵⁴ en die met de bovenliggende PV-panelen stroom voor die warmtepomp produceren. Er zijn ook thermische warmtepompen met gevel- of dak-collector panelen. Deze panelen kunnen op de noordzijde van het dak gelegd worden (zonder PV). Voor minder dan 50 uur per jaar (bij temperaturen onder de -7°C) werkt dan de elektrische bijverwarming. Elektrisch bij-verwarmen is met een COP 1 en dus inefficiënt.

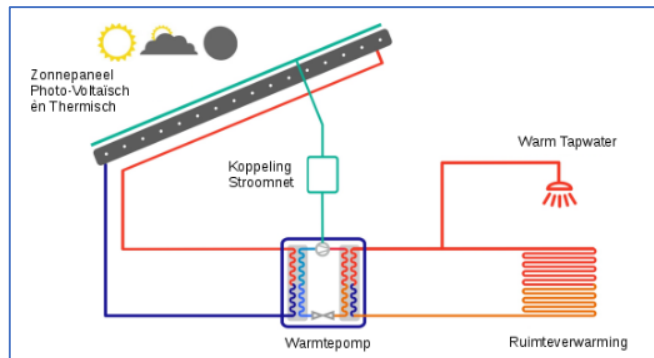
*Figuur 16. Afbeelding uit www.warmtepomp-weetjes.nl
 Een PVT-systeem is een combinatie van PV en een radiator erachter. Het radiator gedeelte kan ook op het noord-dak (schaduw) geplaatst worden. De PV levert de stroom voor de pomp.*



Het rendement van een PVT-systeem ligt iets hoger dan dat van de meeste andere warmtepompen, met een COP van 5,6 voor verwarmen en een COP 3,8 voor warm tapwater. Voor een hoekwoning van $\approx 150 \text{ m}^2$ en een A-label is een PVT-systeem nodig van ongeveer 8 kW of 10 PVT panelen. Per kW is ongeveer 3 m^2 PVT-paneel nodig. Paneel $177 \times 107 \text{ cm} = 2 \text{ m}^2$, paneel $174 \times 114 \text{ cm} = 2 \text{ m}^2$ en paneel $211 \times 114 \text{ cm} = 2,4 \text{ m}^2$ (alleen horizontaal). Tussen de panelen 4 cm, langs de panelen is 20 cm nodig.

⁵⁴ Een voordeel van het PVT-systeem is dat er geen ventilator aan zit en daardoor geruisloos werkt.

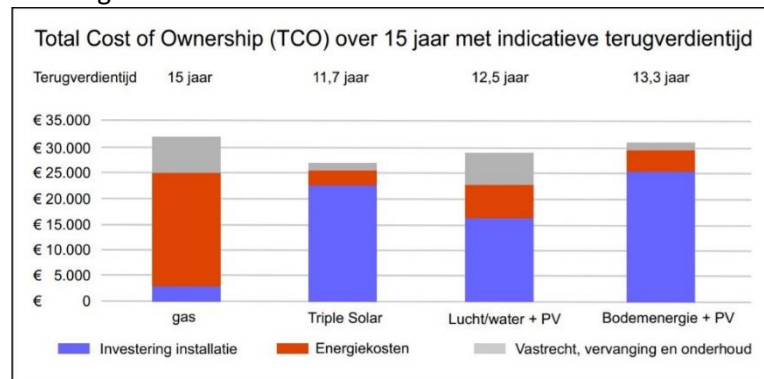
Figuur 17: Afbeelding Triple Solar.
 Binnen de woning is het pompsysteem, de warmtewisselaar en de aansluiting op tapwater en woning verwarming. Het geluidsniveau is erg laag vanwege het ontbreken van de buitenventilator. De binnen-unit moet dan wel weinig geluid geven.



De 'Total Cost of Ownership' (TCO) vergelijking met een HR-CV ketel op gas +PV, een Lucht-Water warmtepomp +PV, en bodemenergie +PV.

- ✓ Het systeem werkt buiten op het dak en is geruisloos. Propaan warmtepomp.
- ✓ Het is geschikt voor nieuwbouw en renovatie.
- ✓ Er is subsidie van toepassing (deze verandert jaarlijks).
- ✓ PVT en PV-panelen zien er hetzelfde uit. Er kunnen op driehoekige aansluitstukken geleverd worden zodat het een aaneengesloten beeld op het dak geeft.
- ✓ De BTW-teruggave voor PV-panelen is van toepassing.
- ✓ De thermische panelen (glycol) kunnen eventueel op de noordzijde gelegd worden.
- ✓ Elke installateur die PV kan aanleggen krijgt een training voor het verbinden van de leidingen.
- ✓ Afgifte systeem is laagdrempelig met LTV-radiatoren.
- ✓ Waardevermeerdering van de woning.

Figuur 18. De Total Cost of Ownership (TCO) uit 2020 laat zien dat het PVT-systeem (van Triple Solar)⁵⁵ het voordeligste verwarmingssysteem is wanneer over een termijn van 15 jaar de operationele kosten en onderhoud worden meegerekend. Er wordt dan uitgegaan van eenzelfde kW capaciteit warmteafgifte.



Toelichting Grafiek. Een 8 kW PVT-systeem op een zuid dak 45 graden helling kost iets van >€ 30.000 (jaar 2022) met warmtepomp, PVT-panelen minimaal 10 stuks, leidingen, boiler, installatie kosten, etc., exclusief de subsidie.⁵⁶ Deze grafiek van TripleSolar vergelijkt met een gas-CV met elektriciteitsaansluiting. Bij hogere kosten van de PVT en lagere kosten van de PV (sinds 2020) veranderen de percentages. De vastrechtkosten van de drie rechter systemen zijn hetzelfde. Van de lucht-water warmtepomp wordt ervanuit gegaan dat de onderhoudskosten na 10 tot 15 jaar gaan oplopen omdat daar meer draaiende delen aan zitten. Deze worden wel steeds goedkoper en efficiënter dan 2020. Bij een PVT is er een lagere kost voor de vervanging en onderhoudskosten dan bij een lucht-water warmtepomp. De grafiek vergelijkt ook een bodemwarmtepomp. Voor een

⁵⁵ <https://triplesolar.eu/> Ook verschillende YouTube filmpjes zijn beschikbaar. Deze informatie is door Triple Solar aangeleverd. Omdat dit informatie is uit 2020 zal deze data gewijzigd zijn, ook omdat er veel nieuwe producten op de markt zijn gekomen. Het is mogelijk dat bij de berekening niet de zuinigste alternatieve systemen werd gekozen. De grafiek geeft daarom slechts een indicatie.

⁵⁶ De subsidie is afhankelijk van het geleverde vermogen van de warmtepomp en als deze minimaal een A+ label heeft. En PVT op een noordelijk dak is wel mogelijk, maar dan levert de PV weinig energie op. In de winter zal het systeem dan meer elektrische energie vragen.

ondiep systeem is een groot grondoppervlak nodig en bij een diep systeem zijn de kosten hoger. Dit verschil is niet aangegeven.

Bij lage buitentemperaturen kan er rijp optreden op de warmte-absorptie panelen (vergelijkbaar met dauw) onder de PV wat de warmte uitwisseling vermindert. Dit heeft geen schadelijke gevolgen voor het systeem maar de thermische prestatie vermindert dan $\approx 10\%$.

Wanneer dan de elektrische bijverwarming wordt ingeschakeld om de panelen **ijsvrij te houden** verlaagt de COP sterk. Dit gebeurt voor ongeveer 40 uur per winter.

Figuur 19. Van Triple Solar. Rijp op PVT. Bij deze foto zijn de verbindende leidingen te zien. Bij de planning voor de beschikbare ruimte moet met de leidingen rekening gehouden worden.



6. Berekening vermogenscapaciteit All-electric warmtepomp zonder en met tapwaterverwarming

Omdat warmtepompen een complexe specialiteit is waarbij voor een woning nogal wat rekenwerk nodig is, vragen installateurs soms een bedrag om een gedetailleerde offerte te maken met een warmteverliesberekening en de nodige aanpassingen voor het radiatoren systeem (€ 200 - € 400). Deze kosten worden niet doorberekend bij de uitvoering van hun offerte.

De volgende informatie geeft een snelle schatting voor de kW capaciteit of het maximumvermogen van de warmtepomp.

- Bepaal het gemiddelde jaargebruik in m^3 gas/jaar van de woning, inclusief tapwater verwarming (gemiddeld ongeveer 20%, inclusief koken).
- Verminder het verbruik met $100 m^3$ gas/persoon voor tapwater verwarming.
- Deel het resulterende gasverbruik door 200.
- Vermenigvuldig met 0,8. Wanneer de afgelopen winter gemiddeld zachter was dan het gemiddelde, vermenigvuldig dan met 0,9. Resultaat is kW vermogen van de warmtepomp.
- Dit kW-aantal is de topcapaciteit bij een buitentemperatuur van $-10^\circ C$.

Het tapwater wordt meestal verwarmd als de installatie de woning niet verwarmd. Dit geeft daarom geen verhoging van het vermogen van de warmtepomp.

Voorbeeld: Een hoekwoning (2 volwassenen en twee kinderen) heeft een gasverbruik van $1400 m^3$ gas/jaar. Het netto gasverbruik zonder tapwaterverwarming en koken op gas is $1000 m^3$ gas/jaar. $1000/200 = 5 kW$. Vermenigvuldigingsfactor 0,8 maakt 4,0 kW.

Een andere methode is de volgende:

[A] Zoek het gemiddelde jaarverbruik van het gas in m^3 .

[B] Het aantal personen in het gezin:

Warmteverlies woning $[W/K] = (A - B * 80) * 0,17$

Voorbeeld:

Als er [A] 1400 m³ gas verbruikt wordt in één jaar en er zijn [B] 4 bewoners dan is de verlieswaarde van de woning: $(1400 - 4 * 80) * 0,17 = 184 \text{ W/K}$

Vermogen warmtepompinstallatie [W] = Warmteverlies woning [W/K] * 26 [K] = 184 * 26 = 1800 W = **4,8 kW**

Wanneer de warmtepomp ook vermogen nodig heeft voor warm tapwater van 10 [W/L] en een 200 liter boiler dan wordt het:

$4800 \text{ W} + 200 \text{ [L]} * 10 \text{ [W/L]} = 6800 \text{ W} = \mathbf{6,8 \text{ kW}}$. Bij een WTW op de douche kan dit dan 6 kW worden.

Nog een methode. Het vermogen van een warmtepomp kan ook als volgt worden berekend: kW warmtepomp = (aantal m³ gas/jaar x 8) : 1650.

Een hybride warmtepomp heeft 40% van het totale benodigde vermogen van de woning nodig. De uitkomst van de berekening mag dus worden vermenigvuldigd met een factor 0,4.

Voor een 180 liter groot boilervat met 12 uur opwarmtijd is het extra vermogen 0,8 kW. Bij dezelfde boiler, maar nu met een opwarmtijd van 3 uur geldt 3,2 kW extra warmtepompvermogen. De meeste fabrikanten en leveranciers houden echter geen rekening met het extra vermogen voor tapwater.

Uitleg van de berekeningen.

Een m³ aardgas heeft een warmte-inhoud van zo'n 9,3 kWh aan warmte-equivalent.


Bij 1400 m³ aardgas bevat dat dus 13.020 kWh aan warmte inclusief waterverwarming door de CV.

Een woning met een isolatiewaarde van rond 1995 (energielabel C) heeft ongeveer 1700 vollasturen voor de HR-CV. $13020 \text{ kWh} / 1700 \text{ h} = 7,6 \text{ kW}$. Dit is het totale noodzakelijke vermogen om te verwarmen.

Bij de toepassing van de beta-factor van 0,8 wordt het noodzakelijke vermogen 6 kW.

Bij een hybride systeem dat een beta-factor heeft van 0,5 wordt dat 3,8 kW. Dat betekent een warmtepomp die een slag kleiner is want in de winter gaat de Gas-Cv dan bijstoken.

Hoek- of 2 onder 1 kap woning, kengetallen.

	Inschattingstabel verwarmen hoekwoning of 2 onder 1 kap - klimaat vanaf 2020 -									
	isolatie gemiddeld RC	Equivalente Vollasturen jaar <small>Warmtepomp-tips.nl</small>		Energie nodig aardgas (NL) of kWh				Op te stellen Watt per m ²		
		MV	WTW	m ³ per m ² GO		kWh per m ² GO		MV	WTW	
				MV	WTW	MV	WTW	MV	WTW	
Voor 1945	0,2	1900		15,2		133,76		70,4		
1946-1964	0,4	1850		15,5		136,4		73,7		
1965-1974	0,5	1800		13,8		121,44		67,5		
1975-1991	1,4	1750		12,4		109,12		62,4		
1992-1999	2,5	1700		10,7		94,16		55,4		
2000-2014	3	1650		8,9		78,32		47,5		
2015-2020	4,7	1500	1400	7,4	5,8	65,12	51,0	43,4	36,5	
2021-	5	1200	1100	5,7	4	50,16	35,2	41,8	32,0	


MV = mechanische ventilatie vanaf 1995, daarvoor natuurlijk. WTW = WTW unit (tabel is excl. warmtapwater)

Tabel uit:

<https://warmtepomp-tips.nl/warmtepomp/kengetallen/>

Bij de hoekwoning met mechanische ventilatie uit periode 1992-1999 wordt 55,4 W/m² gerekend (energie label C). Voor een woning van 150 m² wordt dat 8310 W of 8,3 kW warmtepomp. Wanneer deze woning beter wordt geïsoleerd tot een A-label (2021 niveau) met een WTW op de ventilatielucht dan is er 32 W/m² nodig met 4,8 kW warmtepomp.

Tussenwoning kengetallen

	Inschattingstabel verwarmen tussenwoning - klimaat vanaf 2020 -								
	isolatie gemiddeld RC	Equivalente Vollasturen jaar <small>Warmtepomp-tips.nl</small>		Energie nodig aardgas (NL) of kWh				Op te stellen Watt per m ²	
		MV	WTW	m ³ per m ² GO		kWh per m ² GO		MV	WTW
				MV	WTW	MV	WTW	MV	WTW
Voor 1945	0,2	1900		13,8		121,44		63,9	
1946-1964	0,4	1850		13,7		120,56		65,2	
1965-1974	0,5	1800		12,1		106,48		59,2	
1975-1991	1,4	1750		10,9		95,92		54,8	
1992-1999	2,5	1700		9,6		84,48		49,7	
2000-2014	3	1650		8,1		71,28		43,2	
2015-2020	4,7	1500	1400	7,1	5,6	62,48	49,3	41,7	35,2
2021-	5	1200	1100	5,3	3,7	46,64	32,6	38,9	29,6

MV = mechanische ventilatie vanaf 1995, daarvoor natuurlijk. WTW = WTW unit (tabel is excl. warmtapwater)

Een tussenwoning (met minder buitenmuur) heeft volgens de tabel 49,7 W/m² nodig of een warmtepomp van 7,5 kW. Wanneer deze woning beter wordt geïsoleerd tot een A-label (2021 niveau) met een WTW op de ventilatielucht dan is er 29,6 W/m² nodig met 4,4 kW warmtepomp. Uit deze basistabellen blijkt dat door beter te isoleren er ongeveer 20% minder energie nodig is. In aanvulling daarop, als men de mechanische ventilatie vervangt door een WTW en CO₂ regeling op de ventilatie er dan nog eens ongeveer 20% energie bezuinigd kan worden.

Deze warmteverlies berekeningen worden met de jaren beter, maar wanneer het aantal graaddagen per jaar kleiner wordt, wordt ook het totale warmteverlies kleiner. Dit laatste is het geval door de klimaat opwarming. Gezien de wereldwijde energieconsumptie van fossiele brandstoffen (de oorzaak van CO₂ en methaan-uitstoot) politiek (inclusief de Nederlandse) is het niet waarschijnlijk dat deze trend veel veranderd voor het jaar 2050.

Een installatiebedrijf kan een meer nauwkeurige berekening te maken door alle buitenoppervlaktes van een na-geïsoleerd gebouw in te voeren en rekening te houden met de status van de ventilatie en de infiltratie of ruimtes die niet verwarmd hoeven te worden. Dit kan kleine verschillen opleveren in de uitkomsten.

7. Berekening vermogenscapaciteit van Hybride warmtepomp

- Zelfde als a, b en c hierboven.
- d. Vermenigvuldigd met 0,5. Resultaat is het aantal kW.
- e. Deze kW capaciteit van de warmtepomp is bij een buitentemperatuur van 0°C.
- f. Bij een lagere temperatuur gaat de gas HR-Cv dan bij-verwarmen (gasconsumptie).

Zelfde voorbeeld. 7,5 kW X 0,4 maakt 3,0 kW hybride warmtepomp.

Andere berekening met W/m². De onderstaande tabel geeft onder de bouwjaartallen **bij benadering** het warmteverlies (in W/m² van het gebruiksoppervlak) wat nodig is om de woning voldoende te verwarmen bij -10°C, exclusief de warmte nodig voor tapwater verwarming (gemiddeld 20%).⁵⁷ In deze tabel wordt ervan uitgegaan dat de hele woning op 21°C gestookt wordt (dag en nacht). In de praktijk is dat zelden het geval en is de gemiddelde temperatuur 2°C lager, wat een bezuiniging van

⁵⁷ Een All-electric warmtepomp heeft een lager rendement voor het bij-verwarmen van het tapwater omdat dit naar een hogere temperatuur verwarmd moet worden dan het CV-water van de LTV-verwarming.

ongeveer 20% oplevert. Deze tabel⁵⁸ is gebaseerd op het gewenste vermogen bij -10°C, maar dat komt zelden voor in Nederland en in de toekomst waarschijnlijk ook niet.

Woningtype, bouwjaar	Toeslag	1970	1980	1990	2000	2010	2015	2021
Energie label		G	E	C	B	A	A+	A+++
Tussenwoning 100 m ²	0 %	130	110	90	60	40	30	25
Warmtepomp All electric	Vermogen kW	niet	niet	10,2 kW	8,5 kW	7,5 kW	5,5 kW	4 kW
Hybride WP + HR-CV	0,4 x WP	niet	niet	4,5 kW	3,5 kW	3 kW	2,5 kW	1,6 kW
CO ₂ uitstoot en negatief effect op het milieu		Heel veel	Erg veel	Veel	Matig	Weinig	Heel weinig	Mini-maal
Groter huis?*	Toeslag	1970	1980	1990	2000	2010	2015	2021
Hoekwoning 140 m ²	+25 % =	160	135	110	75	50	38	31
Vrijstaand 180 m ²	+40 % =	180	150	125	85	55	42	35

* Bij grotere woningen bereken dan de verhouding en vermenigvuldig daarmee het aantal W/m²
 Bij niet-compacte woningen (bungalow, veel uitbouwen) extra verhogen met 10%

Het leidende criteria moet de uiteindelijke CO₂-uitstoot zijn en daarna pas de terugverdientijd;
isoleren staat dus voorop.

Afhankelijk van de berekeningsmethode kunnen de uitkomsten aanzienlijke verschillen. Zelfs al per ruimte de isolatiewaarde van de schil wordt berekend kunnen de uitkomsten verschillen, omdat de invoer van de gegevens afhankelijk gemaakt kan worden van het bewoners gedrag. De volgende tabel geeft de belangrijkste verschillende invloeden aan.

#	Vermindering van het nodige vermogen	Verhoging van het nodige vermogen.
1	Extra goede isolatie van de buitenschil van het gebouw. Goede isolatie van de ramen.	Slechte isolatie van de buitenschil van het gebouw. Alleen oude HR en HR ⁺⁺ isolatieruiten.
2	Bodemgebonden warmtepomp, 150-200m	Lucht-water warmtepomp
3	Laagtemperatuur afgiftesysteem (LTV 35°C) met LTV-vloerverwarming of convectorradiatoren	Midden- (MTV ≈50°C) of Hoog- (HTV ≈70°C) temperatuur afgiftesysteem.
4	Lager aantal graaddagen dan het gemiddelde van de laatste 10 jaar (<< 2500)	Hoger aantal graaddagen dan het gemiddelde van de laatste 10 jaar (> 2500).
5	Lagere gemiddelde binnentemperatuur, bijvoorbeeld 18°C (= laag 16°C en hoog 20°C).	Hogere gemiddelde binnen temperatuur bijvoorbeeld 20°C (= laag 18°C en hoog 22°C).
6	Lagere binnentemperatuur voor de etage, bijvoorbeeld 15°C (= laag 14°C en hoog 17°C).	Zelfde hoge binnentemperatuur voor de etage, bijvoorbeeld 18°C (= laag 16°C en hoog 20°C).
7	Weinig ventilatie of WTW op decentrale of centrale balansventilatie.	Mechanische ventilatie zonder WTW of CO ₂ -regeling.
8	Exclusief vermogen voor tapwaterverwarming.	Inclusief vermogen voor tapwater verwarming.
9	WTW op het douchewater	
10	Zonneboiler	
11	Andere vorm van (elektrische) bijverwarming	

8. Radiatorventilator

Wanneer een woning een warmtepomp heeft met LTV, maar men deze woning slechts voor een klein gedeelte van de dag warmer wil hebben, dan kan dit met radiatorventilatoren zoals SpeedComfort, Climatebooster of Jaga Strada Hybrid die de warmteafgifte versnellen⁵⁹.

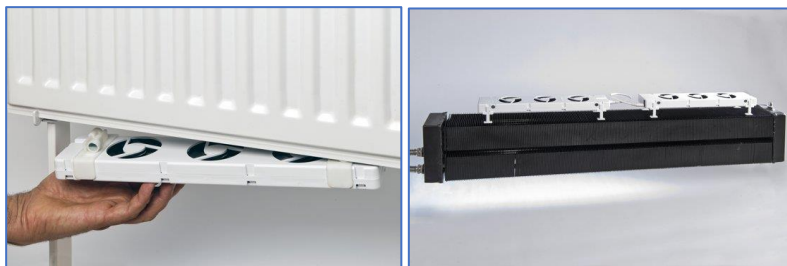
⁵⁸ Een andere tabel/berekening is te vinden op: <https://www.nefit-bosch.nl/informatie/blog/wat-is-de-juiste-warmtepomp-voor-mijn-klant#:~:text=Ga%20uit%20van%20gemiddeld%20100,toepassing%20op%20het%20huidige%20gebruikersgedrag.>

⁵⁹ Zie: www.speedcomfort.nl www.climatebooster.nl en <https://www.jaga.nl/producten/strada-hybrid/>

Door op de klassieke radiatoren een radiatorventilator te plaatsen wordt de warmteafgifte met ongeveer 30% verhoogd en kan een LTV-systeem mogelijk gemaakt worden.

De Speedcomfort® gaat aan bij een radiatortemperatuur van ≈ 35 °C en werkt dan met pulsen (stroombezuiniging). De kosten van het stroomverbruik zijn veel minder dan de warmtewinst. Het geluidsniveau is iets meer dan 30 dB en praktisch onhoorbaar. De economische winst van de radiatorventilator is dat de kamer eerder op temperatuur is en daardoor de Cv eerder uit kan en soms lager kan worden ingesteld. Dat laatste geeft de grootste energiewinst.

Figuren 20. Radiator convectoren verhogen de warmteafgifte van de radiatoren en verbeteren daarmee het rendement van de installatie.



Observatie 20. De watervolumes die rondgepompt moeten worden voor een LTV-systeem zijn groter dan bij een hoog-temperatuur systeem.

Bij woningen van na 1970 hebben de dunne leidingen niet voldoende doorsnede (netto < 12 mm) om de nodige watervolumes rond te pompen. In dat geval zullen de leidingen vervangen moeten worden. Behalve de radiatorventilatoren kunnen ook grotere convector radiatoren worden geplaatst. Wanneer er méér water moet worden rondgepompt, moet er een mengvat en een secundaire circulatiepomp aan worden toegevoegd.

Observatie 21. De Cv-waterpompen moeten energiezuinig zijn. Oude pompen op wisselstroom hebben de keuze tussen Laag = 35 W, Midden = 85 W en Hoog = 125 W (afbeelding links). Nieuwe pompen lopen op gelijkstroom en 5W (afbeelding rechts). Bij oude pompen kan een gewoner timer in de stroomkabel geplaatst worden om de pomp uit te zetten wanneer er geen warmtevraag is. De Grundfos Alpha-3 heeft een minimumverbruik van 3 Watt. Dat stroomverbruik is veel minder dan de energiebesparing van de hogere COP.

Figuren 21. Bij LTV-vloerverwarming is het mogelijk om de pomp te vervangen of een timer op een ouderwetse pomp te plaatsen zodat er geen stroom verbruikt wordt als er geen warmtevraag is.

Links: oude circulatiepomp tot 125 W

Rechts: gelijkstroom 5W pomp.



9. De Hybride warmtepomp (combinatie)

De hybride warmtepomp systeem wordt door veel installateurs gezien als een geschikte (goedkope) oplossing voor het verwarmen van de woning met LTV en het verwarmen van het tapwater met een HR-Cv-ketel. Ook voor het verwarmen van de woning als de warmtepomp het in een koude periode niet trekt (< -5°C). Het gaat hier dus over een combinatie van twee installaties, de warmtepomp (meestal Lucht-Water) en een HR-CV. De warmtepomp doet dus het grootste gedeelte van het werk

(ongeveer 80%).⁶⁰ Gemiddeld over het jaar levert een warmtepomp 2/3^{de} van de warmtevraag van de woning en de gas-Cv 1/3^{de}.

Een voordeel van de hybride warmtepomp is dat **als het erg koud is**, het elektriciteitsnet niet wordt overbelast door veel Lucht-Water warmtepompen (systeem B) die door de steeds lagere luchttemperatuur ook een steeds lagere COP krijgen en daardoor meer netstroom vragen voor dezelfde warmtebehoefte.⁶¹ De hybride warmtepomp vraagt dan gas voor de HR-Cv-ketel. Bij woningen die van het gas af moeten is dit geen goede oplossing. Een ander voordeel is dat het een back-up systeem is voor als het elektriciteitsnet uitvalt.

Voor de hybride warmtepomp geldt ook (zoals bij elke warmtepomp) dat deze slechts geschikt is voor goed geïsoleerde woningen (energielabel A of beter).

Wanneer de woning alleen warm gekregen kan worden met een hoge-temperatuursysteem levert **de hybride warmtepomp geen beter rendement op dan een HR-CV**. Ook moeten de woningen een mechanisch balansventilatiesysteem hebben met WTW en bij voorkeur een aanwezigheidssensor of CO₂-regeling. Het gaat hier dus hoofdzakelijk over nieuwbouwwoningen van ná 2000, of aanzienlijk warmte-energie-technisch opgewaardeerde woningen.

10. Wanneer is een hybride warmtepomp te overwegen?

De eerste regel is dat de woning tenminste een energielabel B of A moet hebben of beter. Energie labels lopen op tot A⁺⁺⁺ en passief. Bij een energielabel A en hoger kan men ook een gewone warmtepomp nemen, eventueel met een extra installatie voor warm tapwater (hybride combinatie). Bij een woning kan men eerst de 50°C test doen om te kijken of de woning wel voldoende geïsoleerd is, zie <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/aardgasvrij-wonen/50-gradentest/>

Opgelet. Veel gemeentes maakten volgens de Wet TransitieVisie Warmte⁶² in 2021 een plan om in een periode van 10 jaar bepaalde wijken van een warmtenet te voorzien. Dit gaat meestal alleen over woonwijken met een grote woningdichtheid. De praktijk wijst in 2023 uit dat veel woningeigenaren of huurders **dan veel hogere energiekosten krijgen**. Hierdoor haakten veel woonwijken af. De nieuwe warmtewet 2024 kan hier verandering in brengen.

Een hybride systeem met een klein bemeten warmtepomp, met een nog bestaande (iets oudere, maar nog niet aan vervanging toe) HR-CV is een optie als tijdelijke oplossing gedurende de komende jaren dat men de woning beter gaat isoleren. Als de woning beter geïsoleerd is kan de dan oude CV verwijderd worden en kan de vroeger geïnstalleerde kleine warmtepomp de woning warm krijgen.

11. De hoge-temperatuur verwarming (HTV) warmtepomp

Omdat de hybride warmtepomp nog steeds gas nodig heeft om het Cv-gedeelte voor de tapwater en de koude periodes bij te laten verwarmen wordt de hoge-temperatuur warmtepomp (HTV) steeds populairder. Deze verwarmt het water in twee fasen van elk 35-40 °K. Het grote voordeel van de

⁶⁰ Een zonneboiler zal alleen het tapwater voorverwarmen. Bij een douche WTW zal deze het koude aanvoerwater voorverwarmen. Beiden zijn dan een vermindering van het HR Cv-ketel gebruik. Gemiddeld over een jaar kan dat 40% zijn, maar in de winter is het rendement laag tot nul als er weinig tot geen zon is.

⁶¹ Een huidig probleem is dat het stroomnetwerk in veel plaatsen de vraag in koude dagen niet aankan bij veel All-elektrische verwarmingssystemen (in combinatie met steeds meer elektrische auto's), vandaar dat netwerkbedrijven de hybride systemen promoten.

⁶² Bijvoorbeeld <https://aardgasvrij.hilversum.nl/> en <http://www.energieregionhz.nl/> (beslissing 7 juli 2021)

hoge-temperatuur warmtepomp is dat er weinig woningaanpassingen voor nodig zijn. Dat laatste speelt een belangrijke rol bij oude en kleine woningen.

Cv-installaties van monumentale panden en vooroorlogse woningen zijn vaak ontworpen op een hoge temperatuur systeem zonder pompsysteem (70°C tot 80°C). Het hete water circuleert door dikke buizen vanwege het temperatuurverschil (watergewicht) tussen de aanvoer en afvoerleidingen. Met een pompsysteem hebben deze dan een sterk vergrote warmte afgiftecapaciteit. Woningen die gebouwd zijn tot 1960 hebben ook nog dikke leidingen ontworpen op stookolie verwarming, zonder circulatie pompen. Bij deze woningen zijn dan vaak geen buffervat nodig.

Bij een oude Cv met watertemperaturen van 70°C tot 80°C is de systeemefficiëntie < 75% omdat de rookgassen niet goed kunnen condenseren (zoals gebeurt in een HR107-CV).

Bij een hoge temperatuur warmtepomp met een COP-waarde van 2,8 treedt er een CO₂-reductie op tot 50% ten opzichte van die oude gas-CV installatie. Met een Cv-ketel rendement van 90% en een COP van 2,8 blijft de energievraag reductie ook 50%.⁶³

12. Subsidie op warmtepomp, warmtenet en zonneboiler.

De subsidieregeling voor de aanschaf van warmtepompen is te vinden op de volgende website: <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/isde/woningeigenaren/voorwaarden-woningeigenaren/warmtepomp>. **De lijst wordt periodiek bijgewerkt en verandert jaarlijks.** Sommige gemeentes hebben aanvullende regelingen. Sommige gemeentelijke subsidies kunnen gestapeld worden bij lage inkomens.

De woning kan op een lokaal warmtenet worden aangesloten, waarvoor een subsidie beschikbaar is van euro 3325 (in 2022), maar dan moet het systeem door de warmteleverancier worden aangelegd. Bij de aansluiting op warmtenetten worden de verwarmingskosten op afstand gemeten (sensors) en automatisch verrekend. De regeling is op de bovenvermelde website beschikbaar.

Figuren 22. Een zonneboiler (vacuüm-tube) genereert over een jaar ongeveer 50% van de tapwater warmte, maar weinig in de winter. In de linker foto: links is de geïsoleerde opslagtank. De



ronde tank is de druktank. Links daarnaast is de zwarte circulatiepomp. Tussen de opslagtank en de HR-CV is de stroomschakelaar. Wanneer de temperatuur in de zonneboiler hoger is dan in de opslagtank werkt de pomp.

13. Algemene opmerkingen m.b.t. de warmtepomp

⁶³ Afhankelijk van de warmtepomp en de capaciteit liggen de bezuinigingswaarden tussen de 45% en 55%. Dit kan uitgerekend worden op basis van de nieuwe NTA 8800 die per 1 februari 2022 ingaat.

- A. Wanneer de CV kapotgaat en vervangen moet worden kan tijdelijk (een paar jaar) een **CV gehuurd** of gepacht worden. De woning kan dan in fasen beter geïsoleerd worden, voordat er een aangepaste warmtepomp wordt geïnstalleerd.
- B. Wanneer de woning nog niet goed geïsoleerd is (buitenschil), maar de HR-CV moet wel meteen vervangen worden, is het mogelijk om eerst een warmtepomp met een hogere werktemperatuur te installeren (HTV). Deze kan in een latere fase (wanneer er beter geïsoleerd is) naar een lagere temperatuur (LTH) worden gezet. De kosten zijn initieel wat hoger, maar de warmtepomp werkt dan in de toekomst minder zwaar en kan langer meegaan.
- C. In de badkamer kan een elektrische (handdoeken) radiator geïnstalleerd (euro 1000) of er kan een Infrarood paneel gemonteerd worden. Vloerverwarming in de badkamer is onverstandig (dik kleedje is beter).

Cv-ketel temperatuur verlagen.

- D. Men kan eerst proberen om de maximale temperatuur van de Cv-ketel stapsgewijs te verlagen en te bestuderen bij welke maximale temperatuur de woning nog steeds verwarmd wordt⁶⁴. Dit werkt alleen als er voldoende radiatoroppervlakte is⁶⁵. Zie webadres: <https://zetmop60.nl> en dan op de **rode balk klikken** ('klik hier om je cv-ketel op 60 graden te zetten'). Youtube film. En <https://www.zelfenergiebesparen.nl/gas-besparen/cv-ketel-zuinig-afstellen/>
- E. Het verlagen van de Cv-water temperatuur van een HR-Cv-ketel heeft geen invloed op de aparte thermostaat voor tapwatertemperatuur. Bij vraag naar warm tapwater zorgt de driewegklep ervoor dat alleen het tapwater tot $\leq 60^{\circ}\text{C}$ verwarmd wordt en dus geen Salmonella risico oplevert. Salmonella kan alleen optreden wanneer het lauwe tapwater lange tijd in een leiding of in het opslagvat wordt bewaard. In Nederlandse tapwateromstandigheden komt het zelden voor.
- F. Alleen in ruimtes waar slechts kort wordt verbleven zijn Infrarood panelen voor directe straling en lichaamsverwarming of verwarmende airco's economisch interessant. De airco verwarmt dan tijdelijk de lucht, maar heeft niet voldoende de tijd om de gebouwmassa te verwarmen.
- G. Bij een mechanische ventilatie zonder lucht-WTW zal de CV constant de binnenkomende lucht verwarmen (erg onzuinig). Wanneer overstapt moet worden naar een warmtepomp moet dus ook de ventilatie via een energiezuinig balansventilatiesysteem met WTW lopen. Dat kan een centraal systeem zijn, maar ook decentrale WTW.⁶⁶
- H. Bij een All-electric warmtepomp is een aparte tapwaterboiler met opslagvat nodig, want het verwarmen van dat tapwater gaat vrij langzaam. Voor het douchen is een 150-200 liter boiler en voor bad gebruik een 250-300 liter boiler nodig, afhankelijk van het gezin en gebruik. Een zuinige douchkop en een WTW op de doucheafvoer en zonneboiler is voordeliger.

⁶⁴ Bij een lage CV-temperatuur kan er in de brander aluminiumoxide ontstaan; fijn zwart gruis. Bij een regelmatige schoonmaakbeurt, een maal per jaar, wordt dit verwijderd.

⁶⁵ Door de toepassing van radiator ventilatoren wordt het effect van warmteafgifte van de bestaande radiatoren met ongeveer 30% verhoogd.

⁶⁶ Zie document "Ventileren van Oudere Woningen" op www.nienhuys.info voor verschillende systemen.

Figuren 23. Afhankelijk van de capaciteit kan een warmtepomp of warmtepomp boiler veel ruimte innemen. Sommige systemen houden het opgeslagen water op ongeveer 50°C en verhogen dit tot 60°C met de tapwatervraag.

Rechts Kleiner hybride systeem

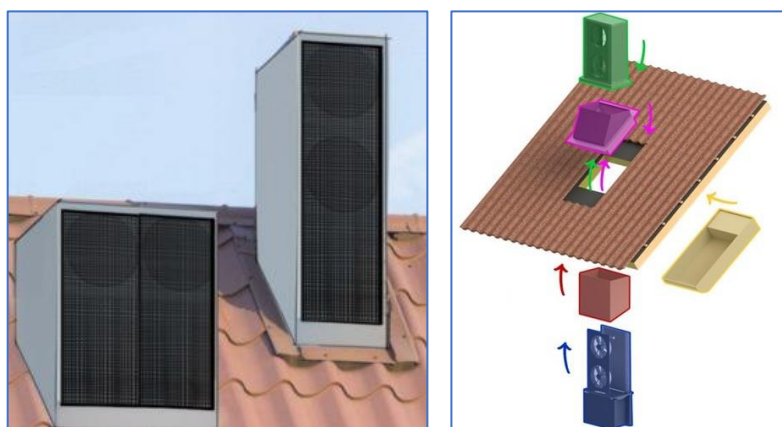


- I. Bij een eigen energieproductie, bijvoorbeeld wanneer men veel PV heeft, is een All-electric systeem meer interessant, vooral wanneer men een opslagcapaciteit heeft voor elektriciteit. Het ligt in de verwachting dat de verschillende thuisbatterijen in de toekomst goedkoper worden. Bij een zonneboiler kan het WP-boilervat kleiner worden. De PVT (thermisch) heeft beide voordelen.
- J. Een elektrische boiler van Gas-Cv boiler hebben stilstandsverliezen omdat deze het water warm houdt als er geen verbruik is. Bij een Gas-Cv-boiler slaat de Cv in de zomer regelmatig even aan om het boilerwater op temperatuur te houden. Doorstromers hebben geen stilstandsverlies maar vereisen een veel zwaarder (> 9kW) piekvermogen en vaak een driefasen aansluiting. Bij > 6 liter/min van 60°C is een vermogen nodig van 3 x 25 Amp = 17 kW.
- K. Ondiepe bodemwarmtepomp aanleg kan al voor 5.000 euro per lus. Op www.wkotool.nl kan men per postcode zien welke mogelijkheden er voor bodemenergie zijn. De extra kosten worden goedge maakt door de voordelen. Er is geen buitenunit nodig (geluidhinder).
- L. Bij een beperkte ruimte bij een rijtjeswoning bestaat de mogelijkheid de Lucht-Water warmtepomp op het dak te bouwen. Nieuwe modellen zijn in ontwikkeling. Woningen uit de periode jaren 1960 en 1970 hebben vaak zwakke kapconstructies waarbij dat niet kan.

Figuren 24. Aanpassing voor dakhelling (paars). Binnen omkasting (beige) met versterking dak (rode pijlen).

Buitenomkasting (groen).

Verschuifbaar gedeelte voor onderhoud (blauw).



- M. LTV-vloerverwarming systemen zijn normaliter berekend op een gemiddelde bovenisolatie van 0,01 m².K/W zoals cementvloeren, plavuizen en tegels. Linoleum met 0,02 m².K/W en PVC met 0,03 m².K/W. Direct op de gladde cementvloer gelijmd dun eikenhouten parket heeft een warmte weerstand van 0,05 m².K/W (contactgeluid?). Kurkparket of laminaat 0,07 m².K/W. Zwaar/dik

tapijt 0,15 m².K/W. Bij combinaties moeten de waarden bij elkaar opgeteld worden. Wanneer er een LTV in de gang ligt, kan daar een tapijt gelegd worden zodat daar de warmteafgifte minder wordt.



Figuren 25. Nieuwe PVC-vloeren komen in veel verschillende 'houten' parket ontwerpen zoals visgraat en stroken en zijn nauwelijks van echt houten parket te onderscheiden. Direct op de cementvloer geplakt.

- N. Droge of natte LTV-vloerverwarming. Droge systemen zijn sneller aangelegd en gebruiksklaar dan natte systemen. Water-gedragen (natte) systemen moeten eerst getest worden door ze onder druk te zetten. De droogtijd van cement gebonden (nat) vereist ongeveer een week per cm dikte (gemiddeld een maand), waarna de verwarming pas aangezet mag worden. Na 14 dagen verwarmen mag de vloerafwerking pas gelegd worden. Bij Anhydriet gebonden dekvloeren is de wachttijd minimaal een week. Bij vloerconstructies met gasbeton (op plasticfolie gestort) is de droogtijd minimaal 100 dagen, omdat het niet gebonden overtollige vocht er alleen aan de bovenkant uit kan. Uitzondering is wanneer al het water chemisch gebonden wordt.



*Figuren 26. Links. Hybride warmtepomp en de HR Cv met rechts (grijs) de omvormer voor de PV.
Midden. Voorbeeld van een Lucht-Water warmtepomp binnen opstelling met een buffervat.
Rechts. Ducobox Eco met buffervat om koude-pieken op te vangen.*

Voor meer informatie: <https://ennatuurlijk.nl/warmtenetten-van-ennatuurlijk/warmtekaart> en <https://warmtepomp-weetjes.nl/> en <https://warmtepomp-tips.nl/> en <https://Liveheatpump.com/>
En <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/wonen-zonder-aardgas/>
Op <https://advies-op-maat.milieucentraal.nl/aom/Warmtepomp/> meer informatie aanwezig over warmtepompen, PV en balansventilatie met WTW voor de douche.

14. Offertes van aannemers of installatiebedrijven.

Op het internet is veel gesponsorde informatie aanwezig van bedrijven die hun eigen producten aanbevelen, waarbij hoofdzakelijk de voordelen worden verteld of uitvergroot. Aannemers en

bedrijven hebben veelal overeenkomsten met bepaalde fabrikanten of leveranciers en zullen daarom die producten aanbevelen waar ze de meeste ervaring mee hebben. Dat betekent niet dat die producten inferieur zijn, maar wel dat die aannemer met dat product meer ervaring heeft.

Om offertes te vergelijken moeten deze wel dezelfde componenten hebben, inclusief dezelfde garantievoorwaarden en belasting specificaties.

- Bij eerste offertes wordt vaak alleen de netto installatie berekend en niet de bijkomende kosten zoals verbouwing of installaties zoals radiatoren en ventilatie.
- Bij PVT-systemen moeten niet alleen de dakpanelen met montagesystemen en de omvormers en de warmtepomp berekend worden met de montagetijd van elk onderdeel, maar ook de afdekkappen voor de leidingen, transport, schakelmateriaal, dak/muur doorvoeren, extra bronleidingen, aanpassing meterkast, aarding, etc.
- Wat voor type kamerthermostaat is er aanwezig of nodig, zijn dat extra kosten?
- Is het warmteafgifte systeem van voldoende capaciteit? Het installeren van extra convector radiatoren wanneer er geen LTV-vloerverwarming is, kan een flinke kostenpost betekenen.
- Is er een één-fase aansluiting of is er een drie-fase aansluiting nodig/aanwezig?
- Bij warmtepompen, wordt er een aparte berekening gegeven voor ruimteverwarming en tapwaterverwarming?
- Wordt er in de offerte aangegeven of er in (of buiten) de woning voldoende plaats is voor de apparatuur en installaties (technische ruimte)? Kan het apparaat in de kelder of op zolder?
- Offertes zouden een berekening van de prestatie en de terugverdientijd op de energierekening kunnen opgeven. Op hoeveel jaar wordt de vervanging berekend?
- Is er een systeem waarbij de opbrengst van het systeem door de leverancier bewaakt wordt. Dat wil zeggen is er een onderhoud en beheer of een signaleringssysteem voor wanneer het systeem niet voldoet aan de voorgestelde opbrengst?
- Wordt er voor de installatie van warmtepompen een goede capaciteitsberekening gemaakt op basis van een redelijk verwarmde woning. Wanneer de woning later wordt verkocht aan mensen die een grotere warmtebehoefte hebben kan het systeem dat dan leveren?
- Bij warmtepompen en PVT moet de elektrische capaciteit voor de bijverwarming aangegeven.
- De offerte van PVT moet een legplan en de posities van de panelen op het gebouw aangeven.
- Alle systemen hebben onderhoud nodig (vaste en variabele kosten?), ook systemen met weinig onderhoud zoals warmtepompen en PVT.
- Zijn de installateurs verbonden aan een branchevereniging en klachten systeem?
- Hoe zit de verzekering van het systeem of het installatiebedrijf in elkaar?
- Vanwege de grote vraag naar de verschillende systemen kunnen de levertijden uitlopen. Wordt hier rekening mee gehouden en worden er beperkingen aan gesteld?
- Is er een opgave van de BTW en de subsidies?

15. Komen er bij deze kosten ook nog extra isoleringskosten als kosten voor de woningeigenaar?

Om een precieze warmteberekening te maken blijft ingewikkeld, omdat het bewonersgedrag in belangrijke mate uitmaakt wat het energieverbruik is in een woning. Isolatie, ventilatie, installaties, het klimaat en het aantal bewoners en dat bewonersgedrag zijn componenten van de berekening.

Twee zuinige bewoners zouden een kleiner systeem kunnen aanschaffen dan een gezin met vier kinderen. Het aan te schaffen systeem zou voor beide categorieën moeten kunnen voldoen. Installatiebedrijven kunnen/moeten daar rekening mee houden en de mogelijkheid toelichten. Wanneer de woning over 10 jaar verkocht gaat worden is een systeem met voldoende capaciteit voor een groter gezin relevant. Het prijsverschil tussen een 6 kW en een 7kW warmtepomp is niet zo groot.



Figuren 27. Warmtepompen units op een schuin dak en de aanvullende apparatuur op zolder.

Rechtsboven: Decorio. Bij een buitenunit op het dak moet voor onderhoud een monteur komen en zijn extra veiligheidsregels van toepassing. Er is ook de EQ-Air (26 dB, dus heel stil) en de Econex schuin dak unit.

Rechts: Horizontale positie van een warmtepomp. Er komen regelmatig nieuwe modellen op de markt.



Het is voor een leek soms moeilijk is om een juiste of duurzame keuze te maken, wanneer deze keuze beperkt is door de plaatselijke leveranciers. Goede informatie van de overheid en onafhankelijke organisaties kunnen de woningeigenaar begeleiden in deze keuzes.

Door het vragen van offertes van aannemers of installateurs zal de woningeigenaar meer informatie krijgen, maar gedetailleerde offertes van complexe producten zoals een warmtepomp of een balansventilatie met WTW, vereisen vaak een betaling. Deze betaling zal dan als korting wordt berekend wanneer voor de uitvoering door die aannemer of installateur wordt gekozen.

16. Warmteopslag en batterijopslag

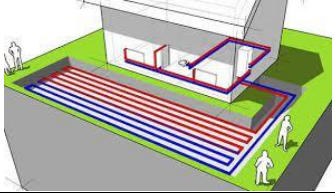

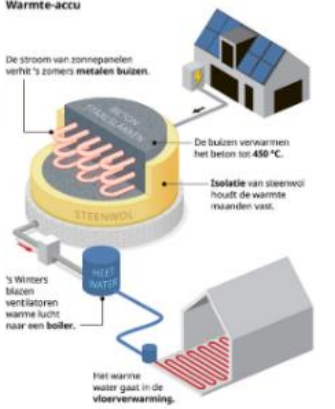

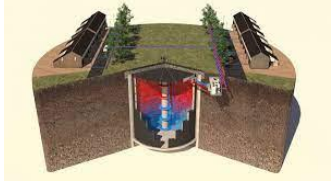

Alle warmtepompen zullen bij een lage buitentemperatuur meer elektriciteit vragen. Op wijkniveau zijn dat flinke belastingen voor het elektriciteitsnetwerk. In de vroege avonduren wanneer het kouder wordt en men gaat koken en de verlichting aan gaat doen, ontstaat er dan een piekbelasting.

Met een wijkgebonden batterijopslag kan overdag via vele PV-panelen op de daken stroom worden opgeslagen en in het begin van de avond worden terug geleverd. Dit moe op wijkniveau met de energieleverancier worden ontwikkeld en is specialistisch werk dat grote investeringen vergt.

Woningeigenaren met veel zonnestroom-productie kunnen ook zelf batterijsystemen aanleggen. Met het aflopen van het salderingssysteem na 2025 en de invoering van capaciteitstarieven kunnen de pieken en dalen in de woonwijk worden opgevangen en energie verkocht aan de netbeheerder als de terug-lever-tarieven hoog zijn. www.Zonneplan.nl met de Nexus thuisbatterij heeft een economisch interessant model; gebonden aan een specifieke stroom leverancier.

Via wijk gebonden grootschalige warmtepompsystemen kan langdurige (tussen zomer en winter) warmteopslag gerealiseerd worden, waardoor een gedeelte van de warmtevraag voor de winter gerealiseerd kan worden. Dit zijn echter grootschalige en kostbare installaties. Er zijn verschillende opties mogelijk voor de woningbouw, maar vereisen allemaal veel ruimte per woning of op wijkniveau voor groepen woningen.

#	Systeem	Schaal	Observaties	Afbeelding
---	---------	--------	-------------	------------

1	Gesloten opslagsysteem (bodemplus of korf spiralen)	Per woning. voldoende ruimte; geen bomen (wortels).	Dicht bij elkaar liggende lussen zullen elkaar beïnvloeden. Bodemplussen moeten in de zomer met LT- warmte op temperatuur gebracht. Interessant voor vrijstaande villa's met (gras)velden die > 2 x woonoppervlak zijn. Kan ook voor clusters van woningen.	
2	Gesloten opslagsysteem (Waterzak of Hydrobag)	Per woning met een erg grote kruipruimte of kelder.	De Hydrobag is gevuld met water. In combinatie met een warmtepomp en/of zonnecollector. Voldoende zonneboiler capaciteit nodig. In de winter kan gebruik worden gemaakt van een back-up, zoals een warmtepomp of Cv-ketel. Bij bestaande bouw moet er veel kelderruimte beschikbaar zijn, en de grote zak ingebracht kunnen worden. Soms rendabel bij individuele woningen en eenvoudige installatie.	
3	Open opslagsysteem Warmte Koude Opslag (WKO)	Individueel als collectief vanaf 100 woningen	Goed toepasbaar op basis van WKO. De WKO wordt in de zomer op temperatuur gebracht met veel laagtemperatuur-warmtebronnen zoals veel zonneboilers en veel PV/elektra.	
4	Open opslagsysteem WKO Basalt of hoogoven-ijzer slakken en grind	Tientallen woningen. Kan ook boven de grond in gebouw.	Overtollige of laag tarief elektriciteit in de zomer van zon en wind wordt omgezet in hoog temperatuur warmte. Deze wordt opgeslagen in basaltgruis/blokken of in een mengsel van beton en gemalen (hoogoven) ijzerslakken. Door de hele opslag lopen de afgifte leidingen.	
5	Open opslagsysteem WKO met PCM Phase Changing Materials (zout)	Een of meer woningen. Neemt veel plaats in.	PCM's zijn materialen waarvan de faseverandering van vast naar vloeibaar wordt gebruikt om warmte op bepaalde temperatuur op te slaan. Met PCM's kan meer warmte per m ³ worden opgeslagen dan het basalt systeem. Het spaart dus ruimte in vergelijking met water #2 of #4. De PMC's zijn in ontwikkeling en worden mogelijk rendabel.	
6	Ecovat	Collectief vanaf ca. 500 woningen	Kansrijk met PV-collectoren en luchtwarmtepomp. Dit type opslag dient in de zomer op midden/hoge temperatuur gebracht te worden. Hoe groter het volumen, hoe meer woningen erop aangesloten kunnen worden.	
7	Hot Cold Storage	Collectief	Dure toepassing; mogelijk afhankelijk van budget. Kan op verschillende schalen worden uitgevoerd. Kan bijvoorbeeld waarbij er bovenop sportvelden worden aangelegd. Proefproject in Nagele is niet rendabel.	