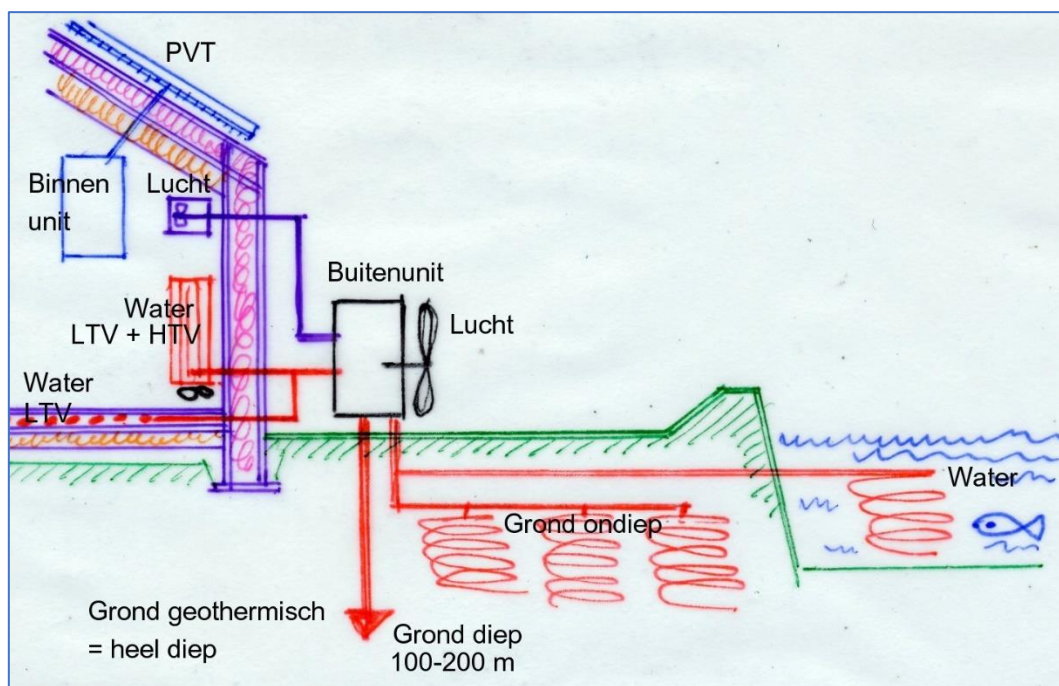


Warmtepomp voor het verwarmen van woningen Een overzicht met voor- en nadelen



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 (kanaal, meer), Grond-Water (ondiep en diep), met de voordelen en nadelen en uitgebreide observaties. Betekenissen. COP, SCOP, Laag Temperatuur Verwarming (LTV) en Hoog Temperatuur Verwarming (HTV). Koelvloeistoffen en GWP, R290. Geluid van buitenunits, PV-Thermisch en keuze van woningaanpassing. Berekenen van het nodige vermogen. Offertes beoordelen. Warmteopslag.

Inhoud

1.	Inleiding.....	4
2.	Een warmtepomp voor de verwarming van de woning	5
2.1.	Welke keuze?	6
2.2.	Kapotte gas-Cv.....	7
2.3.	Planning.....	8
3.	De verschillende keuzes van aanpak.....	12
3.1.	De woning is meer dan 50 jaar oud.	12
3.2.	De gas-CV is minstens 15 jaar oud.	12
3.3.	De gas-CV is ongeveer 10 jaar oud.....	13
3.4.	Een hybride warmtepomp systeem.	13
3.5.	Split-unit of Monoblock.....	13
3.6.	Laagtemperatuur- of hoog-temperatuur systeem.....	14
3.7.	Het All-electric systeem.....	14
3.8.	Kleine warmtepomp met airco back-up.....	14
3.9.	PVT-systeem.....	15
3.10.	Bodemwarmte pomp of open water warmtepomp.	15
3.11.	Voor alle warmtepompen systemen.....	16
4.	Overzicht meest voorkomende warmtepompen systemen.	16
	Observatie 1. COP.....	20
	Observatie 2. Bodemwarmtepomp oppervlakkig.	20
	Observatie 3. Bij een diep en open systeem.....	21
	Observatie 4. Opgave van COP.....	23
	Observatie 5. Temperatuurverschil.....	24
	Observatie 6. Warmtepompboiler.	24
	Observatie 7. Airco-systeem Lucht-Lucht.	26
	Observatie 8. Gemeenschappelijke warmtepomp.	26
	Observatie 9. Het buffervat.....	27
	Observatie 11. Doorstroom boilers.....	27
5.	Het koudemiddel of koelmiddel.....	27
	Observatie 12. Koudemiddelen.....	27
6.	Het PVT-systeem.	29
7.	Berekening vermogenscapaciteit All-electric warmtepomp.....	31
7.1.	Uitleg van de berekeningen.	33

7.2 . Berekening vermogenscapaciteit van Hybride warmtepomp	34
8. Radiatorventilator	36
Observatie 11. Het afgiftesysteem.....	37
9. Warmte-afgifte radiatoren berekenen	37
Observatie 12. Het watervolume.	41
Observatie 12. De Cv-waterpompen moeten energiezuinig zijn.	41
9. De Hybride warmtepomp (combinatie)	42
10. De hoge-temperatuur verwarming (HTV) warmtepomp	43
11. Subsidie op warmtepomp, warmtenet en zonneboiler.	44
12. Algemene opmerkingen m.b.t. de warmtepomp	45
13. Offertes van aannemers of installatiebedrijven.	49
14. Extra kosten voor de woningeigenaar?.....	49
15. Warmteopslag en batterijopslag.....	50

Afkortingen.

BENG. Bijna EnergieNeutrale Gebouwen

COP. Coëfficiënt of Performance

GWP. Global Warming Potential

LTV. Laag Temperatuur Verwarming tot 35°C

K. Kelvin. Een graad Kelvin is een graad temperatuur.

kWh. kiloWattuur = 1000 Watt/uur. Energie-eenheid, vermogen per tijdseenheid.

HRF. Hoog Reflecterende Folie zoals radiatorfolie of Tonzon.

HTV. Hoog Temperatuur Verwarming 55°C tot 75°C

TCO. Total Cost of Ownership.

TVT. Terugverdientijd.

WPB. WarmtePompBoiler

WTW. Warmte Terug Winning, voor douche of lucht.

ZB. Zonneboiler

Het huidige document is aangepast aan de hand van de vele vragen die ik van bewoners kreeg over de mogelijke aanschaf van een warmtepomp.

1. 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 aardgas¹ of pelletkachels op biomassa²) 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 en de warmtewisselaar in de douche.³

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 ook minder stroom verbruikt dan een groter vermogen warmtepomp. Die isolatieverbetering kan ook in fasen of per kamer. Ook kan het warmteafgifte systeem (radiatoren) aangepast worden, want Laag Temperatuur Verwarming (LTV 35°C) is meer energie-efficiënt dan een hoog temperatuur (HTV) afgiftesysteem. Veel koudemiddelen met een GWP groter dan 150⁴ 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 (de temperatuur van het radiatorwater), terwijl met lage lucht temperaturen de COP van een Lucht-Water warmtepomp snel daalt. Bij een bodemwarmtepomp is dat niet het geval.

Een All-electric warmtepomp heeft ongeveer 50% van de verbruikskosten van een gas-Cv, dat wil zeggen zonder de afschrijving. Een (diepe) bodemwarmtepomp heeft ongeveer 30% van de verbruikskosten van een gas-Cv, dat wil zeggen zonder de afschrijving.; Een bodemwarmtepomp is vaak wel tweemaal zo duur als een All-electric warmtepomp.

Wanneer men een nieuwe gas-Cv heeft dan is vaak een Hybride warmtepomp (die als het koud wordt overschakelt op gas) een systeem dat een lage initiële investering vraagt. In de loop van de tijd kan men de woning dan bij-isoleren zodat later de gasaansluiting verwijderd kan worden.

¹ Het aardgas kan worden bijgemengd met waterstof dat bij overcapaciteit van wind- en zonneparken in de toekomst steeds meer geproduceerd gaat worden. In de eerste plaats zal dat waterstofgas voor de industrieën zijn. Overcapaciteit van hernieuwbare wind- en zonne-energie zal in de toekomst ook elektrisch per dag opgeslagen kunnen worden, waarbij bufferbatterijen per woningwijk de energievraag tijdens de avondpieken kunnen gaan opvangen. Ook kan slimme sturing op apparaten het energieverbruik economische regelen.

² Pelletkachels op biomassa zijn wel energie-efficiënt, maar niet noodzakelijk milieuvriendelijk. De hergroei van biomassa loopt ongeveer 50 tot 100 jaar achter met de uitstoot van de CO₂ door de verbranding.

³ Zie meerdere documenten op www.nienhuys.info. Voor deze twee opties zie het documentje *WTW-Douche* en het document *Ventileren van Oudere Woningen* op die website.

⁴ Het Global Warmte Potentieel is de CO₂-belasting die een koudemiddel geeft op het milieu. De nog veel toegepaste R32 heeft een GWP van 675, wat betekent dat het 675 maal zo belastend is als CO₂. Ook deze types warmtepompen zullen per 2027 niet meer worden geproduceerd.

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 (prijs)kaartje. Voor de initiële investering en voor het gebruik. Slechts door beter te isoleren, energiezuinig te ventileren met een WTW, een WTW in de douche, en de temperaturen in de woning laag te houden, worden de beste economische maatregelen bereikt.

Vooraf goed isoleren is een duurzame maatregel die ook de meerwaarde van een woning verhoogd. In dat geval wordt de investering minstens tweemaal terugverdiend, gedurende het gebruik op de energierekening en eenmaal in haar geheel bij de verkoop van de woning. Een slimme, zuiniger installatie is vaak mogelijk, maar installaties zoals buiten geplaatste warmtepompen met motoren gaan maar tussen de 20 en 30 jaar mee, terwijl isolatie zolang meegaat als het gebouw. Warmtepompen die het hele jaar draaien en tegelijkertijd als de woningverwarming ook voor het warme tapwater zorgen en eventueel koelen in de zomer slijten minder dan installaties die een half jaar uitstaan, en gaan dus twee keer zo lang mee.

2. 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 nog betere isolatie én duurzame energieopwekking gerealiseerd kan worden. Het economische effect hangt af van de elektra en de gasprijs. De elektrakosten hangen af van de wisselende tarieven en de onbalansmarkt (dag/nacht/weekeinde), of je zelf stroom opwekt, of er (nog) saldering is, of dat je een batterijsysteem hebt.

Wanneer over een paar jaar⁵ de HR-Cv-ketel⁶ vervangen moet gaan worden (15-20 jaar nuttige leeftijd maximaal) kan de woning op tijd geschikt gemaakt worden voor een nieuw en energiezuiniger verwarmingssysteem, eventueel gecombineerd met een balansventilatiesysteem met WTW (WarmteTerugWinning)⁷.

Zelf opwekken van energie kan met PV-panelen (elektra) en zonneboiler (warm water).

⁵ Als per 2026 een Cv-ketel vervangen gaat worden, dan moet dat een duurzamer systeem (warmtepomp) worden dan de gas-CV. Dat kan een hybride systeem zijn (elektra + gas als het koud wordt), maar de voorkeur gaat uit naar een ALL-electric systeem, want een hybride Lucht-Water warmtepompsysteem gaat over op gas wanneer als het minder dan 0°C of -5°C wordt, waarbij het energetisch rendement van het systeem sterk daalt.

⁶ De HR-Cv gasketel verbruikt aardgas en daarmee hoofdzakelijk fossiele energie en heeft een flinke CO₂ uitstoot. De Lucht-Water 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. Om overbelasting op het stroomnet te verminderen wordt eraan gedacht om te voorkomen dat vanaf 18:00 uur tot 23:00 uur de (All-electric) warmtepomp of de elektrische auto in die periode niet wordt opgeladen.

⁷ 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.

Efficiënte verwarmingssystemen hebben een LaagTemperatuurVerwarming (LTV) waarbij de Cv-watertemperatuur in het warmteafgifte systeem (radiatoren) maximaal 35°C is zoals bij vloerverwarming.⁸

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

Een matig geïsoleerde 140 m² hoekwoning⁹ met 2 personen verbruikt gemiddeld in 2020 ongeveer 1600 m³ gas/jaar of 16.000 kWh oftewel $16.000 : 140 = 114 \text{ kWh/m}^2 \text{ jaar}$. Dat ligt 50% boven de BENG norm en vereist een 8 kW warmtepomp voor de gebouwverwarming (een eenvoudige vuistregel is $1600 \text{ m}^3 \text{ gas} / 200 = 8 \text{ kW}$). Daarnaast moet de warmtepomp het tapwater verwarmen ($\approx 20\%$ extra). Dan komt de warmtepompcapaciteit inclusief de boiler/buffervat dus op 9,5 kW.

Om diezelfde woning met een 5 kW warmtepomp voldoende warm te krijgen bij -10 °C moet de gasconsumptie kleiner dan 1000 m³/per jaar zijn (exclusief koken op gas)¹⁰. $1000 \text{ m}^3 \text{ gas} / 200 = 5 \text{ kW}$. Inclusief tapwater verwarming is dat 6 kW. Dit kan bereikt worden door de woning beter te isoleren. Met een aparte tapwaterverwarming (grote zonneboiler of een aparte warmtepompboiler blijft het een 5 kW warmtepomp. Wanneer er een douche WTW aanwezig is kan het boilervat ook kleiner worden uitgevoerd (150 liter in plaats van 250 liter).

Het warmtepompsysteem bestaat al vele jaren; een koelkast of een airco zijn ook warmtepompen. De warmtepomp **concentreert** met 1 deel elektriciteit (COP = 1) in een gesloten gaskringloop de warmte uit de lucht, bodem, kanaal of grondwater en geeft 3 tot 4 delen warmte af. Het heeft daardoor een hoger rendement (COP 3 tot 4) dan een HR107-Cv ketel (COP = ongeveer 2,3) die aardgas verbrandt. Een bodemwarmtepomp kan een COP hebben van 7 tot 8.

2.1. Welke keuze?

Wanneer de huidige Cv-ketel oud begint te worden (15 jaar of ouder) dan kunnen de onderhoudskosten gaan toenemen. Het is de verwachting dat in de toekomst bij oude Cv-ketels de brander-unit vervangen moet worden voor een model dat beter werkt met toevoeging van waterstofgas in het gasnetwerk.

Zolang u een gas aansluiting heeft blijft u ongeveer € 300/jaar betalen voor de aansluiting. Dat is ook tenminste € 3000 in 10 jaar. Bij het overstappen naar een All-electric warmtepomp moeten die aansluitingskosten verrekend worden. Op de langere termijn is dan een All-electric warmtepomp voordeliger, vooral wanneer de gasprijs gaat stijgen, en de elektriciteit op de meest economische tijden kan worden gebruikt.¹¹

⁸ Bij een lagere afgiftetemperatuur zal voor dezelfde verwarmingscapaciteit een groter afgifte oppervlak nodig zijn. Vloerverwarming is zo'n optie, maar dat kan ook met andere radiatoren.

⁹ Een kleinere tussenwoning van 120 m² (minder geveleppervlak) zou met een gasverbruik van <minder dan 900 m³/jaar een 5 kW tot 6 kW kunnen volstaan, afhankelijk van de COP (minimaal 4) en de stooklijn (LTV).

¹⁰ Het woonoppervlak (vrije hoogte meer dan 150 cm) is meestal iets kleiner dan het gebruiksoppervlak dat door veel makelaars wordt gehanteerd. Gebruiksoppervlak is inclusief de lage gedeeltes onder een schuin dak.

¹¹ Bij een goed geïsoleerde woning is het niet direct nodig dat de warmtepomp pas 's middags op 17:00 wordt aangezet (hoogste elektrakosten).

2.2. Kapotte gas-Cv

Het is niet noodzakelijk om bij een kapotte gas-Cv een nieuw hoog-temperatuur warmtepomp-systeem of een hybride systeem (= elektra + gas) met een nieuwe HR-Cv aan te schaffen, wanneer de energieconsumptie van de woning boven de 75 kWh/m²/jaar ligt. Veel Cv-installatiebedrijven kunnen een tijdelijke (paar jaar) 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 bijvoorbeeld een mooie vloer 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 Rc 4 m².K/W (bredere vensterbank) en plaatsing van een Jaga of Henrad convectorradiator met ventilator. Dit kan ook in de convectorbak maar die kan ook dicht.

Bij een goede gebouwisolatie en LTV kunnen vaak de grote oude radiatoren blijven zitten en voorzien worden van radiator-ventilatoren voor een versnelde/betere warmteafgifte. Dit kan een optie zijn bij monumenten waar de grote oude radiatoren een onderdeel zijn van het gebouwwontwerp/stijl. Een voordeel van grote radiatoren is dat er meestal geen buffervat nodig is.

Een radiator ventilator verhoogt de warmteafgifte van een Type 21 en Type 22 radiator met ongeveer 35%. Voor oudere types plaat- of kolomradiatoren kan dat wat minder zijn.



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.

Met het moderne propaan koudemiddel (R290) kan desnoods ook met hogere watertemperaturen verwarmd worden (tot 65°C), maar dan loopt de efficiëntie van de warmtepomp wel wat terug. Bij de huidige gemiddelde winter kan dan een middelhoge radiator temperatuur ingesteld worden (40°C tot 55°C). Wanneer het onverhoopt -10°C wordt kan de stooklijn tijdelijk worden verhoogd naar 65°C.

Bij een bestaand afgiftesysteem met grote ouderwetste radiatoren kan gekozen worden voor een warmtepomp met R290 en een lage (35°C) stooklijn, een midden-temperatuur stooklijn en bij strengere vorst tijdelijk een hogere temperatuur stooklijn (55°C tot 75°C). Een LTV-vloerverwarming blijft de ideale oplossing en goede comfort, maar vereist meer afgifte oppervlak, en soms een rigoureuze verandering van de begane grond vloer.¹²

2.3. Planning

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 balansventilatie¹³ 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 -7 kW voor een gemiddelde woning (140 m²) kost in 2025 rond de 5.000 tot 8.000 euro (zonder aanpassing van de radiatoren). Een hybride systeem vereist een kleinere/goedkopere warmtepomp, waarbij de gas-Cv de verwarming overneemt als het gaat vriezen. Hierdoor zal het Hybride systeem meer verwarmingskosten hebben en je bent dan niet van het gas af (meer dan 300 €/jaar) en kost dus meer in het verbruik en is dus op de lange duur minder voordelig.

De meeste Lucht-Water warmtepompen hebben een Monoblok buiten die de warmte uit de lucht haalt en daarmee het radiatorwater verwarmd. Omdat bij lage temperaturen het systeem bevroert zal het systeem zichzelf regelmatig ontdooien door het warme water door de buitenunit te laten lopen. Het smeltwater loopt dan in de grond (of op het dak) weg. Deze cyclus vereist een buffervat als het watervolume in de radiatoren beperkt is. Door deze cyclus loopt de COP van het Lucht-Water monoblock snel terug bij vorst. Bij een bodem (gebonden) warmtepomp is de grondtemperatuur tussen de 10°C en 12°C en blijft de COP veel hoger dan de Lucht-Water warmtepomp.

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. Bij deze berekening heeft de woningeigenaar te maken met de afschrijving van de warmtepomp-installatie of de terugverdientijd (TVT) op hun energierekening. **De conclusie is dat er bij voorkeur 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 € 3.000 in 10 jaar. Deze bezuiniging moet meegeteld worden in de lange termijn begroting.¹⁴

¹² 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.

¹³ Balansventilatie is een mechanische ventilatie waarbij dezelfde hoeveelheid lucht in- en uitgaat (balans). Zie ook het document 'Ventileren van oudere woningen' op www.nienhuys.info

¹⁴ Sinds 2023 is het afsluiten van het gas door de energieleverancier gratis (overheidsregeling).

In de onderstaande eerste berekening is een warmtepompinstallatie gekozen die bruto € 12.000 kost en in de tweede berekening een die bruto € 8.000 kost. De terugverdiëntijden (TVT) zijn zonder de afschrijvingskosten van de installatie. Wanneer de gasprijs omhooggaat (erg waarschijnlijk) gedurende deze 20+ jaar zal de terugverdiëntijd verkorten. In de berekening van de All-electric is meegenomen dat de gasaansluiting vervalt.¹⁵

De berekeningen zijn zonder de bijkomende kosten (b.v. 3 fasen aanleg 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
Terugverdiëntijd warmtepomp in jaren	Aantal jaar	9	10	10	11	12	14

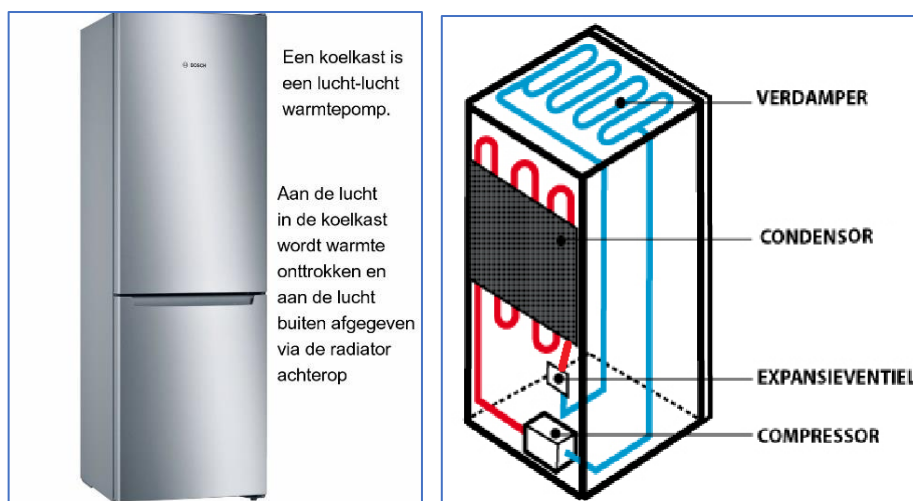
UITKOMSTEN ALL ELECTRIC WARMTEPOMP	Grootheid	Waarde					
Aanschaf en installatie warmtepomp	Euro	8000					
ISDE subsidie warmtepomp	Euro	2400					
Eventuele overige "meevallers"	Euro	0					
Extra onderhoudskosten per jaar	Euro	0					
Vermeden vervangingskosten gasketel	Euro	1867					
Benodigde aanvoertemperatuur 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
Terugverdiëntijd warmtepomp in jaren	Aantal jaar	5	6	6	6	7	8

¹⁵ De tabel is indicatief en vergelijkt de twee principes. In de praktijk kan de aanleg van warmtepomp hoger zijn wanneer er meer bijkomende kosten zijn. Ook de benodigde ruimte voor de installatie is een belangrijk punt.

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 (meer dan 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, de buitenunit bij lage buitentemperaturen regelmatig kan ontdooien (rijp verwijderen) en niet steeds aan- en afslaat (dat veroorzaakt slijtage). Het buffervat kan ook voor het warme tapwater zorgen.

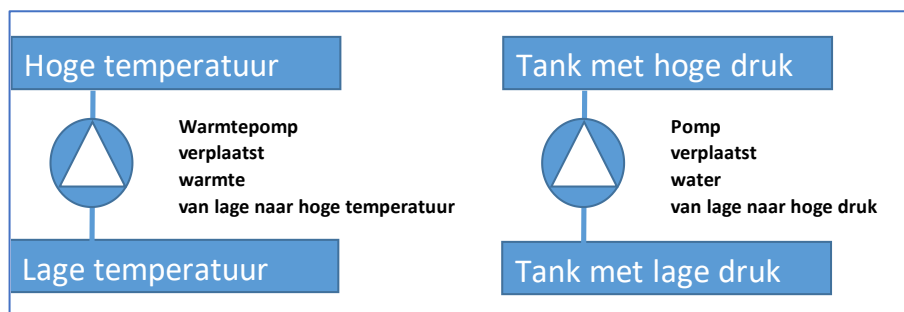
Bij de toepassing van een zonneboiler zal het tapwater voorverwarmd worden, voordat het wordt bij-verwarmd door de warmtepomp, waardoor er minder elektrische energie nodig is. Bij de toepassing van een WTW op de douche zal het warme afvalwater het koude aanvoerwater voorverwarmen waardoor er tot 40% minder heet tapwater nodig is.¹⁶ 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 worden¹⁷.



De gebruikte warmte (omgezette elektriciteit) van het pompsysteem blijft in de leidingen zitten en gaat dus niet verloren. Bijna alle warmtepompen kunnen verwarmen én koelen¹⁸. Wanneer je 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.

Figuur 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.



¹⁶ Zie documentje *Douche WTW* op www.nienhuys.info

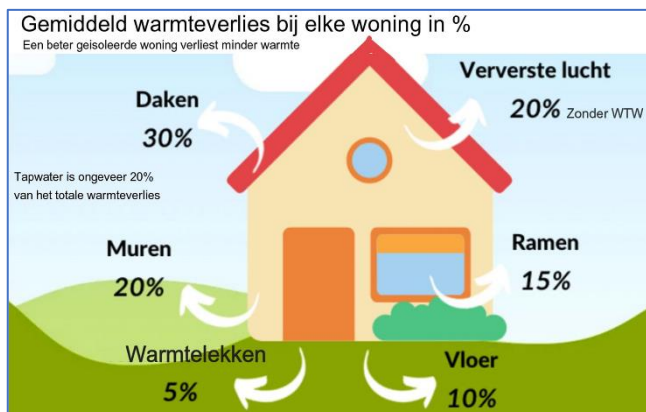
¹⁷ Zie documentje *Koelkast ventileren* op www.nienhuys.info

¹⁸ 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.

Bij een woning stroomt in de winter de warmte constant van binnen naar buiten¹⁹. Warmteverlies gebeurt hoofdzakelijk door infrarode (IR) warmtestraling (meer dan 65%) en de rest door convectie, contact en (mechanische) ventilatie zonder warmteterugwinning (WTW).

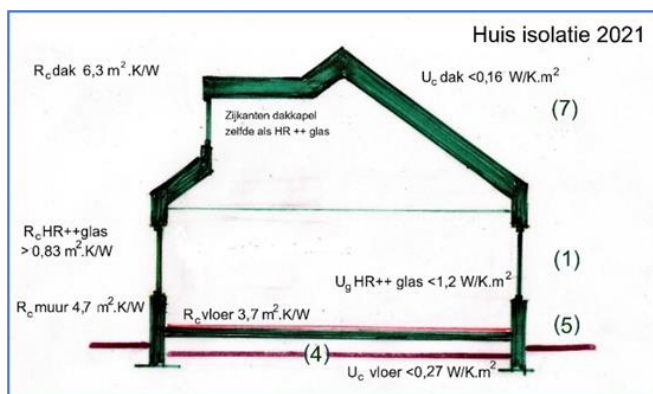
Door de woning goed te isoleren vertraag je het warmteverlies. Moderne isolatieruiten (HR⁺⁺) hebben een warmte-reflecterende coating (Low-E coating) die een groot gedeelte van de infrarode warmtestraling tegenhoudt. De ruiten zijn over het algemeen wel de minst isolerende oppervlaktes in de buitenschil van het gebouw²⁰. Het dak is vaak het grootste oppervlak van het gebouw. Bij hoekwoningen is de zijmuur van het gebouw een groot warmteverliesoppervlak.

Figure 5. Warmteverlies doorsnee woning. Bij een goed geïsoleerd gebouw zijn de percentages ongeveer hetzelfde, maar met een WTW op de ventilatie lucht wordt dat percentage kleiner dan 5%.



*Figuur 6. De **minimum** isolatiewaarden van een woning zijn in verhouding omgekeerd aan de verliezen. Het dak moet dan beter geïsoleerd zijn dan de muren en die weer beter geïsoleerd van de begane grond vloer.*

Voor de ramen, deuren en panelen is deze **minimum** isolatienorm erg laag. Dit houdt verband met de relatief hogere kosten per m² om die beter te isoleren.



Het is verstandig om de woning te isoleren tot minimaal de minimum-normwaarde voor nieuwbouw, maar voor de ramen/deuren van de meest verwarmde ruimtes is het gunstiger om Tripleglas toe te passen dat een tweemaal hogere isolatiewaarde heeft dan HR⁺⁺.

Het vervangen van een oude dubbelglas ruit ($R_c = 0,7$) met een HR⁺⁺ ruit ($R_c = 0,9$) kost netto €100/m² (bruto ongeveer 200/m²) en geeft een verbetering van slechts 25%.

Het vervangen van een oude dubbelglas ruit ($R_c 0,6$ tot $0,7$) met een Tripleglas ruit ($R_c 1,7$ tot $R_c = 2,0$) kost netto € 300/m² (bruto euro 400/m²) en geeft een verbetering van bijna 300%. Dus 6 x zoveel isolatie voor ongeveer tweemaal de kosten. De terugverdientijd is daarmee driemaal zo snel.

¹⁹ 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.

²⁰ Voor meer informatie over ruiten en glasisolatie zie document "101 Soorten Glas" op www.nienhuys.info

3. De verschillende keuzes van aanpak.

3.1. De woning is meer dan 50 jaar oud.

Woning 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 óp de ijzeren buizen en die gaan dan roesten**. In dit geval moet gekozen worden voor een warmtepomp Cv-systeem dat alleen verwarmd. Hierbij moet het warmte afgiftesysteem voldoende afgifte oppervlakte hebben.

Dat kan zowel met:

- (1) bestaande grote radiatoren²¹ als de woning na de oorspronkelijk bouw beter is geïsoleerd,
- (2) ventilatoren onder de bestaande radiatoren, deze werken het beste met plaatradiatoren,
- (3) nieuwe Jaga of Henrad convector radiatoren of,
- (4) LTV-vloerverwarming
- (5) een combinatie van deze opties. Bijvoorbeeld voor de woonkamer LTV-vloerverwarming en op de etage de bestaande radiatoren aanhouden.²²

Wanneer men wél wil koelen dan is het noodzakelijk om oude stalen leidingen te vervangen door kunststof leidingen en alleen een nieuwe LTV-vloerverwarming toe te passen.

3.2. De gas-CV is minstens 15 jaar oud.

Er kunnen binnen enkele jaren voor de Cv hogere onderhoudskosten komen 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 (capaciteit van een warmtepomp hangt af van (1) de gemiddelde stooktemperatuur (stooklijn), (2) de kwaliteit van de isolatie van het buitenoppervlak van de woning, (3) het ventilatiesysteem²³, (4) de hoeveelheid warm tapwater dat de warmtepomp moet leveren²⁴, en (5) de rekenmethode die de installateur gebruikt voor de berekening.²⁵ Bij deze optie is het verstandig om voor een All-electric systeem te kiezen zodat de gasaansluiting kan vervallen.²⁶

²¹ Wanneer er LTV-vloerverwarming wordt aangelegd zijn daar de oude radiatoren overbodig. Het is ook 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.

²² Op de etage is minder verwarming nodig omdat de vloer door het plafond van de benedenetage wordt verwarmd. Ook omdat de gemiddelde temperatuur daar lager is en er goed geventileerd moet worden.

²³ Dit ventilatiesysteem moet bij voorkeur een WTW hebben.

²⁴ Wanneer u een aparte warmtepompboiler heeft of een elektrische Nestore (Newton energy solutions warmte batterij) dan valt de berekening van de warmtepomp voor ruimteverwarming lager uit. Ook wanneer u een WTW op de douche heeft is er een kleinere tapwaterboiler nodig.

²⁵ Veel installatiebedrijven nemen een hoge binnentemperatuur aan voor de hele woning, inclusief een nog hogere temperatuur voor de badkamer, waardoor de capaciteit van de warmtepomp extra hoog wordt berekend. De slaapkamer hoeven meestal minder verwarmd te worden dan de woonkamer terwijl een dik kleedje in de badkamer meestal voldoende is. Eventueel een IR lamp voor kortstondige stralingswarmte.

²⁶ 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 dan wel de maandelijkse aansluitkosten.

3.3. De gas-CV is ongeveer 10 jaar oud.

Men heeft nog minstens vijf jaar de tijd voordat het echt noodzakelijk is om deze te vervangen. Er kan gekozen worden voor **All-electric ready**²⁷. 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.²⁸

Wanneer u binnen 10 jaar toch uit de woning gaat vertrekken (dan is de gas-Cv ook zo'n beetje op) dan is de All-electric hybride systeem een goede optie want het is een lage investering. De nieuwe bewoner kan dan de woning strippen en beter isoleren en van het gas afsluiten. Sommige warmtepompen zijn ook modulair. Dat wil zeggen dat er een extra unit aangebouwd kan worden voor een grotere capaciteit. Het is in zo'n geval handig om een modulaire eenheid aan te schaffen.

3.4. Een hybride warmtepomp systeem.

Deze optie is relevant wanneer men nog een vrij nieuwe gas-Cv heeft (maximaal vijf jaar oud). Bij deze optie zal de warmtepomp kleiner zijn dan bij All-elektric en voor 80% van de tijd de warmte leveren, inclusief warm tapwater. Wanneer het echter koud wordt (vorst en strenge vorst) dan neemt de gas-Cv het over. De gasaansluiting moet hierbij blijven bestaan (euro 300/jaar = euro 3000/10 jaar). Bovendien zal er tweejaarlijks onderhoud moeten plaats vinden (euro 150 tot 200). Er is ook de optie dat de warmtepomp slechts de LTV verzorgt en de gas-CV het warme tapwater. Omdat dit systeem de kleinste warmtepomp nodig heeft is het ook de goedkoopste oplossing voor de aanschaf.

De operationele- of gebruikskosten 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 gemeentes bevelen een hybride systeem aan om net-overbelasting te voorkomen.

3.5. 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 monoblok is relevant als er binnen **ruimtebeperkingen** zijn²⁹. Bij een split-unit is een binnenunit nodig, omdat niet alle componenten zich in de buitenunit bevinden.

²⁷ 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.

²⁸ 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 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.

²⁹ Het monoblok en PVT kunnen bij lage luchttemperaturen en luchtvochtigheid ijsafzetting krijgen (ijzel of rijp). Het systeem moet dan regelmatig tussentijds opwarmen waardoor de ijsafzetting verdwijnt. Dat kost wel warmte energie en er is een voldoende groot buffervat nodig om het mogelijk te maken.

De binnenunit maakt weinig lawaai (koelkast niveau), terwijl de nieuwste buitenunits ook steeds groter zijn en daardoor minder lawaai maken.³⁰

3.6. 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. De warmteafgifte van een radiator wordt 30% beter met radiator ventilatoren.

Wanneer men geen LTV-vloerverwarming kan/wil installeren zoals bij mooie vloeren of het ontstaan van hoogteverschillen³¹ tussen de verschillende vloerdelen, kan gekozen worden voor convectorradiatoren met radiatorventilatoren. Bij woningen van slechts 50 jaar oud komen vaak (te) dunne leidingen voor³² 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. Bij hybride systemen hoeft er weinig aangepast te worden omdat de bestaande gas-Cv een hoog-temperatuur verwarming heeft.

Wanneer u met oude radiatoren kiest voor een nieuwe all-electric warmtepomp met een R290 koelmiddel dan is het mogelijk om tijdens de erg koude dagen (tijdelijk) de stooklijn te verhogen tot wel 65°C (HTV). Dat is beperkt mogelijk met een koudemiddel R#@ en niet mogelijk met veel andere koudemiddelen.

3.7. Het All-electric systeem.

Wanneer met 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 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. Bij nieuwbouw wordt soms een LTV- vloerverwarming op de etage aangelegd. In dat geval is het belangrijk dat de toevoerleidingen geheel of gedeeltelijk dichtgedraaid kunnen worden.

3.8. Kleine warmtepomp met airco back-up.

Bij de berekening van een warmtepomp op basis van uw huidige (zuinige) gasverbruik met de formule m^3/jaar gedeeld door 200, dan zal de berekening van het installatiebedrijf hoger uitvallen.

³⁰ De Bosch Compress 5800i AW is een erg stille lucht-water warmtepomp. Met slechts 26 dB(A) op 3 meter is hij in 2024 stiller dan de stilste warmtepomp uit de laatste Consumentenbondtest. Met het natuurlijk koudemiddel R290 (propaan) haalt hij aanvoertemperaturen tot 75°C (hoog-temperatuur systeem).

³¹ 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.

³² 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.

Wanneer men dan voor een kleine warmtepomp kiest³³, 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 ververst de lucht niet en er is geen subsidie op, maar verwarmen de lucht wel snel. Een COP 4 tot 5 van een airco's is mogelijk. Een airco vraagt ongeveer 2 kW aan vermogen. Een airco die koelt in de zomer verwart daarmee ook de buitenlucht extra. Geen subsidie.

Bij de renovatie van een woning kan ervoor gekozen worden om alle radiatoren in de hele woning te verwijderen en slechts op de begane grond (woonkamers) een LTV-vloerverwarming aan te leggen. De slaapkamers op de eerste etage worden zonder vloerisolatie wel opgewarmd. Wanneer met dan toch extra warmte in de individuele slaapkamers wil hebben kan een airco een oplossing zijn.

3.9. 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 gewone PV aan te leggen. Die PV zit in de prijs van het PVT-systeem besloten. Het is door de extra PV wel een grotere investering, maar ook een duurzaam en een bijna geluidarm systeem dat ook geen buitenruimte (in tuin) vereist.

3.10. 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 in gebruik met een COP van 6 tot 8.

Bodemwarmtepompen kunnen ook in de zomer koelen zonder veel stroomverbruik want dan werkt hoofdzakelijk alleen de circulatiepomp.

Voor het installeren van een bodemwarmtepomp is ongeveer 50m² buitenruimte nodig per enkele boorput die ongeveer 6 tot 7 kW oplevert. Een 20 ton truck met boorinstallatie moet er dan goed bij kunnen. Bovendien moet de boorput (150-200 m diep) 5 m van de woningfundering en van de openbare weg vandaan blijven. Wanneer er meer capaciteit nodig is zal een tweede boorput minstens 8 tot 10 m verderop geboord moeten worden.

Vooraf voor de bodemwarmtepomp is veel en makkelijk van de weg toegankelijke buitenruimte nodig waarbij een eventuele nieuwe tuinaanleg extra kosten zullen zijn.

³³ 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.

3.11. Voor alle warmtepompen systemen.

Voor alle 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, buffervat, boilervat, aanpassen van de meterkast³⁴ en drie-fasen stroom³⁵. Er is beschikbare ruimte nodig voor binnen- (bodemwarmtepomp en buffervat en buiten installaties (bij lucht-water) op of naast het gebouw. Bij buitenunits moet vooral op de geluidsbelasting gelet worden. Het plaatse tegen hard oppervlak gevels of op hard oppervlak vloeren levert extra geluidsdruk op.

4. Overzicht meest voorkomende warmtepompen systemen.

Er zijn een zevental warmtepompsystemen, waarvan (B) de (buiten)Lucht-(binnen)Water warmtepomp het meeste voorkomt voor woningen. De efficiënte bodemwarmtepomp (E) komt voor bij alle groottes van 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 ³⁶	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 .
	Lucht-Lucht	Ventilatielucht . Aan de woninglucht wordt warmte onttrokken gedurende de ventilatie. Capaciteit tot 3kW. Inclusief boiler 5 kW.	Alleen een binnenunit. Werkt als airco inclusief tapwater verwarming. Geschikt voor kleine woningen.	Sterke luchtcirculatie. Beperkt warmtevolume van de binnenlucht, dus overstap op buitenlucht als bron. In winter moet soms bij-verwarmd worden. Lucht-Lucht is geen subsidie.
B	Lucht-Water	Onttrekt warmte uit buitenlucht en geeft die binnen af aan het	Gebruik bestaande LTV- vloerverwarming	Lagere COP bij koude .

³⁴ Sinds 2001 zijn installatiebedrijven verplicht de (draai)stoppenkast te vervangen met ingebouwde schakelaars, aardlekschakelaars. De kosten kunnen tot euro 1000 bedragen.

³⁵ Wanneer er met een warmtepomp slechts één fase is en elektrisch koken, dan zal de kookplaat een automatische stroomregeling moeten hebben die voorkomt dat er te veel stroom wordt getrokken. Alle kookpunten tegelijkertijd kunnen dan wel laag aanstaan, maar niet vol.

³⁶ De buitenlucht warmtepompen maken lawaai dat 's nachts tot minder dan 40dB beperkt moet blijven.

#	Buiten-Binnen	Werking WP	Voordelen	Nadelen
		Cv-radiatorwater. Werkt economisch op Lage Temperatuur-Verwarming.	of convectorradiatoren COP 3 tot 5	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 boiler vat. ³⁷ . Zal 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. Buffervat nodig. Bij langdurige stroomuitval kan zonder Glycol of kleppenregeling 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. Bevroren (veel ijsafzetting) van de buiten koellamellen afhankelijk van het gekozen systeem.
	Lucht-Water		Lagere operationele kosten dan Hybride systeem of Gas-CV. Lagere 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 bevrorend 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 buffervat/boiler en voor heet tapwater ³⁸ nodig. Opwarming tijdens nadeeluren elektriciteitstarieven tenzij batterijen aanwezig.
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 (gedeeltelijk geïmporteerd) gas en heeft dus een gasaansluiting (€ 300/jr).		

³⁷ Boilervat binnen kan opgewarmd worden d.m.v. driewegklep in het monoblok die bij tapwatervraag de warmte naar het boilervat stuurt. Overeenkomstig 3-wegklep bij HR-CV tussen radiatoren en tapwater.

³⁸ Bij een zonneboiler levert de warmtepomp voor de 7 zomermaanden de warmte voor het tapwater. Bij een WTW op de douche kan het boilersysteem kleiner worden berekend.

#	Buiten-Binnen	Werking WP	Voordelen	Nadelen
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 All-electric warmtepomp of PVT-systeem.		
Combinatie of integraal systemen ³⁹		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/ lucht Open systeem.	Grondwater 100-200m diep open ⁴⁰ systeem met binnen LTV. Twee pompen Er mogen niet te veel systemen vlak bij elkaar staan omdat ze elkaar via grondwater sterk beïnvloeden. Minimale afstand tot fundering gebouw 5 m onderling meer dan 10 m. Er is veel ruimte voor aanleg nodig.	Geen buitenlawaai. Beter rendement COP 6 tot 7. Weinig ruimte nodig voor de 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, en 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, vooral in waterwingebied.
	Grondwater-Water/lucht Gesloten	Grondwater 100-200m diep gesloten systeem met binnen LTV. Per boring. 4-6 kW/boorput. Afstand van fundering >5m onderling > 8 m. Warmte-koude opslag in de bodem mogelijk zonder grondwaterstroming.	Geen buitenlawaai. COP 6 tot 8. Weinig ruimte nodig bij werking. Veel ruimte voor boring nodig. Goed passief koelen. Geen reiniging nodig. Weinig invloed op de 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. Vaak vergunning plichtig bij gemeente.
F	Ultradiepe Geothermie. ⁴¹	Ultra diep geothermie (2-5 km), waar heet water (80°C - 180°C) wordt opgepompt. Altijd 2 boringen nodig.	Geen buitenlawaai Hoogste rendement COP 8 - 10 Mogelijk warmtenet.	Kosten tot € 3 Miljoen/km diepte. Diepste boring voor hele grote installaties, meeste kosten. Open of gesloten systeem. Risico's. Vaak gemeentegarantie nodig.
	Warmtepomp algemeen	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). Wanneer je de woning <u>niet kan verwarmen</u> met een CV-water temperatuur van ≈ 50°C dan is de woning en radiatoren nog niet geschikt voor een warmtepomp met LTV. 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. De buitenunit met ventilator moet in de winter vaak ontdooien en soms worden schoongemaakt (spinnen, bladeren). Geluidsbelasting is belangrijk, maar de warmtepompen worden steeds stiller (want grotere ventilatoren). 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.		

³⁹ Een nieuw voorbeeld is de integrale Stiebel-Eltron LWZ-5-8- C5 met ingebouwde lucht WTW.

⁴⁰ 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.

⁴¹ Zie: https://geothermie.nl/images/Handboeken/Geothermie_in_de_Gebouwde_Omgeving.pdf

#	Buiten-Binnen	Werking WP	Voordelen	Nadelen
		Voor een HTV-warmtepomp zijn er weinig woningaanpassingen nodig, maar deze is op hoge temperatuur tot duurder in gebruik dan een LTV-warmtepomp (dus onvoordeliger). Per 2027 worden hoofdzakelijk alleen het koudemiddel R290 en R410a nog toegestaan voor nieuwe warmtepompinstallaties kleiner dan 50kW. Ook het R32 koudemiddel wordt uit-gefaseerd. Voor de bodempomp wordt ook koudemiddel R454 en R454C gebruikt.		

Hoe hoger de COP (Coëfficiënt of Performance), en bij dezelfde temperatuur range, 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 én bij dezelfde minimumtemperatuur.⁴² Het is ook mogelijk om de SCOP te vergelijken; de Seizoensgebonden COP⁴³. De SCOP wordt over het hele jaar volgens de gemiddelde winters van de afgelopen jaren berekend.

Duurzaamheidsoverzicht verwarmingstoestellen

Aardwarmtelevering - verwarmingssteekkosten																
Groep	All-electric warmtepompen (COP zonder zomerkoeling)								elektra met gas	alleen (aard)g	Infra Rood	Houtstook				
Soort verwarming voor hele woning	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	openvuur*
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 van de woning. Dit is ook het principe van een PVT-

⁴² Opgelet. Niet alle merken geven precies aan wat de temperatuur range is van de COP of SCOP.

⁴³ 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. Dit wordt zelden aangegeven en daarom kunnen de SCOP-waarden niet goed met elkaar vergeleken worden. 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>

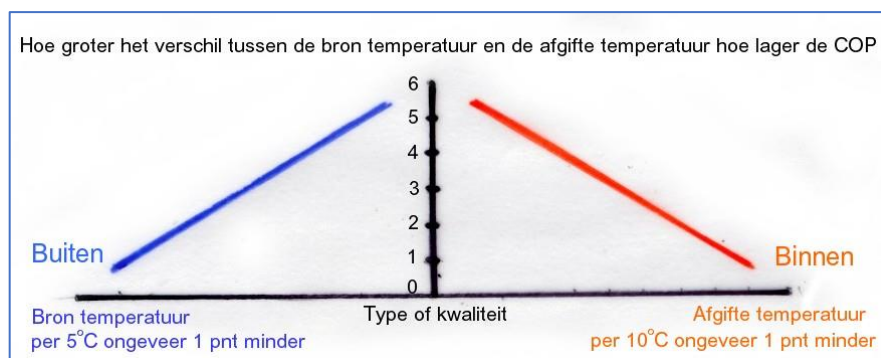
warmtepomp. Bij lage vriestemperaturen gaat de PVT echter elektrisch bij-verwarmen, en moet eventuele ijzel-afzetting tussentijds door verwarming verwijderd worden. De COP wordt hierdoor lager net zoals bij het monoblok.

Observatie 1. COP.

Bij een Lucht-Water warmtepomp kan de buitenlucht temperatuur soms 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 (50- 150 - 200 m diep)⁴⁴ 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 lager kan zijn. Voor grote gebouwen waar veel warmte-energie wordt gevraagd kan het grondgebonden systeem gunstig zijn. Om stadswijken (meer dan 1000 woningen) van warmte voorzien moeten worden kan soms de hele diepe geothermische boringen (systeem F) ontwikkeld worden.

Figuur 6. 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.



Observatie 2. Bodenvarmtepomp oppervlakkig.

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

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 zoals is aangelegd in de Meent van Hilversum.

⁴⁴ De kleinste boorinstallaties gaan 50 m diep, middenmaat 120 -150 m diep., en grotere kunnen tot 200 m diep. Voor de grotere diepte heeft dit ook consequenties voor de beschikbare buitenruimte voor die grote boorinstallaties met wateropslag en grondafvoer.



Figuren 7. 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.



Er zijn verschillende methoden voor de ondiepe bodemwarmtepompen. Links. Lange leidingen die lijken op de LTV-vloerverwarming systemen. Rechts. HDPE-leidingen onder een sportveld. Geen bomen!!

Bij slim elektriciteitsgebruik zullen WP's tijdens de piekuren uitschakelen zodat ze het net niet belasten⁴⁵. 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.⁴⁶

Observatie 3. Bij een diep en open systeem.

In het grondwater 150 - 200 m. Hierbij 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**. Open systemen zijn niet aanbevolen.

Kies daarom een bodemsysteem met een gesloten lus (diep of oppervlakkig)

⁴⁵ 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.

⁴⁶ 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.

Figuur 8. De gesloten bodemwarmtepomp haalt de warmte of koude uit de grond door water in de warmtewisselaar. Dat kan zout water zijn (brine) of water met glycol.

De diepte kan gaan tot 250 m. Kosten per boring € 7000 - € 15.000. Bij een bodemwarmtepomp kan exces warmte van zonnepanelen in de bodem worden opgeslagen voor gebruik in de winter. Bodemsystemen hebben een minimaal twee keer zo lange levensduur dan lucht-water warmtepompen.



Een bodemwarmtepomp 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.⁴⁷ Een diepe bodemlus (150 m- 180 m) heeft een warmtecapaciteit van 6-7 kW. Het aanleggen van een meer dan 150 m diepe bodemlus vereist grotere boor apparatuur. Tussen de lussen moet minimaal 8 tot 10 m liggen en ze moeten minimaal 5 uit de gebouwfundering of de straat worden aangelegd. Bij een bebouwing die dicht langs de straat staat of bij achtertuinen waar geen 20-tonner kan komen is de bodemwarmtepomp geen optie.

In veel gemeenten is voor een dieper gesloten bron systeem meestal slechts een melding nodig, en overleg om een paar dagen de weg te blokkeren met vrachtwagens. De gemeente doet dan geen onderzoek naar grondvervuiling. In Hilversum aan de rand van het Centrum hebben wasserijen gestaan die tientallen jaren bodemverontreiniging hebben veroorzaakt met chloorkoolwaterstoffen zoals PER (tetrachlooretheen) voor het reinigen van kleding.

De zwarte HDPE-leidingen (foto boven) van de warmtewisselaars zouden door deze chemicaliën aangetast kunnen worden. Het is dus de vraag in hoeverre de pluim van de grondvervuiling uitstrekt onder de bebouwing (waar de bodemwarmtepomp moet komen) en of het afval-boorwater dat bij de boringen wordt gebruik naderhand gereinigd moet worden. Als dat allemaal onzeker is dan is een diepe grondboring misschien niet de beste optie.

De diepe bodemwarmtepomp onttrekt haar warmte uit de zone waar het in eerste instantie gemiddeld 12°C is, maar daarna wordt de direct omgeving kouder. Hoe langer het onttrekken van die koude in de winter duurt, en hoe langzamer de diepe grondwater bewegingen zijn, hoe lager de temperaturen in de diepe grond zullen worden. Daarmee loopt dan ook de COP terug van 8 tot 6. Wanneer de bodemwarmtepomp in de zomer gebruikt wordt om te koelen is het omgekeerde het geval, maar voor de winter-verwarming zal het weinig uitmaken.



⁴⁷ 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.



Figuren 9. Vrachtwagens voor de boorinstallatie en opgerichte boorinstallatie. Na afloop moet de tuin weer opnieuw aangelegd. Zonder brede toegang kan ook tijdelijk de heg opzij geplaatst worden.

In 2025 is er ook een kleiner bodemwarmtepomp systeem op de markt gekomen door Geheco, www.geo-energie.nl die met een kleinere compacte boorinstallatie wordt aangelegd. Hierdoor is de aanleg goedkoper, maar deze gaat maar tot slechts 50 m diep. Door meerdere boorputten kan toch voldoende warmte geproduceerd worden. Toepassing met warmtepompen van Valliant, Nibe, Stiebel Eltron en Thermia en werkt samen met Itho Daaldrup. De hoge efficiëntie van een water/water- bodemwarmtepomp zorgt ervoor dat de investering van de bodembron binnen 10 jaar is terugverdiend. Die TVT is voor de meeste woningeigenaren te overzien. De kleinere boorinstallatie voorkomt dat de hele tuin overhoop wordt gehaald.

Figuur 10. Het systeem van Geheco.

“Centraal staat een polyethyleenbuis met een diameter van 32 millimeter. Die dient als warmtewisselaar, maar ook als ‘driveshaft’ om de bronboor de bodem in te brengen. Op de buis wordt een boorkop geplaatst die zich de grond ‘in vreet’ doordat middels waterjetting (waarbij water op hoge druk erin wordt gespoten, red.) hydraulische kracht wordt uitgeoefend. De grond die zo wordt weggeboord, komt door die buis naar boven om te worden afgevoerd.”



Observatie 4. Opgave van COP.

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 $+7^{\circ}\text{C}$ (buitenlucht temperatuur) en $+35^{\circ}\text{C}$ afgiftetemperatuur van het water in de radiatoren.

A-7/W50 betekent een aanvoertemperatuur van -7°C (vorst) en $+50^{\circ}\text{C}$ afgiftetemperatuur van het water in de radiatoren. Dit laatste is een midden-temperatuur warmtepomp.

Bij het vergelijken van warmtepompen moet altijd met de juiste A/W waarden vergeleken worden. Bij de hoog temperatuur warmtepompen worden ook de COP van de hogere temperaturen gegeven. De R32 koelmiddel warmtepompen kunnen goed tot een afgiftetemperatuur van $+45^{\circ}\text{C}$ komen. De feitelijke temperatuur in de radiatoren is meestal wat lager dan de afgifte temperatuur.

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 met werken bij -5°C en dan neemt **een intern elektrisch element de verwarming over**. Bij hybride warmtepompen gaat dan de Cv draaien.⁴⁸

Elektrisch bij-verwarmen (bijvoorbeeld bij sommige PVT-systemen) is erg inefficiënt (met COP 1) en zal het gemiddelde jaarrendement verlagen met 30%. Het vergelijken tussen de SCOPs van verschillende apparaten is daarom meer informatief als dezelfde jaren en regio's zijn gebruikt; dat laatste is zelden het geval.

Bij warmtepompen die kunnen koelen, zoals o.a. grondgebonden warmtepompen, wordt in de zomer de lage watertemperatuur (kleiner dan 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 (soms 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 hoger dan een Lucht-Water warmtepomp, én heeft men extra comfort door het koelen.

Observatie 5. Temperatuurverschil.

De warmtepomp werkt het beste wanneer het **temperatuurverschil tussen de bron en het afgiftegebied het kleinste is**, maximaal 35 graden. Warmtepompen werken het best op een LTV-systeem; hoe kleiner de warmtesprong (minder dan 40°Kelvin) is hoe hoger het rendement. Dit hangt ook af van het toegepaste koudemiddel. Daarom is de warmtepomp in principe minder geschikt voor middelhoog (hoger dan 40 tot 55°C) of hoog temperatuurverwarming (HTV zoals 65°C en hoger).

Sommige warmtepompen kunnen additioneel tapwater verwarmen met een boostersysteem. Het tapwater kan dus ook op een andere manier worden bij-verwarmd (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.

Het is ook mogelijk om een warmtepomp te hebben voor alleen de woningverwarming vanaf oktober tot mei, die dan uitstaat van mei tot oktober (minder slijtage). Naast de warmtepomp is er dan een warmtepompboiler die op buitenlucht werkt (met eigen ingang en uitgang) die voor het warme tapwater zorgt en het hele jaar draait. Wanneer die warmtepompboiler wordt gevoed via een zonneboiler hoeft deze in de zomer ook bijna niet te werken. Wanneer de douche een WTW heeft wordt de warmtevraag voor warm tapwater nog minder.

Observatie 6. Warmtepompboiler.

Een warmtepompboiler produceert een tapwater temperatuur van hooguit 55°C. De warmwater-leiding (naar mengkraan douche) levert dan meestal maximaal 50°C. Voor het warme douchewater (maximaal 38°C) is dan een beperkte hoeveelheid koud bijmengwater nodig (met grond temperatuur 12°C). Voor een gezin met vier personen die dagelijks veel warm douchen (of er een bad gevuld moet worden) is dan een grote voorraadboiler (200 liter) nodig.

⁴⁸ Deze warmtepompen kunnen wel met lagere temperaturen werken, maar de afstelling is dan zo dat de gas-Cv het overneemt. De afstelling van het temperatuurpunt waar de gas-Cv de verwarming overneemt van de warmtepomp kan door de installateur ingesteld worden.

De warmtepompboiler (WPB) of het boilervat van de warmtepomp verhoogt periodiek (bijvoorbeeld wekelijks) de tapwatertemperatuur tot meer dan 65°C om mogelijke legionella te voorkomen. Daarna koelt de boiler weer wat af (stilstand verlies).

WPB en direct gekoppelde zonneboiler (ZB). Een ZB heeft vaak een tussen-opslagvat en een pomp. Die ZB-pomp gaat pas draaien als de temperatuur buiten in de ZB hoger is dan in het tussen-opslagvat.⁴⁹

Figuur 11. Bij een gas-CV wordt het water uit het tussen-opslagvat verder verwarmd tot 65°C en is dus legionella-vrij.

De ZB zal gedurende de zomer het water vaak tot meer dan 75°C verwarmen, maar in de winter zal de opwarming van een gewone ZB zelden boven de 50°C komen. Wanneer de ZB zonder tussen-opslagvat direct aan de WPB is gekoppeld zal de ZB-pomp niet aanslaan. Zonder tussen-opslagvat heeft de ZB nauwelijks energetische meerwaarde want dan kan in de winter het leidingwater zelf via de ZB verder gekoeld worden.

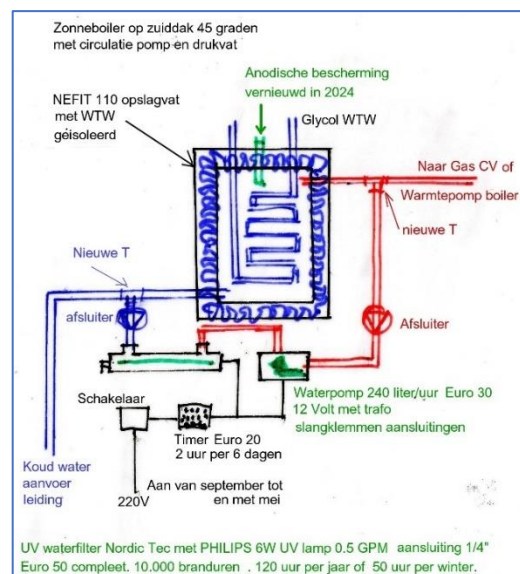


Voor de douche is een WTW op het afvalwater een grote energiebesparing (40%) op het warme tapwater. Met een douche WTW kan de warmtepompboiler ook kleiner worden uitgevoerd.⁵⁰

Echter, in de winter zou zich eventueel in de winter legionella kunnen vormen als dat in het drinkwater zit (onwaarschijnlijk)⁵¹. In dat geval zou dat ook in de 50°C boiler kunnen komen en in de douche.

Een optie is om ook het tussen-opslagvat een wekelijks legionella bescherming te geven door een UV-lamp en circulatiepomp. Door de pomp zo af te stellen dat deze een maal per week al het water van het tussen-opslagvat rondpompt wordt dat water bacterievrij gemaakt. Dat is in energie veel voordeliger dan het water periodiek op te warmen tot 65°C.

Figuur 12. De legionella bescherming tussenvat.



⁴⁹ Het tapwaterverbruik hangt af van het aantal douches per dag en per persoon. Dagelijks warm/heet douchen is ongezond; het droogt de huid uit (en kost veel shampoo en crèmes voor het herstel van de te droge huid). Voor mensen die géén 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. Met de aanwezigheid van een zonneboiler zal in de zomer de bijverwarming van het tapwater sterk verminderen. Dat is niet het geval in de winter want dan kunnen er weken zonder voldoende zonopwarming zijn.

⁵⁰ Zie document *Douche WTW met 4 opties* op www.nienhuys.info

⁵¹ Wel theorie, want in Nederland komt bijna nooit legionella voor in de drinkwateraanvoer.

Observatie 7. Airco-systeem Lucht-Lucht.

Bij een aircosysteem A (buitenlucht - binnenlucht) moet er **voor meer warmte ook meer lucht verplaats worden**. Dat kost energie en hierdoor wordt de COP wat lager. Dat kan ook grote luchtstromen en tocht veroorzaken. 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.

Geluid is een factor die belangrijk is. De meeste warmtepomp 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. Bij airco's is er per kamer een ventilatie unit nodig die met de leiding van het koudemiddel met de buitenunit is verbonden.

Airco's verversen de lucht niet, er moet dus wel op een andere manier geventileerd worden.

Bij het verwijderen van alle radiatoren (begane grond en etage) ten behoeve van een warmtepomp met LTV-vloerverwarming is het een optie om voor de etage een airco toe te passen, die dan slechts in extreme gevallen kortstondig wordt gebruikt voor verwarming of koeling.

Figuren 13.

In de situatie van de micro-warmtenetten in de Meent van Hilversum (afb. links) werd een boosterwarmtepomp binnen op zolder geplaatst en van daaruit een Airco binnen unit in de woonkamer als luchtverwarming. Afbeelding rechts.



De airco geeft door de luchtcirculatie een snel warmtegevoel.

Observatie 8. Gemeenschappelijke warmtepomp.

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).

In Hilversum Meent is er een gemeenschappelijke ondiepe bodem-warmtepomp (met hoog grondwaterniveau in de wijk). De bodemwarmtepomp circuleert het voorverwarmde water naar de zolders van de rij woningen, waar de individuele boosterpompen staan opgesteld en de boilers. Het na-verwarmde water geeft de warmte af aan de luchtventilator in de woonkamer.

De ervaring in 2024 van meerdere wijken, waar in het kader van de 'Van het gas af' regeling kleine gemeenschappelijke warmtenetten zijn aangelegd, is, dat de nieuwe oplossing meestal duurder voor de bewoners is dan de vroegere oplossing met gas-Cv's. Slechts wanneer de woningen ook betere thermische isolering kregen, was de nieuwe oplossing voordeliger. Deze problematiek heeft veel te maken met de berekeningswijze van de beheerder van het warmtenet of woningcorporatie.

Observatie 9. Het buffervat.

Een buffervat heeft vaak stilstand warmteverlies. In veel situaties is het verstandig om het buffervat extra bij te isoleren door het in air-bubble-folie in te pakken.

Figuur 14. 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 (moderne, dunne) plaatradiatoren en Jaga of Henron convectoren is een groter buffervat nodig om vaak aan-uitschakelen te voorkomen.

Met veel waterinhoud zoals bij dikke leidingen van oude woningen kan het buffervat kleiner zijn. De minimum waterinhoud van een verwarmingssysteem is 50 liter om te voorkomen dat het systeem steeds aan- en uitslaat.



Observatie 11. Doorstroom boilers.

Een elektrische doorstroomboiler (COP 1) is heel veel kleiner dan een warmtepompboiler (COP 3), maar kost veel meer stroom en ook directe stoom. Een doorstroomboiler heeft ook een zware elektrische aansluiting nodig. Om óór een WPB een elektrische doorstroom boiler aan te sluiten is in alle opzichten energetisch een slechte en dure maatregel. Doorstromers hebben geen stilstandsverlies maar vereisen een veel zwaarder (meer dan 9 kW) piekvermogen en vaak een driefasen aansluiting. Bij >6 liter/min van 60°C is een vermogen nodig van 3 x 25 Amp = 17 kW.

5. Het koudemiddel of koelmiddel

Vanwege het zeer hoge Global Warming Potentieel (GWP)⁵² 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 of propaan of koudemiddel R 290. Per 2027 zijn voor nieuwe warmtepompen onder de 50kW alleen nog R290 (dat zijn alle woonhuizen), CO₂ en R410a en R454 toegestaan. Ook de R32 wordt per 2027 niet meer gebruikt.

Observatie 12. Koudemiddelen.

De koudemiddelen zijn gassen die makkelijk expanderen en condenseren bij druk- en temperatuurverschillen. Bij het expanderen wordt de druk lager en veroorzaakt temperatuursdaling. Bij compressie gebeurt het omgekeerde. Hiervan wordt gebruik gemaakt bij de koelkast en de warmtepompen.

Dit Omdat de koudemiddelen schadelijk zijn voor het milieu en/of ontbrandbaar, mogen leidingen van de installaties alleen maar aangelegd worden door een gekwalificeerde installateur.⁵³ Een warmtepomp met minder dan 5 kg propaan (propaan of propeen = C₃H₈ = koudemiddel R290) valt niet onder deze F-gassen classificering en mag door elke installatiemonteur worden aangelegd. Het werken aan warmtepompen met meer dan 10 kg koudemiddel mag alleen door een gekwalificeerd installateur geschieden.

⁵² 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

⁵³ Zie: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/ozon-en-f-gassen/koudemiddelen/>

Het koudemiddel isobutaan (R600a met GWP 8) of **propaan (R290 met GWP 3)**⁵⁴ en R744 (CO₂) zijn vanaf 2025 de meest gebruikte koudemiddelen.⁵⁵ Propaan is een natuurlijk middel, maar is ontvlambaar. Een grote/zware warmtepomp (> 20 kW) met meer dan 5 kg propaan moet dan ook buiten (of op het dak) staan. De nieuwste monoblock warmtepompen hebben minder dan 5kg propaan en mogen ook binnen staan. Ook zijn er warmtepompen met extra brandbeveiliging.

Het GWP van CO₂ = 1 (R744), maar werk onder hoge druk (130 bar) en heeft een groot temperatuurverschil nodig.⁵⁶ Deze R744 warmtepompen kunnen makkelijk een hoog-temperatuur systeem (HTV) hebben. Echter door de hoge druk zijn ze in aanschaf duurder dan de lagedruk systemen zoals gebruikt bij de R290 koudemiddel systemen die ook met hoge temperatuur kunnen werken.

Nieuwe Europese richtlijn GWP kleiner dan 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](http://www.nibe.nl/nibe-f1255-12), van Nibe.

Onderstaand een vergelijking van de in 2024 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) ⁵⁷	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.

⁵⁴ Er komen steeds meer warmtepompen op basis van R290 op de markt. Andere koudemiddelen zoals het synthetische koudemiddel HFC R134a (met GWP 4470 en HFC 125 = GWP 1.430), **zijn verboden of uitgefaseerd**. Koudemiddel R410A heeft een GWP 2.088; deze en een aantal andere koudemiddelen **mogen per 2025 niet meer geproduceerd/geïnstalleerd worden**. Per 2027 worden koudemiddelen met GWP groter dan 750 verboden. <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/ozon-en-f-gassen/broeikasgassen-0/>

⁵⁵ Bij bodemwarmtepompen zit het koudemiddel niet in de diepe boorleiding. Die is gevuld met leidingwater en bij het risico van bevriezen met zout water of water met Glycol.

⁵⁶ Zie ook: https://www.linde-gas.nl/nl/products_and_supply/refrigerants/f_gas_regulation/index.html en <https://docplayer.nl/112803438-Info-voor-koudemiddelengebruikers-5-leidraad-voor-de-selectie-van-koudemiddelen-een-blik-op-de-koudemiddelen-van-de-toekomst.html>

⁵⁷ Dit heeft deels te maken met het marketingsysteem dat niet via groothandels en dealers loopt.

6. Het PVT-systeem.

Naast PV (Photo Voltaïc elektriciteit, zonnepanelen) systemen zijn er ook PVT (PV-Thermisch systemen) die aangesloten zijn op een binnen-warmtepomp⁵⁸ en die met de bovenliggende PV-panelen de meeste stroom voor die warmtepomp produceren.

Er zijn ook PV-Thermische warmtepompen met gevelpanelen. Deze panelen kunnen ook op de noordzijde van het dak gelegd worden (zonder PV). Het systeem hoeft niet ontdooit te worden en werkt tot -15°C.

Het PVT-systeem onttrekt 3°K aan de buitenlucht zonder ventilator. Door de afwezigheid van de buitenventilator is het systeem stil en slijt niet. Binnen wordt in de modulerende R290 warmtepomp een temperatuur geproduceerd van 60°C tot 63°C en is dus geschikt voor HTV en boiler, maar LTV heeft een beter rendement. Het systeem heeft een thermische buffer/batterij die gebaseerd is op Phase-Changing Materiaal (PCM) met garantie van 10 jaar.

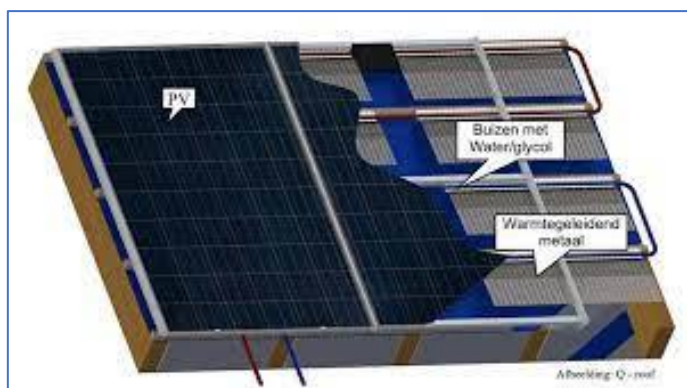
Deze batterij kan de energievoorziening gedurende 72 uur overbruggen. De PVT-panelen hebben ook een garantie van 10 jaar en een verwachte levensduur van minimaal 30 jaar. Op de installatie is een garantie van 7 jaar. Dat is meer dan dubbel zoveel als de meeste andere warmtepompen.

Voor de binnen-installatie, afmeting grote koelkast is wel ruimte nodig. De werking is geluidsarm met koelkastgeluid. De boiler kan verschillende afmetingen tot 300 liter hebben naar gelang het tapwatergebruik. Alle componenten zijn in Europa geproduceerd en eenvoudig vervangbaar.

Elektrisch bij-verwarmen is slechts nodig bij -10°C en heeft een COP 1 en is dus inefficiënt, maar dit komt zelden voor. Bij -5°C heeft het nog een COP van 3, wat meer is dan de meeste Lucht-Water warmtepompen bij dezelfde temperaturen.

Figuur 15. 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.



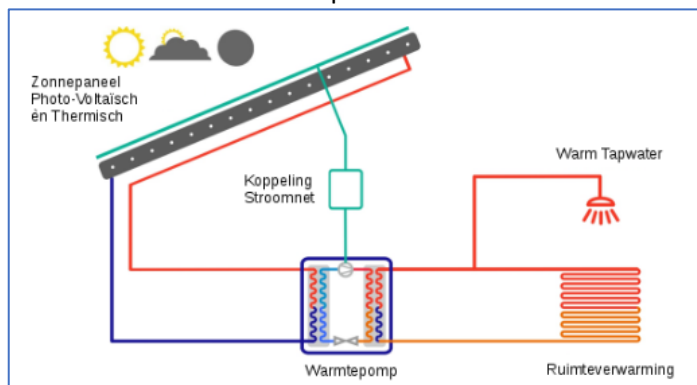
Het rendement van een PVT-systeem ligt hoger dan dat van de meeste andere warmtepompen, met een COP van 5,6 voor verwarmen en een COP 3,8 voor warm tapwater. Voor een ruime hoekwoning van ongeveer 150 m² en een A-label is een PVT-systeem nodig van ongeveer 8 kW of 10 PVT panelen. Voor een kleine geïsoleerde tussenwoning kan met slechts 4 panelen volstaan worden (foto na twee pagina's, rechts).

Per kW output is ongeveer 3m² PVT-paneel nodig. Een paneel van 177cmx107cm = **2m²**, een paneel 174cm x114cm = **2 m²** en een paneel van 211cm x 114cm = **2,4 m²** (alleen horizontaal, plat dak). Tussen de panelen is 4 cm, en langs de panelen is 20 cm nodig. Voor smalle daken of dakstroken zijn de grote panelen met de randstroken dus niet toepasbaar. De dikte van de panelen is 5 cm.

⁵⁸ Een voordeel van het PVT-systeem is dat er geen ventilator aan zit en daardoor geruisloos werkt.

Voor het inplannen van het aantal panelen op het dak zijn de afmetingen met de randen er omheen belangrijk. Verschillende PVT-producenten hebben iets verschillende paneelmaten.

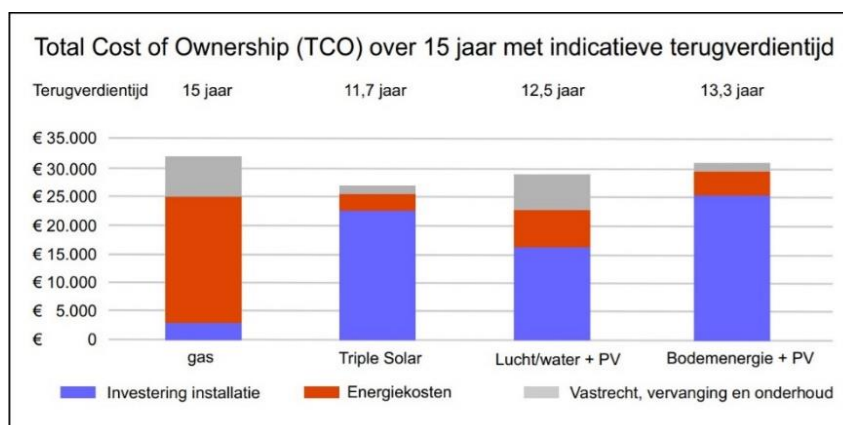
Figuur 16: Afbeelding Triple Solar. Binnen de woning is het pompsysteem, de warmtewisselaar en de aansluiting op tapwater en woning verwarming. Het geluidsniveau is erg laag vanwege het ontbreken van de buitenventilator. De binnen-unit geeft weinig geluid.



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 R290 warmtepomp.
- ✓ Geen ruimte in de tuin of tegen het huis nodig voor de buitenunit.
- ✓ 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 soms driehoekige aansluitstukken geleverd worden zodat het een aaneengesloten beeld op het dak geeft.
- ✓ De BTW-teruggave voor PV-panelen is alleen van toepassing wanneer u niet eerder BTW-teruggave op PV-panelen hebt gehad en u dus in de KOR zit (Kleine Ondernemers Regeling van de belastingdienst).
- ✓ De thermische panelen (glycol gevuld) 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 17. De Total Cost of Ownership (TCO) uit 2020 laat zien dat het PVT- systeem (van Triple Solar) 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.



Triplesolar.⁵⁹ Bij een rijtjeswoning en 6 panelen zijn de all-in installatiekosten ongeveer € 20.000 tot € 30.000.

⁵⁹ <https://triplesolar.eu/> Ook verschillende YouTube filmpjes zijn beschikbaar. Deze informatie is door Triple Solar aangeleverd. Het is mogelijk dat bij de berekening niet de zuinigste alternatieve systemen werd gekozen. De grafiek geeft daarom slechts een indicatie.

Toelichting Grafiek uit 2022. Een 8 kW PVT-systeem op een zuidelijk dak met 45 graden helling kost € 30.000 inclusief warmtepomp, PVT-panelen, leidingen, thermische batterij, installatie kosten, etc., exclusief de subsidie.⁶⁰

Deze grafiek van TripleSolar vergelijkt met een gas-CV met elektriciteits-aansluiting. 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. 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 ondiep systeem is een groot grondoppervlak nodig en bij een diep systeem zijn de kosten hoger. Dit verschil is niet aangegeven.

De grafiek geeft wel aan dat de drie warmtepompsystemen een hogere investering vereisen, maar de gebruikskosten lager zijn dan bij een gas-Cv.

Bij lage buitentemperaturen kan er rijp optreden op de warmte-absorptie panelen onder de PV wat de warmte uitwisseling vermindert. Dit heeft geen schadelijke gevolgen voor het systeem maar de thermische prestatie vermindert dan ongeveer 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 18. Links. Van Triple Solar. Rijp op PVT. Bij deze foto zijn de verbindende leidingen te zien. Bij de planning voor de beschikbare ruimte moet met die leidingen rekening gehouden worden. Rechts. Op de linker tussenwoning vier panelen Triple Solar. Op de rechter woning gewone PV en airco.

7. Berekening vermogenscapaciteit All-electric warmtepomp

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 (€ 400 - € 500). 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.

⁶⁰ De subsidie is afhankelijk van het geleverde vermogen van de warmtepomp en als deze minimaal een A+ label heeft. Voor een basis PVT is € 4.425 subsidie. Een PVT op een noordelijk dak is wel mogelijk, maar dan levert de PV daarvan weinig energie op.

- Bepaal het gemiddelde jaargebruik in m³ gas van de woning, inclusief tapwater verwarming (gemiddeld ongeveer 20%, inclusief koken).
- Verminder het verbruik met 100 m³gas/persoon voor tapwater-verwarming of bereken het. Een enkele warme douche van ruim 5 minuten kost ongeveer 1 m³ gas.
- Deel het resulterende gasverbruik door 200. Het resulterende getal is een goede indicatie van het aantal noodzakelijke kW van de warmtepomp.
- Vermenigvuldig het getal met 0,8 wanneer in het jaarverbruik ook het gasverbruik van koken op gas zit.⁶¹
- Wanneer de afgelopen winter gemiddeld zachter was dan het gemiddelde, vermenigvuldig dan met 0,9⁶². Resultaat is kW vermogen van de warmtepomp.
- Dit resulterende kW-aantal is de topcapaciteit bij een buitentemperatuur van -10°C.
- Wanneer u al zuinig stookt, bijvoorbeeld niet op de etage, dan kan een installatiebedrijf de berekening weer 20% hoger maken zodat er een reserve is. Echter, er moet voorkomen worden dat de warmtepomp te zwaar wordt berekend en gaat pendelen (aan en afslaan) want dat leidt tot extra slijtage. Wanneer een warmtepomp te krap wordt berekend dan staat deze vaak op topcapaciteit te draaien en kan dan gemiddeld wat meer lawaai geven.

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 m³ gas/jaar. Het netto gasverbruik zonder tapwaterverwarming en koken op gas is 1000 m³ gas/jaar. $1000/200 = 5 \text{ kW}$. Vermenigvuldigingsfactor 0,8 (van het koken) maakt 4,0 kW.

Een andere methode is de volgende:

A = het gemiddelde jaarverbruik van het gas in m³.

B = Het aantal personen in het gezin:

K = gemiddeld graden Kelvin temperatuurverschil tussen binnen en buiten bij 10 graden vorst.

W = Watt.

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] = $184 * 26 = 4784 \text{ W} = 4,8 \text{ kW}$*

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

$4800 \text{ W} + 200 [L] * 10 [W/L] = 6800 \text{ W} = 6,8 \text{ kW}$. Bij een WTW op de douche kan dit dan 5 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. Dit is dus ook ongeveer het aantal m³ gas/jaar : 200.

⁶¹ In de toekomst zal het koken in de vroege avonden niet samen mogen gaan met het draaien van de warmtepomp omdat dat een extra belasting van het elektriciteitsnetwerk oplevert. Er zijn mogelijkheden om de warmtepomp hoofdzakelijk op de uren te laten draaien dat de stroomprijs laag is.

⁶² Installatiebedrijven kunnen de berekening maken op basis van gemiddelde winters uit het verleden. Die temperatuur is een graadje lager. Omdat de winters steeds zachter worden, wordt het gasverbruik voor woningverwarming ook steeds minder. Echter, er kan een koude maand met weinig zon zijn, waardoor het verbruik sterk oploopt. De warmtepomp wordt zo berekend dat in een ongunstige situatie de woning toch redelijk warm kan worden.

Een hybride warmtepomp combinatie 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 boiler vat 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. Met een douche WTW is er een kleinere boiler nodig, want die bezuinigt minstens 40% op het warme tapwater. Zie 'Douche WTW' op www.nienhuys.info

7.1. Uitleg van de berekeningen.

Een m³ aardgas heeft een warmte-inhoud van zo'n 9,3 kW aan warmte-equivalent. Afgerond 10 kW. 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. 13.020 kWh / 1700 h = 7,6 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.

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 topcapaciteit.

Hoek- of 2 onder 1 kap woning, kengetallen.

Inschattingstabel verwarmen hoekwoning of 2 onder 1 kap - klimaat vanaf 2020 -									
	isolatie gemiddeld RC	Equivalenten Warmtepomp-tips.nl Vollasturen jaar		Energie nodig aardgas (NL) of kWh				Op te stellen Watt per m ²	
				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/> GO = grondoppervlak
Meer tabellen en uitleg op de aangegeven website.

Bij de hoekwoning van 150 m² met mechanische ventilatie uit periode 1992-1999 wordt 55,4 W/m² gerekend (energielabel C). Voor een woning van 150 m² wordt dat 150 x 55,4 = 8310 W of een 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 een 4,8 kW warmtepomp.

Tussenwoning kengetallen

	Inschattingstabel verwarmen tussenwoning - klimaat vanaf 2020 -									
	isolatie gemiddeld RC	Equivalenten Warmtepomp-tips.nl Vollasturen jaar		Energie nodig aardgas (NL) of kWh				Op te stellen		
				m³ per m² GO		kWh per m² GO		Watt per m²		
		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	Warmtepomp-tips.nl	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 van 150 m² uit 1992-1999 (met veel 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.⁶³ 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/preciezer, maar wanneer het aantal graaddagen per jaar steeds kleiner wordt, wordt het totale warmteverlies ook kleiner. Dit laatste is het geval vanwege de klimaatopwarming. Voor koeling in de zomer van slecht geïsoleerde woningen is ook energie nodig, waarbij een airco extra warmte produceert.

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 (met of zonder WTW) of ruimtes die niet verwarmd hoeven te worden. Dit kan verschillen opleveren in de uitkomsten. Een installatiebedrijf zal ook kunnen uitrekenen of de radiatoren wel voldoen voor een lagere stooklijn en wat er voor aanpassingen er nodig zijn voor de warmteafgifte.

7.2. Berekening vermogenscapaciteit van Hybride warmtepomp

- Zelfde als a, b en c hierboven.
 - d. Vermenigvuldig met 0,5 (of delen door 2). 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.

⁶³ Beter isoleren is een rekbaar begrip. Isoleren volgens de nieuwbouwnorm is al goed, maar met Tripleglas voor de woonkamers is beter. Er zijn passief huizen die nog beter zijn geïsoleerd of die slechts verwarmd worden door de ventilatie warmte van een grote koelkast in de keuken, gecombineerd met zoninstraling.

Andere berekening met W/m^2 . De onderstaande tabel geeft onder de bouwjaartallen **bij benadering** het warmteverlies (in W/m^2 van het gebruiksoppervlak) wat nodig is om de woning voldoende te verwarmen bij $-10^\circ C$, exclusief de warmte nodig voor tapwater verwarming (gemiddeld 20%).⁶⁴ In de onderstaande tabel wordt ervan uitgegaan dat de hele woning op $21^\circ C$ gestookt wordt (dag en nacht). In de praktijk is dat zelden het geval en is de gemiddelde temperatuur $3^\circ K$ lager (tussen de $17^\circ C$ en $19^\circ C$, wat een bezuiniging van minstens 20% oplevert. Deze tabel⁶⁵ is gebaseerd op het gewenste vermogen bij $-10^\circ C$, maar dat komt zelden voor in Nederland of in de toekomst.

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

De beige cijfers zijn het aantal W/m^2 oppervlakte.

* Bij grotere woningen bereken dan de oppervlakte verhouding en vermenigvuldig daarmee het oppervlak.

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.

#	Vermindering van het nodige vermogen	Verhoging van het nodige vermogen.
1	Compacte woning met goede deur isolatie	Vrijstaande woning, veel buitenoppervlak
2	Extra goede isolatie van de buitenschil van het gebouw. Tweemaal de spouwmuurisolatie. Goede isolatie van de ramen met Triple glas.	Matige isolatie van de buitenschil van het gebouw zoals alleen spouwmuurisolatie. Alleen oude HR en HR++ isolatieruiten.
3	Bodemgebonden warmtepomp, 150-200m	Glas-in- Lood ruiten en enkel glas
4	Laagtemperatuur afgiftesysteem (LTV $35^\circ C$) met LTV-vloerverwarming of convectorradiatoren.	Midden- (MTV $\approx 50^\circ C$) of Hoog- (HTV $\approx 70^\circ C$) temperatuur afgiftesysteem.
5	Lager aantal graaddagen dan het gemiddelde van de laatste 10 jaar (< 2500 graaddagen)	Hoger aantal graaddagen dan het gemiddelde van de laatste 10 jaar (> 2500 graaddagen).
6	Lagere gemiddelde binnentemperatuur, bijvoorbeeld $17^\circ C$ (= laag $15^\circ C$ en hoog $19^\circ C$).	Hogere gemiddelde binnen temperatuur bijvoorbeeld $20^\circ C$ (= laag $18^\circ C$ en hoog $22^\circ C$).
7	Lagere binnentemperatuur voor de etage, bijvoorbeeld $15^\circ C$ (= laag $14^\circ C$ en hoog $17^\circ C$).	Zelfde hoge binnentemperatuur voor de etage, bijvoorbeeld $18^\circ C$ (= laag $16^\circ C$ en hoog $20^\circ C$).
8	Weinig ventilatie of WTW op decentrale ventilatie, of centrale balansventilatie met WTW.	Mechanische ventilatie zonder WTW of CO ₂ -regeling. Niet af te zetten.
9	Exclusief vermogen voor tapwaterverwarming.	Inclusief vermogen voor tapwaterverwarming.
10	WTW op het douchewater.	Lang en veel douchen
11	Zonneboiler voorverwarming boiler.	Lang en warm douchen
12	Koeler en korter douchen.	Lang en vaak en warm douchen en bad.
13	Aparte warmtepompboiler voor tapwater	LTV-leidingen in de betonvloer gefreesd.

⁶⁴ 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.

⁶⁵ 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.>

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 bewonersgedrag. De volgende tabel geeft de belangrijkste invloeden aan.

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 versnellen⁶⁶.

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

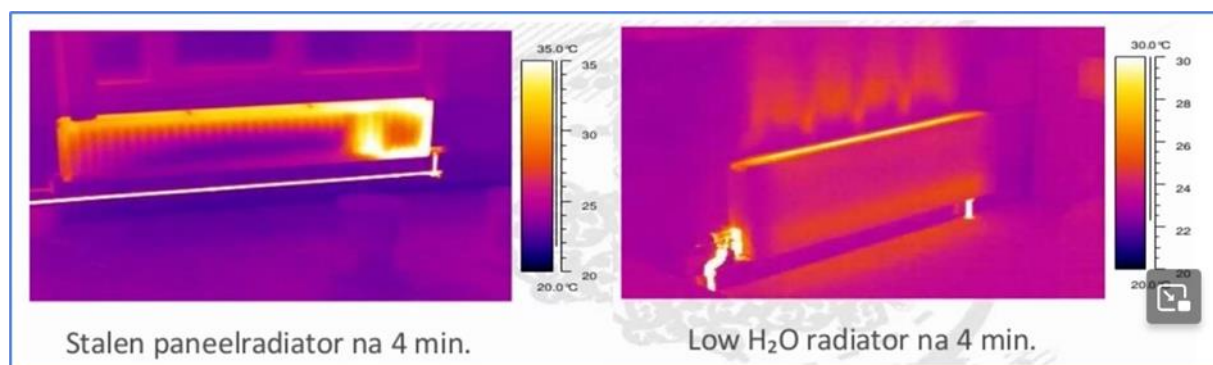
De Speedcomfort® gaat aan bij een radiator temperatuur van ongeveer 35°C en werkt dan met pulsen (stroombezuiniging). De kosten van het stroomverbruik zijn veel minder dan de warmtewinst. Het geluidsniveau is iets meer dan 30 dB, maar praktisch onhoorbaar bij de nieuwste modellen. De economische winst van de radiatorventilator is dat de kamer eerder op temperatuur is en daardoor de Cv (thermostaat) eerder uit. Vaak kan de kamertemperatuur een graadje lager worden ingesteld, omdat de lucht sneller over de kamer verdeeld wordt. Dit laatste geeft de grootste energiewinst.

Figuren 19. Radiator convectoren verhogen de warmteafgifte van de radiatoren en verbeteren daarmee het rendement van de installatie.

Rechts. Convectordadiator.



Vooraf bij convectorbakken die in oudere woningen in de vloer achter de terrasdeuren werden gebouwd zal een radiatorventilator de warmteafgifte van die radiator met tenminste 100% verbeteren, want de natuurlijke doorstroming in deze convectorbakken is erg slecht.⁶⁷ Vooral bij plaatradiatoren werkt de radiator ventilator goed, bij kolomradiatoren is het effect wat minder.



⁶⁶ Zie: www.speedcomfort.nl www.climatebooster.nl en <https://www.jaga.nl/producten/strada-hybrid/>

⁶⁷ Dat komt omdat de convectorbakken werden ontworpen achter enkel glas terrasdeuren die in de winter een grote binnenzijdige koudeval hadden, die dan in die convectorbak terecht kwam. Met isolerende ruiten is dat veel minder het geval. Voor meer informatie zie document 'Convectorbak verbeteren' op www.nienhuys.info

Figuur 20. Invloed van een convector op een radiator. De meeste radiatoren hebben een ongelijke warmteafgifte omdat het warme water bovenin stroomt. Een radiator met extra convector of een convectorradiator geeft de maximale warmte af over het hele oppervlak.

Observatie 11. Het afgiftesysteem

Bij de toepassing van LTV en HTV moet het afgiftesysteem aangepast zijn aan de temperatuur van het water, de doorstroomsnelheid en het radiatoroppervlak. Bij een vloerverwarming kunnen de dikke standaard leidingen (16 mm of inwendig 15 mm) h.o.h. 20 cm liggen en bij dunne leidingen (Warp systeem met 10 mm)⁶⁸ op 10 cm h.o.h. Het vloerverwarming systeem heeft dan voldoende afgifte oppervlak en capaciteit.

Bij het behoud van bestaande radiatoren is het type radiator belangrijk.

- ⊗ Radiatoren in een omkasting hebben een verminderde werking als de onder-ingang en boven-uitgang onvoldoende ruim zijn. Zonder ventilator moeten die elk minimaal 400 cm² zijn. Met een speedcomfort minimaal 300 cm², onder en boven. En geperforeerd front maakt minder uit in de warmteafgifte.
- ⊗ Radiatoren waartegen een bank, kast of ander meubel staat kunnen hun warmte uitstraling onvoldoende kwijt. Er moet ruimte rondom de radiatoren zijn.
- ⊗ Radiatoren die langs een matig geïsoleerde buitenmuur staan moeten op de radiator en buitenmuur een Hoog Reflecterende Folie (HRF) hebben, zodat de warmte niet in die buitenmuur verdwijnt.
- ⊗ Verticale designradiator hebben een extra laag energetisch rendement.
- ⊗ Convector-radiatoren hebben een buis met veel grote lamellen en hebben de hoogste warmteafgifte in vergelijking met het watervolume.

Figuren 21. Verticale design radiator. Infra-Rood foto en de gewone foto.

Dit type verwarmt vooral het stukje plafond boven de radiator, maar is vooral leuk om tekeningen en magneetjes op te plakken. Het plaatsen van een Speedcomfort zal onvoldoende uitmaken.

In de deze aanbouw verdwijnt ook veel van de warmte direct via het matig geïsoleerde daklicht.⁶⁹



9. Warmte-afgifte radiatoren berekenen

⁶⁸ Het dunne SpeeTube systeem van Warp vloerverwarming heeft een 10 mm x 1,3mm buis. Vanwege de kleinere doorstroom diameter is de weerstand groter en is de maximale lengte van een lus kleiner dan bij conventionele 20 mm buizen. Ook liggen de buizen dan dichter naast elkaar.

https://www.warp-systems.nl/wp-content/uploads/2024/04/WARP_brochure-A4_NL.pdf

⁶⁹ Voor meer informatie over daklichten isoleren zie het documentje op www.nienhuys.info

Voor de installatie van een warmtepomp zonder LTV-vloerverwarming kan de afgiftecapaciteit van de bestaande radiatoren berekend worden en bepaald in welke vertrekken deze eventueel verbeterd moet worden. Er zijn verschillende methoden om dat te doen. De vereiste capaciteit hangt af van de gewenste kamertemperatuur. Zonder informatie wordt deze door het installatiebedrijf op gemiddeld 20°C gesteld voor de hele woning. Hoofdstuk 6 geeft in de twee tabellen met kerngetallen het gewenste vermogen van de radiatoren aan per bouwjaar of de isolatiewaarde van de woning gebaseerd op het GrondOppervlak (GO).

De berekening in de volgende tabel is voor een 140 m² woning (1990) met matige isolatie⁷⁰ van de buitenschil van Rc = 1,4. 140 m² x 65 W/m² = 9100 W = 9 kW. Voor verwarmen exclusief tapwater (20%). Die berekening is gebaseerd op de koudste maand van het jaar en een binnentemperatuur van minimaal 20°C.

De warmteafgifte van de radiatoren hangt af van het type. In de productspecificaties wordt de maximale warmteafgifte opgegeven bij een Cv-temperatuur van 75°C. Een goede lijst is van <https://henrad.eu/nl/radiatoren/compact-line/warmteafgifte> en Excelsheet op bewerken zetten. Op <https://www.cvtopper.nl/> staat bij elke radiator het Vermogen bij 75/65/20.

Delta T of ΔT is het verschil tussen de aanvoer- en retour-temperatuur in graden Kelvin. Bij de radiator in- en uitgang kan deze gemeten worden als de Cv op maximale verwarming staat. Deze temperaturen zijn lager dan aan de in- en uitgang van de Cv-ketel.

Historisch op te stellen verwarmingsvermogen (woningen) in Watt per m² GO					2024
	Isolatie waarde	Ventilatie type in de woning: tot 1975 'natuurlijk' daarna met mechanische ventilatie. Vanaf 2005 zien we ook mogelijke toepassing van WTW-units in woningen.			 Met nieuwe klimaatcijfers 2020-2023 
	RC gemiddeld	Mechanische Ventilatie	CO² gestuurde mech.ventilatie	Balans ventilatie (WTW)	Op te stellen vermogen in Watt per m² GO
Voor 1945	0,2	100	-	-	85
1946-1964	0,4	90	-	-	80
1965-1974	0,5	80	-	-	70
1975-1991	1,4	70	65	-	65
1992-1999	2,5	60	55	-	55 / 50
2000-2014	3	50	45	40	50 / 45
2015-2020	4,7	45	40	35	45 / 40 / 35
2021-	5	40	35	30	40 / 35 / 30
(m² gebruiksoppervlak x kengetal is (historisch) op te stellen verwarmingsvermogen)					2024 warmtepomp-tips.nl

Door middel van deze tabel kun je een indicatie krijgen van het benodigd op te stellen verwarmingsvermogen in een woning van een bepaald bouwjaar, zonder dat er in die woningen isolatie verbetering heeft plaatsgevonden. Stel dat je een nieuwe '2 onder een kap' woning gaat bouwen met CO₂ gestuurde mechanische ventilatie volgens de Isolatiernorm 2021 en je woning een gebruiksoppervlakte krijgt van 140 m² (55m² bg + 55m² 1e verdieping + 30m² zolder) dan is de te verwachten capaciteit voor verwarming in deze woning 140 m² x 35 Watt = 4900 Watt (= 4,9 kW) voor verwarmen. Exl. tapwater.

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

⁷⁰ Een na-geïsoleerde spouwmuur heeft slechts een isolatiewaarde van Rc = 1,5 tot 1,7. HR⁺⁺ glas heeft een isolatiewaarde van Rc 0,8 tot 0,9. Deze 140 w/m² is inclusief de extra capaciteit om na nachtverlaging de woning in 1 à 1,5 uur 3°C op te warmen. (Danfoss boekje voor waterzijdig inregelen).

Cv-ketels verwarmen in de ketel tot maximaal 75°C. **De notering 75/65/20°C** betekent een aanvoertemperatuur van 75°C min de retourwatertemperatuur 65°C bij een kamertemperatuur van 20°C. Van de Cv is dan de ΔT 50°C. Dit is berekend: $(75^\circ\text{C} + 65^\circ\text{C}) / 2 = \text{gemiddeld } 70^\circ\text{C}$. Minus de omgevingstemperatuur wordt $70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = \Delta T$ 50°C.

Bij de radiatorberekening is er een afgiftetemperatuur van $75^\circ\text{C} \text{ min } 65^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$ of $\Delta T = 10^\circ\text{C}$.

Het radiatorvermogen $q = 0,86 \times (\text{Watt van radiator}) / \Delta T$.

Figuur 22. Het meten van de aan- en afvoertemperaturen van de Cv of een radiator.

Links op de foto de warmtemeter die tweerode laser - meetpunten heeft.

Het te meten oppervlak moet zwart en mat zijn, want anders geeft de IR-warmtemeter een verkeerde waarde. Dit kan door een stukje zwarte maskingtape op het te meten oppervlak te plakken. De Cv moet minstens een uur tijd aan staan op verwarmen en de radiator helemaal open.



Bij radiatoren met een warmtepomp is de ΔT ongeveer 10K tot 12K. Aan de radiator gemeten 35/28 (35°C aanvoer / 28°C retour) geeft ΔT 7K. Veel radiatoren hebben slechts een ΔT van 5 tot 7°C, zijnde het verschil tussen de aanvoer en de afvoertemperatuur.

De gezamenlijke maximale afgiftecapaciteit van de radiatoren moet dan bij een warmtepomp van 9kW ook maximaal 9 kW kunnen opleveren. Per kamer kan de benodigde afgiftecapaciteit van de radiatoren berekend worden. Bij een lagere warmtebehoefte voor bijvoorbeeld de slaapkamers of de zolder wordt de feitelijk gerealiseerde afgiftecapaciteit minder als de thermostaatknoppen lager worden gedraaid. In een rekentabel kan de woning doorgerekend worden.

Kamer	Radiator type	Breed mm	Hoog mm	Water volume	Volume leidingen	W/m bij 75/65/20°C	T aanvoer	T afvoer	ΔT	q = Watt radiator
woon	T22	800	500	5,17	?	1.338	38	31	16,5	260

Het watervolume in de radiatoren en de leidingen is relevant om de grootte van het buffervat te berekenen. Er kunnen twee extra kolommen ingevoegd worden voor de inhoudsberekening van de leidingen wat voor oudere gebouwen met dikke leidingen belangrijk is. Door alle gegevens onderaan de tabel op te tellen wordt het totale watervolume en vermogen van de radiatoren gevonden.

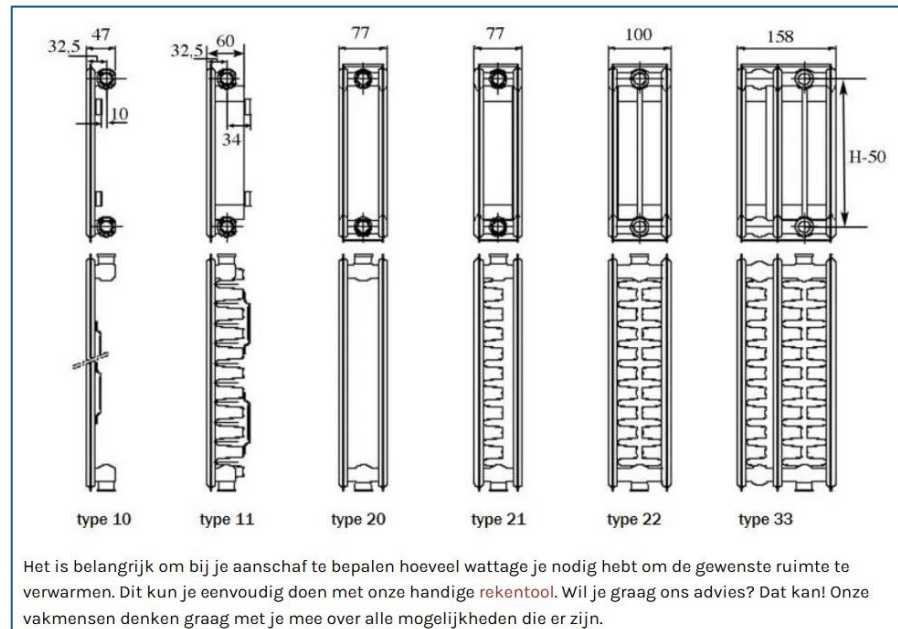
Voor de feitelijke warmteafgifte berekening volgens <https://henrad.eu/nl/radiatoren/compact-line/warmteafgifte>. De ΔT van de radiator is meestal opgegeven, maar kan door meting bepaald worden (zie figuur boven), bijvoorbeeld bij kolomradiatoren, of het moet geschat worden. Het W/m bij 75/65/20°C (van websites of direct uit de HENRAD -tabel). Zet de HENRAD compactline tabel op 'berekenen' en vul de drie waarden in die tabel in en kopieer die waarden in de eigen tabel. In de onderste HENRAD-tabel zoek het vermogen onder het type bij de gegeven afmetingen.

In het voorbeeld T22 radiator, 800 x 500 mm en ΔT 7°C zie je dat het feitelijk afgifte vermogen slechts 19% is van de maximale warmteafgifte.

Bij het gebruik van de formule $q = 0,86 \times (\text{Watt radiator}) / \Delta T$ is het vermogen slechts 164 Watt.

Figuur 23. Basis typen van radiatoren.

In de tabellen zijn deze typen aangegeven. Met een speedcomfort wordt de afgifte met ongeveer 30% verhoogd.



Een vrijstaande woning, of op een hoek, voeg dan 10% toe aan het berekende vermogen. Plaats de radiatoren bij voorkeur in het koudste deel van de kamer, bij voorkeur onder het raam, om koudeval tegen te gaan.

Lamellen-radiatoren zijn voor de warmteafgifte te vergelijken met de type 20 radiatoren, maar hebben meer watervolume en een grotere staalmassa. Hierdoor zal de reactiesnelheid van de radiatoren wat langzamer zijn dan de paneelradiatoren in de afbeelding. Convector-radiatoren hebben het minste watervolume en de hoogste warmteafgifte per watervolume. Ouderwetse of klassieke radiatoren hebben het grootste watervolume en zonder ventilatoren de minste warmteafgifte per watervolume.

Voor monumenten of met een klassiek interieur is het dus niet noodzakelijk om de oude karakteristieke radiatoren te vervangen voor een LTV-vloerverwarming bij renovatie. Bij goede gebouwisolatie en Tripleglas voldoen de oude radiatoren in combinatie met LTV ook goed.

Figuren 24. Oude radiatoren hebben een groter watervolume dan plaatradiatoren. In monumenten kunnen deze radiatoren ook voor de verwarming dienst blijven doen wanneer de muren binnenzijde na-geïsoleerd zijn.



Er zijn bedrijven die oude radiatoren schoonmaken voor hergebruik. Bij de toepassing van alle (giet)ijzeren radiatoren is het gebruik van een Spirotech -trap noodzakelijk om deze vóór de gas-Cv of warmtepomp te plaatsen zodat eventuele ijzerdeeltjes niet in de apparatuur komt. Deze Spirotrap moet periodiek worden schoongemaakt.

Figuren 25. Links. Spirotrap met magneet.
Midden: Sirovent voor ontluchting.
Er is ook een Spirocombi beschikbaar.
Rechts: Ramivent luchtafscheider



Bij het vervangen van het water in het leidingsysteem kan het nieuwe water dat meer zuurstof bevat roestvorming veroorzaken. De luchtafscheider haalt micro luchtbelletjes uit het water. Daarmee verbetert het rendement van de warmteafgifte, voorkomt mogelijke corrosie en geeft slijtage.

Observatie 12. Het watervolume.

De watervolumes die rondgepompt moeten worden voor een LTV-systeem zijn groter dan bij een hoog-temperatuur systeem. Bij woningen van rond 1970 hebben de dunne leidingen niet voldoende doorsnede (netto kleiner dan 15 mm) om de nodige watervolumes rond te pompen. In dat geval zullen de leidingen vervangen moeten worden. Behalve de radiatorventilatoren kunnen ook grotere convectorradiatoren worden geplaatst. Wanneer er méér of sneller water moet worden rondgepompt, moet er een mengvat en een secundaire circulatiepomp aan worden toegevoegd.

In een jaren 30 woning met een lange kolomradiator onder het grote zitkamerraam werd de kamer onvoldoende warm wanneer de haard niet werd gestookt. Het eerste advies was om er een goed isolerende Tripleglas ruit in te zetten. Dat werd opgevolgd, maar nu bleek dat de kamer toch erg langzaam warm werd. Na bestudering van de radiator bleek dat de later aangelegde radiator aanvoerleiding slechts 12 mm was en dus onvoldoende warm water aanvoerde.

Bij dunne Warp-LTV systemen is het watervolume wel voldoende, maar is de lengte van de 10 mm leiding-lussen beperkt tot 40 m. (Warp SpeeTherm droogbouwvloerverwarming). Bij meerdere lussen kan het nodig zijn dat er een extra circulatiepomp wordt aangelegd.

Observatie 12. De Cv-waterpompen moeten energiezuinig zijn.

Oude pompen op wisselstroom hebben de keuze tussen Laag = 35 W, Midden = 85 W en Hoog = 125 W (volgende afbeelding links). Deze oude pompen komen soms voor wanneer er een LTV-vloerverwarming in een gedeelte van de woning is aangelegd. Nieuwe pompen lopen op gelijkstroom en 5W (afbeelding rechts). Bij oude pompen kan ook 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 26. Bij LTV-vloerververming 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. Het is 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%).⁷¹ Gemiddeld over het jaar levert een hybride 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.⁷² De hybride warmtepomp vraagt dan gas voor de HR-Cv-ketel. Bij woningen die binnen 10 jaar van het gas af moeten is dit geen goede oplossing.⁷³

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 bij voorkeur een balansventilatiesysteem hebben met WTW met bij voorkeur een aanwezigheidssensor of CO₂-regeling. Bij oudere woningen s dat zelden het geval.

Wanneer is een hybride warmtepomp te overwegen?

De algemene regel is dat **de woning eerst beter geïsoleerd moet zijn** en tenminste een energielabel B of A moet hebben. Energielabels lopen op tot A⁺⁺⁺ en passief. Bij een energielabel A en hoger kan men ook een gewone All-electric warmtepomp nemen, eventueel met een aparte installatie voor warm tapwater (hybride combinatie). Men kan 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-gradientest/>

⁷¹ 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 ZB-rendement laag tot nul als er weinig tot geen zon is.

⁷² 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.

⁷³ Er zijn initiatieven om van het PV en windoverschot waterstofgas te maken, waarmee het gasnet kan worden bijgevuld. In eerste instantie zal deze waterstof door de industrie gebruikt worden.

Opgelet. Veel gemeentes maakten volgens de Wet TransitieVisie Warmte⁷⁴ 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. Bij wijken waar een warmtenet komt worden **individuele warmtepompen niet meer gesubsidieerd**.

Een hybride systeem met een klein bemeten warmtepomp, met een nog bestaande (iets oudere, maar nog niet aan vervanging toe) HR-Cv is een 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. Alle warmtepompen kunnen in serie (achter elkaar, cascade opstelling)⁷⁵ of parallel (naast elkaar) geschakeld worden. Men kan dus een tweede kleine warmtepomp naast de bestaande warmtepomp geplaatst kan worden (parallel). Twee warmtepompen hebben de volgende voordelen:⁷⁶

- Als er een stuk gaat dan behoud je nog steeds een (kleine hoeveelheid) verwarming.
- Kleine Warmtepompen hebben meestal een betere COP.
- Bij plaatsing op een dak is de belasting beter gespreid.
- Men kan er een uitzetten voor de zomer.

Men mag altijd voor een tweede keer subsidie voor een nieuwe warmtepomp of zonneboiler aanvragen. Vanaf 2025 is het ook mogelijk om ook voor tweede keer glassubsidie aan te vragen.



Figuren 27. Kleine (hybride) warmtepomp op een dakje. Wanneer de CV eruit gaat komt hier een tweede kleine warmtepomp ernaast. De leiding mag wel wat beter geïsoleerd zijn.

10. 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° tot 40 °K. Het voordeel van de hoge-temperatuur warmtepomp is dat er weinig woningaanpassingen voor nodig zijn. Dat laatste speelt een belangrijke rol bij oude en kleine woningen. Het is echter geen goede milieumaatregel.

⁷⁴ Bijvoorbeeld <https://aardgasvrij.hilversum.nl/> en <http://www.energieregionhz.nl/> (beslissing 7 juli 2021)

⁷⁵ De cascade opstelling wordt gebruikt om de temperatuursprong van elke warmtepomp klein te houden (dan werkt deze meer efficiënt), wanneer er een midden- of hoge-temperatuur verwarming nodig is.

⁷⁶ De prijs van de warmtepompen is vaak evenredig met het vermogen, dus in kostenverschil hoeft het niet veel uit te maken. Elke warmtepomp installateur kan dit aansluiten.

Cv-installaties van monumentale panden en vooroorlogse woningen zijn vaak ontworpen op een hoog temperatuur systeem zonder pompsysteem (70°C tot 80°C). Het hete water circuleert door dikke gietijzeren buizen vanwege het temperatuurverschil (watergewicht) tussen de aanvoer en afvoerleidingen. Met een pompsysteem hebben deze dan een sterk vergrote warmte afgifte-capaciteit. Woningen die gebouwd zijn tot 1960 hebben ook nog dikke leidingen ontworpen op stookolie verwarming, zonder circulatie pompen. Bij deze woningen is dan vaak geen buffervat nodig vanwege het grotere watervolume. Met de dikke gietijzeren leidingen is zomerkoeling niet aanbevolen want dat kan corrosie van het ijzer opleveren.

Bij een oude Cv met watertemperaturen van 70°C tot 80°C is de systeemefficiëntie minder dan 75% omdat de rookgassen niet goed kunnen condenseren (zoals gebeurt in een HR107-gas-Cv). Bij een hoge temperatuur warmtepomp met een COP-waarde van minimaal 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%.⁷⁷

Met het koudemiddel R290 kan de warmtepomp tot 75°C warm water produceren, maar ook op lage temperatuur (economischer). De stooklijn kan periodiek aangepast worden. In dat geval zou men een relatief kleine warmtepomp kunnen nemen (gebaseerd op een laag berekend gasverbruik) vanwege een gemiddeld lagere kamertemperatuur dan 20°C. Wanneer het dan toch flink koud gaat worden kan tijdelijk de stooktemperatuur worden verhoogd.

Wanneer men een warmtepomp neemt die berekend is op de hele woning verwarmen tot 20°C bij -10°C, zal deze bij gematigde buitentemperaturen gaan moduleren (langzamer draaien). Een zwaardere warmtepomp dan de berekening op 20°C (voor de hele woning) zal dan gaan pendelen (aan- en afslaan) wat slijtage en energieverlies teweegbrengt. Een zwaardere warmtepomp nemen dan geschat wordt op basis van het gemeten gemiddelde jaarverbruik is bij een R290 type niet noodzakelijk. Wanneer een nieuwe woning-verwarmingswarmtepomp samengaat met een warmtepompboiler en/of een douche WTW voor tapwater is er ook geen extra capaciteit nodig.

11. 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 met de RVO subsidie bij lage inkomens.

De woning kan op een lokaal warmtenet worden aangesloten, waarvoor een subsidie beschikbaar is van € 3.775 (in 2024), 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 boven vermeldde website beschikbaar. In sommige situaties kan er per gemeente ook subsidie gegeven worden van € 400 voor het vervangen van een gasfornuis naar een elektrische kookplaat.

Voor zonneboilers blijft de subsidieregeling bestaan, echter zonneboilers op rieten daken zijn niet toegestaan. De vacuümtube zonneboilers zijn het meest efficiënt, vooral als ze in een helling op het

⁷⁷ 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.

zuiden zijn gemonteerd. Door de tussenruimte tussen de glazen buizen worden deze verwarmd door de zon van oost naar west. Onderstaande foto (rechts) is een extra grote vacuümtube zonneboiler die ook in de winter een hoge watertemperatuur kan leveren voor woningverwarming. Dit vereist echter een warmtewisselaar in het buffervat.

Wanneer de Cv of de warmtepomp(boiler) warmwater levert, wordt water uit het zonneboilervat aangevoerd. Wanneer dat water warm is (vanwege de zonneboiler) hoeft de warmtepomp(boiler) minder bij te verwarmen. In de zomer kan de energiebesparing meer dan 80% zijn.

Figuren 28. Een zonneboiler genereert over een jaar ongeveer 50% van de tapwater warmte, maar weinig in de winter. Links de geïsoleerde tussen-opslagtank. De



ronde tank bovenin is de druktank. 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. Rechts. Extra grote vacuümtube ZB die ook voor ruimteverwarming dienstdoet.

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

- A. Wanneer de gas-Cv kapotgaat en vervangen moet worden kan tijdelijk (een paar jaar) een gas-Cv **gehuurd** worden. De woning kan dan in fasen beter geïsoleerd worden, voordat er de voor de toekomst bestendige 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 een R290 type warmtepomp met een mogelijk hogere werktemperatuur te installeren (HTV). Deze kan in een latere fase (wanneer er beter geïsoleerd is) naar een lagere temperatuur (LTV) worden gezet. De energiekosten zijn dan initieel 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 Infraroodstraling paneel aan het plafond gemonteerd worden. Vloerverwarming in de badkamer is onverstandig (een dik kleedje is beter). Dit is iets minder comfort, maar de badkamer is geen ruimte waar je lang verblijft; vloerverwarming is daar niet energiezuinig.
- D. 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 minstens 65°C verwarmd wordt en dus geen Legionella-risico oplevert. Legionella kan alleen optreden wanneer het lauwe tapwater lange tijd in een leiding of in opslagvat wordt bewaard. Bij het Nederlandse drinkwater komt het zelden of nooit voor.

- E. 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. Dit geldt ook voor een werkplek op zolder. De Cv-radiator of een hete lucht kachel (COP 1) moet eerst de hele kamer verwarmen. Een IR paneeltje onder het bureau geeft warmtecomfort en kan meteen worden uitgezet bij het verlaten van het vertrek.

Figuren 29.
Links. Een keyboard verwarming of Rechts. een elektrisch verwarmde mat onder een dun vloerkleedje zijn goede methoden voor plaatselijke verwarming.



- F. Bij een mechanische ventilatie zonder lucht-WTW zal de Cv constant de binnenkomende lucht verwarmen (erg onzuinig). Wanneer overgestapt 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.⁷⁸
- G. 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 douchekop en een WTW op de doucheafvoer en zonneboiler vereist een kleinere boiler.

Figuren 30.
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

- H. Bij een eigen energieproductie met veel PV, is een All-electric systeem 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 en een douche WTW kan het WP-boilervat kleiner worden. De PVT (thermisch) heeft beide voordelen.

⁷⁸ Zie document "Ventileren van Oudere Woningen" op www.nienhuys.info voor verschillende systemen.

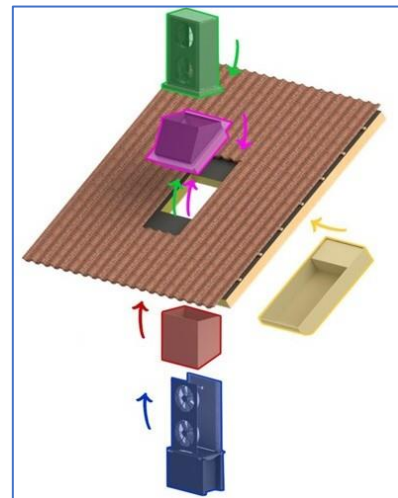
- I. Een elektrische boiler en een Gas-Cv boiler hebben stilstandsverliezen omdat deze het water warm houdt als er geen verbruik is. Bij een gas-Cv-boiler slaat de Cv in de zomer regelmatig even aan om het boilerwater op temperatuur te houden.
- J. Bij een beperkte ruimte bij een rijtjeswoning bestaat 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. Het plaatsen van een warmtepomp op een dakkapel is niet aanbevolen want deze zijn daar meestal niet op ontworpen.

Figuren 31. Aanpassing voor dakhelling (paars). Binnen omkasting (beige) met versterking dak (rode pijlen).

Buitenomkasting (groen).

Verschuifbaar gedeelte voor onderhoud (blauw).

Speciaal voor platte daken de Blackbird. 2 m²

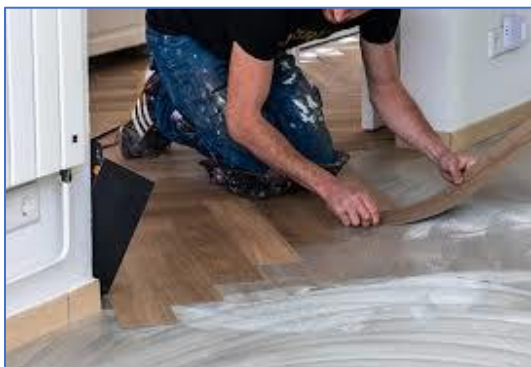


BLACKBIRD

De Weheat Blackbird is de ultieme oplossing voor wie zijn warmtepomp liever niet in het zicht heeft staan. Deze krachtige warmtepomp is met **11kW vermogen** geschikt om efficiënt mee te verwarmen of te koelen. De Blackbird is speciaal ontworpen voor platte daken en heeft een oppervlak van 2m².

- Hybride & Full Electric leverbaar
- Energielabel (A+++)
- 4G-connectiviteit
- Bijna onzichtbare buitenunit
- Geluids-isolerende behuizing

- K. 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 warmteweerstand van 0,05 m².K/W (contactgeluid?). Laminaat 0,1 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 (dik) tapijt gelegd worden zodat daar de warmteafgifte minder wordt.



Figuren 32. 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.

- L. Droge of natte systemen voor LTV-vloerverwarming⁷⁹. Droge systemen zijn sneller aangelegd dan natte systemen en gebruiksklaar. Water-gedragen (natte) systemen moeten eerst getest worden door ze onder druk te zetten voordat ze worden ingegoten. Ingefreesde systemen worden ook ingegoten⁸⁰. De verharding van cementgebonden (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 op de grond 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 33. 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.

⁷⁹ Zie ook het document vloerisolatie op www.nienhuys.info voor meer informatie over vloerverwarming.

⁸⁰ Zie eerdere opmerkingen over ingefreesde LTV-leidingen en de verwarming van de hele vloermassa.

13. 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 garantiëvoorwaarden en belasting specificaties.

- Bij de 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?
- 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? Is de trap berekend op het vervoeren van een grote boiler?
- 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? Je kan ook stellen dat zoiets niet jouw probleem is.
- 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 klachtensysteem?
- Hoe zit de verzekering van het systeem of het installatiebedrijf in elkaar?
- Zijn er algemene voorwaarden vermeld en garantieperiodes. Zijn de garantieperiodes op de geleverde equipment en ook op de werkzaamheden?
- 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? Gaat de installateur de subsidie terugvragen?

14. Extra 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 buitenklimaat 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 die allemaal veel (warm) douchen. Verwarmde slaapkamers zijn duur in energie en onverstandig voor de gezondheid.

Installatiebedrijven kunnen/moeten daar rekening mee houden en de mogelijkheid toelichten. Het prijsverschil tussen een 6 kW en een 7kW warmtepomp is niet zo groot. Bij veel warmtepompen wordt het maximale vermogen aangegeven en de maximale warmteafgifte. Dat zijn twee verschillende getallen. Het gaat om de warmteafgifte.



Figuren 34. Warmtepompen units op een schuin dak en de aanvullende apparatuur op zolder.
Boven: 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.

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 kan bij de uitvoering als korting worden berekend.

15. 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, vooral wanneer er ook elektrische auto's worden aangesloten voor het opladen.⁸¹

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 moet 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 2026 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 waarbij men verplicht moet overstappen op Zonneplan. Andere batterij-systemen kunnen via Frank-energie www.frankenergie.nl bij hun bestaande elektriciteitsleverancier blijven.

⁸¹ Het ligt in de planning dat elektrische auto's alleen opgeladen mogen worden bij lage elektriciteitstarieven.

Via wijkgebonden 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.	Overvloedige 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 m³ worden opgeslagen dan het basalt systeem. Het spaart dus ruimte in vergelijking met water #2 of #4. De PCM'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.	
---	------------------	------------	---	---
