

Warmte voor warmtepompen

Warmtepompen kunnen hun warmte halen uit de buitenlucht of de bodem. Besproken worden de voor- en nadelen van deze bronnen. We komen tot een duidelijke conclusie.

Dr JW Drijver - www.nautilus-educatief.nl

In de discussie over het gasloos maken van woningen komt het inzetten van warmtepompen als alternatief voor de gasketel naar voren. Dit te meer omdat de hoeveelheid restwarmte van de industrie die beschikbaar is voor stadsverwarming in de toekomst een dalende tendens zal vertonen; een regelrecht gevolg van de te verwachten efficiencyverhoging in de industriële processen. En van het verbranden van biomassa (pellet kachels) is al vaker aangetoond* dat dat geen bijdrage kan leveren aan verlaging van de CO₂-uitstoot.

Een goede isolatie van de woning is vanzelfsprekend altijd een vereiste. Immers, alles wat je via isolatie aan energie bespaart, hoef je niet op te wekken!

Overwegingen bij het aanschaffen van een warmtepomp

In de Energieagenda heeft de overheid aangegeven dat de gemeente de regierol krijgt in de transitie van de warmtevoorziening. Elke gemeente maakt uiterlijk in 2021 een plan† voor de verwarming van de gebouwde omgeving en laat dit vaststellen in de gemeenteraad. Het plan gaat over de transitie van de gebouwde omgeving naar aardgasvrij. Voor de wijken die in 2030 al van het aardgas afgaan is in 2021 ook bekend welke alternatieve warmtevoorziening er komt.



Bij de verwarming van een woonhuis moet je je dus allereerst afvragen of de gemeente blokverwarming aanbiedt óf dat je zelf - eventueel in groepsverband - de centrale verwarming (CV, inclusief warm tapwater) moet verzorgen. In het eerste geval heb je niets te kiezen. In het tweede geval wél en dan speelt het begrip ‘rendement’ een overheersende rol. Immers, bij een installatie met het hoogste rendement heb je de laagste verwarmingskosten, als tenminste de investeringskosten niet de pan uit rijzen.

* <https://www.knaw.nl/nl/actueel/publicaties/visiedocument-biobrandstof>

† www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/aardgasvrij/veelgestelde-vragen-aardgasvrije-wijken

Een traditionele gasketel zet zo'n 85% van de gasenergie om in warmte, een HR-ketel 95%, ofwel ze hebben een rendement van respectievelijk 85% en 95%. Een elektrische 'ketel' haalt zelfs een rendement van 100%. Het enige apparaat waarmee je nog meer warmte kunt produceren, is een warmtepomp. Die onttrekt warmte uit zijn omgeving en 'pompt' die naar een hogere temperatuur. Dat 'pompen' kost wel energie, maar hij kan wel 3 tot 6 maal meer warmte produceren dan hij aan energie nodig heeft: een rendement van 300% tot 600%! Technische term: de COP is 3 tot 6. Warmtepompen hebben verder niets geheimzinnigs, je vindt ze in elke koelkast.

Een warmtepomp heeft een *koude kant* waar hij warmte onttrekt en een *warme kant* waar hij warmte afgeeft. Het rendement van een warmtepomp hangt af van het temperatuurverschil dat hij daarbij moet overbruggen: bij een groot verschil moet hij hard werken en dat gaat flink ten koste van het rendement. Daarom is het van groot belang dat de *koude kant* niet teveel afkoelt en dat de *warme kant* in temperatuur zo laag mogelijk kan blijven.

Wat betreft de koude kant: een warmtepomp kan warmte onttrekken aan (1) de buitenlucht of (2) de bodem. De bodem heeft een seizoenafhankelijke temperatuur van zo'n 10 °C en is daarmee 's winters in het voordeel boven de buitenlucht. 's Zomers natuurlijk niet, maar dan heb je ook geen verwarming nodig! Wat betreft de warme kant is de warmtepomp op zijn best als hij zijn warmte bij zo laag mogelijke temperatuur kan afgeven. Een traditionele CV werkt bij zo'n 80 °C en dan scoort de warmtepomp slecht. En juist goed bij vloerverwarming, die niet hoger dan 35 °C hoeft te komen. Een kwestie van een grote oppervlakte. Hetelucht verwarming en geventileerde convectoren zitten daar met zo'n 50 °C tussenin. En natuurlijk de warm-tapwater boiler die vanwege legionella op 65 °C wordt gehouden.

Hopelijk levert het bovenstaande je enige inzicht op om in gesprek te gaan met een adviseur of installateur. Bedenk wel dat het soms net zo gaat als bij de aanschaf van een nieuwe auto: waar de handelaar het meeste mee omhoog zit, is al gauw de beste auto.

Op mijn webstek www.nautilus-educatief.nl vind je nog als aanvulling een video over de verbouwing van onze oude boerderij met de nadruk op isolatie en verwarming. Tevens een uitleg over de werking van de warmtepomp. Meer gedetailleerde informatie over warmtepompen en hun voor- en nadelen vind je in het vervolg van dit stuk. Er wordt speciaal ingegaan op de verschillen tussen warmtepompen die hun warmte halen uit de buitenlucht of uit de bodem. In de appendices I, II en III vind je nog enkele speciale zaken:

Wil je bijvoorbeeld bij de overstap van gas naar elektrisch weten wat bij ongewijzigd beleid je verbruik aan elektra wordt? Op het eind van appendix I (Wat is Watt?) vind je een omrekening van gasverbruik in m³ naar elektra in kWh.

Bij de provinciale rapportage over een open bron wordt gesproken over SPF. In appendix II wordt het verband met COP gelegd.

Soms wordt biogas (CH₄) of waterstofgas (H₂) genoemd als alternatieve verwarmingsbron. In het bijzonder dat laatste legt het met een 8-maal hogere verbruiksprijs af tegen de warmtepomp. Zie appendix III (Waterstofgas voor Ruimteverwarming) voor een discussie hierover.

Geplaatste aantallen warmtepompen

Bij de snelle toename in Nederland van het aantal geïnstalleerde warmtepompen voor woningen (zie tabel) valt op, dat het grootste deel daarvan bestaat uit lucht/water warmtepompen. Dit type haalt zijn warmte uit de buitenlucht. Warmtepompen kunnen ook hun warmte halen uit de bodem: water/water warmtepompen. We bespreken in dit stuk de voor- en nadelen van beide warmtebronnen.

			Warmtepompen							
			In gebruik genomen warmtepompen	Uit gebruik genomen warmtepompen	Opgestelde warmtepompen einde van jaar					
			aantal	aantal	aantal					
Sector Woning	Warmtepompen	Perioden	Woningen	Warmtepompen; totaal	2015	22 926	727	143 425		
					2016	37 590	1 128	179 887		
					2017	48 031	3 518	224 400		
						Warmtepompen bodemwarmte; totaal	2015	1 648	454	37 625
							2016	3 638	179	41 084
							2017	4 468	517	45 035
						Warmtepompen bodemwarmte; gesloten	2015	1 493	227	22 888
							2016	3 394	90	26 193
							2017	4 421	259	30 355
						Warmtepompen bodemwarmte; open	2015	155	227	14 736
							2016	244	90	14 891
							2017	47	259	14 679
						Warmtepompen buitenluchtwarmte; totaal	2015	21 278	273	105 800
							2016	33 952	949	138 803
							2017	43 563	3 001	179 365

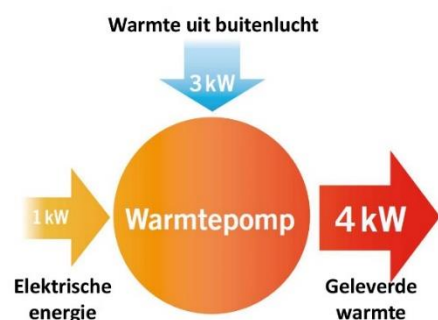
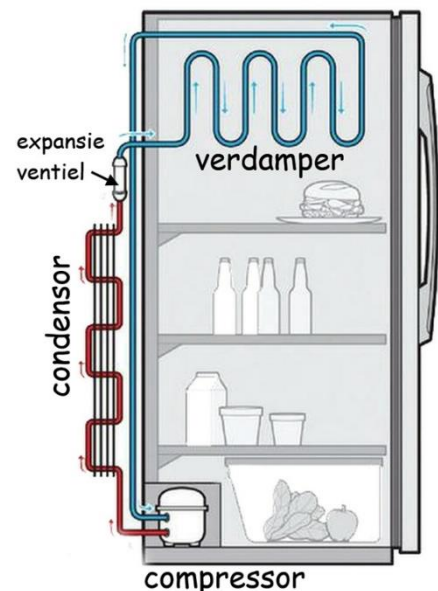
Bron: CBS

De koelkast als warmtepomp

Hoewel onbekend, is iedereen eigenlijk al lang vertrouwd met de warmtepomp, omdat die het hart vormt van elke koelkast. Het apparaat doet niet anders dan warmte pompen van zijn koude naar zijn warme kant, van de verdamper binnen in de koelkast naar de condensor eruiten. De verdamper koelt daardoor af en de warmte komt vrij in de condensor achter de koelkast. Dat merk je aan de warme lucht die aan de achterzijde vrijkomt. Het proces wordt onderhouden door de compressor die meestal elektrisch wordt aangedreven en dus elektrisch vermogen opneemt.

COP

Het aardige is dat een warmtepomp meer warmte kan verpompen dan hij aan elektrisch vermogen opneemt. De verhouding tussen de geleverde warmte en het opgenomen elektrische vermogen wordt de prestatie-index genoemd; Engelstalig: coefficient of performance, afgekort COP. Een warmtepomp heeft dus een COP groter dan 1. In het schema hiernaast wordt een warmtestroom uit de buitenlucht van 3 kW verpompt met behulp van 1 kW elektrisch vermogen. Er wordt dus $3 + 1 = 4$ kW warmte door de warmtepomp geleverd voor elke opgenomen 1 kW. De COP is hier dus 4.



De COP hangt sterk af van het temperatuurverschil tussen koude en warme kant van de warmtepomp: hoe groter dat temperatuurverschil, hoe minder warmte er bij een bepaald elektrisch vermogen wordt geleverd. Met andere woorden: de elektromotor moet meer ‘zijn best doen’ bij een groter temperatuurverschil. De COP wordt begrensd door de wetten van de thermodynamica en kan daarom niet eindeloos worden verhoogd door beter ontwerp. Nogmaals: *Hoe kleiner het temperatuurverschil dat moet worden overbrugd, hoe groter de COP.* Zie ook appendix II: Over COP en SPF.

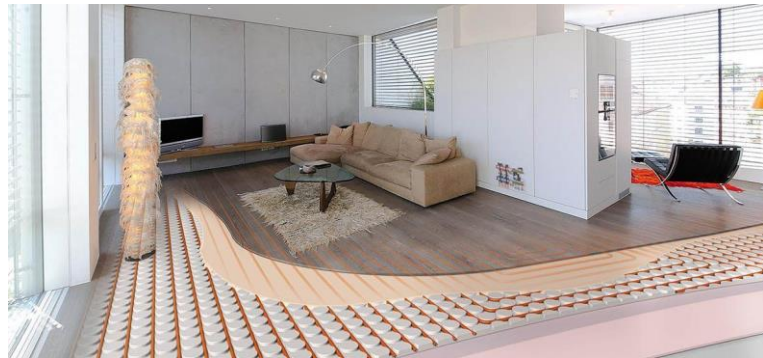
Centrale verwarming

Wanneer in een huis voor verwarming of productie van warm tapwater alleen elektriciteit voorhanden is, dan kan dat via directe elektrische verwarming. Bekende voorbeelden zijn het straalkachelkje en de elektrische boiler. De COP is dan gelijk aan 1: het opgenomen elektrische vermogen wordt voor 100% omgezet in warmte; ook bij elektrische vloerverwarming of een oliegevulde radiator. Een betere optie is een warmtepomp, die immers een COP heeft van groter dan 1: meer warmte voor je (elektrische) geld. Hoe groter de COP, hoe zuiniger je stookt. De constructie van een warmtepomp voor verwarming is in principe gelijk aan die in een koelkast. De warme kant wordt gekoppeld aan het centrale verwarmingssysteem. Aan de koude kant moet dus warmte worden toegevoerd. Dan hou je het temperatuurverschil tussen warme en koude kant klein en heb je een grote COP.

Vloerverwarming

We zeiden al: ‘Hoe kleiner het temperatuurverschil, hoe groter de COP’ en hoe zuiniger je dus stookt. Voor een efficiënte installatie moeten we dus naar een *zo laag mogelijke verwarmingstemperatuur* (de warme kant) en een *zo hoog mogelijke temperatuur voor de koude kant*. De gebruikelijke gasgestookte verwarming met radiatoren werkt bij ca. 80

°C, vloerverwarming bij ca. 35 °C. Daarom wordt bij een warmtepomp altijd voor vloerverwarming gekozen. Radiatoren gaan pas werken vanaf 50 °C en dan nog in een ouderwets grote uitvoering. Of er moeten ventilatoren worden ingezet, die elektrisch vermogen kosten en tocht veroorzaken. Hetelucht verwarming heeft vergelijkbare bezwaren en werkt onvoldoende bij 35 °C. Een goede isolatie van de woning is vanzelfsprekend *altijd* een vereiste.



Temperatuurregeling

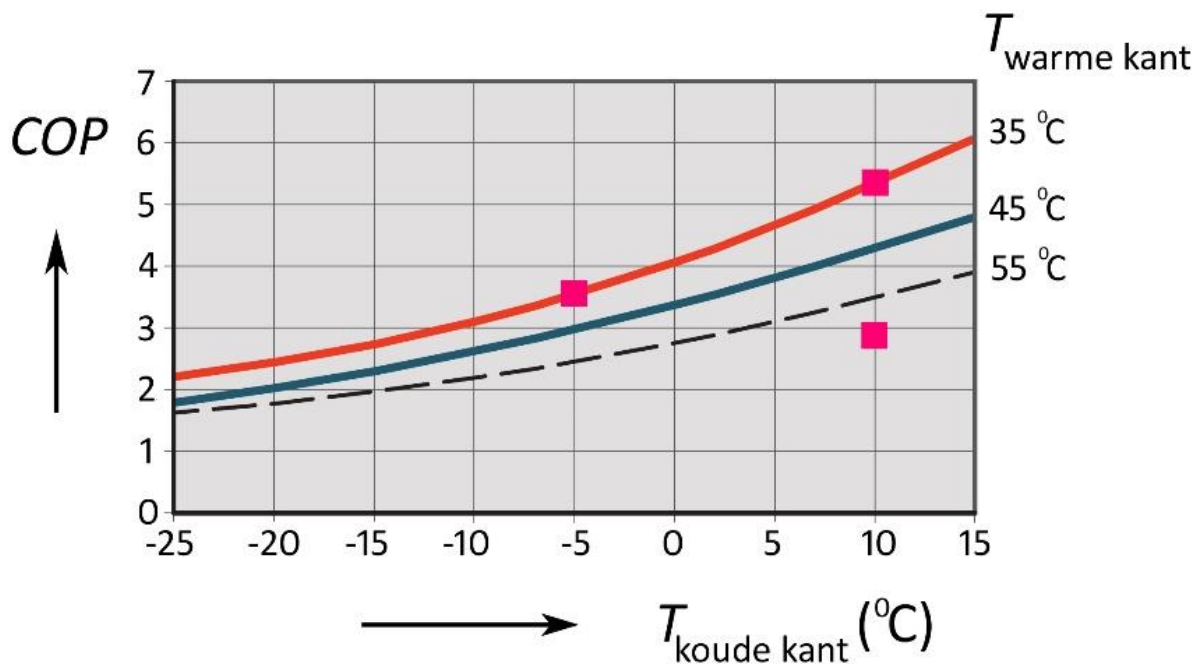
Bij vloerverwarming wordt de temperatuur geregeld door een buitenthermometer. De warmtevraag wordt aan de hand daarvan berekend door een microprocessor die de temperatuur van het water in het systeem regelt. Er zijn slechts twee instelbare parameters: het voetpunt en de steilheid van de stooklijn. Per vertrek kan dan de verwarmingsgraad worden ingesteld door de waterstroom in het systeem naar behoefte te doseren. Vloerverwarming werkt traag en wordt daarom gebruikt met een constante kamertemperatuur. De temperatuur van het verwarmingswater kan dan mooi laag blijven. Snel het huis verwarmen lukt alleen maar met een hóge watertemperatuur en dat gaat ten koste van de COP! Het gebruik van een kamerthermostaat is dus niet verstandig.



Kies bij de aanschaf van een warmtepomp voor een 'modulerend' type dat proportioneel aan de warmtevraag voldoet. Eerder kenden warmtepompen alleen een 'aan' en een 'uit' stand, met gevaar van pendelen (snel opvolgend aan- en afschakelen) bij een slecht aangelegd systeem. Modulerende warmtepompen regelen de temperatuur beter, zijn stiller en hebben een langere levensduur (meer dan 30 jaar) met weinig onderhoud.

Warmtebronnen

Als warmtebron voor de koude kant kiezen we in de praktijk tussen buitenlucht of bodem. In het eerste geval komt er buiten een ventilator te staan die buitenlucht blaast langs de koude kant van de warmtepomp en die zo opwarmt. In het tweede geval zijn er verschillende opties, die gemeen hebben dat water vanuit de bodem langs de koude kant wordt geleid waardoor die warm wordt gehouden. Daartoe wordt in de grond een buizenstelsel aangebracht. We zagen al dat de prestatie van een warmtepomp sterk afhangt van de temperatuur van de koude kant. Dit wordt geïllustreerd met het nevenstaande diagram dat laat zien hoe bij een doorsnee warmtepomp de COP van deze temperatuur (buitenlucht of bodem) afhangt. De rode lijn geeft de COP bij een aanvoertemperatuur (voor vloerverwarming) van 35 °C. Radiatoren hebben meer dan 55 °C nodig, een boiler 65 °C*.



COP bij wisselende temperatuur van de koude kant bij drie verschillende temperaturen van de warme kant (fabrieksgegevens Nibe F2120-12)

Bodem

Een warmtepomp op bodemwater (grondwater of koelvloeistof) heeft een vaste temperatuur aan de koude kant, omdat bodemwater zomer en winter een constante temperatuur heeft van ca. 10 °C. Voor vloerverwarming bedraagt de COP dan 5,3 (lees af bij ■ in het diagram hierboven), voor het opwarmen van tapwater in een boiler tot 65 °C* is de COP 2,8 (geschat). Ofwel, een warmtepomp brengt dan ruim 5× het opgenomen elektrische vermogen naar de vloerverwarming en ca. 3× naar de warmwater boiler. Dit is seizoenonafhankelijk door de constante waarde van de bodemtemperatuur. Informatie of bodemenergie op een bepaalde plaats mogelijk is, kan gevonden worden op <https://wkotool.nl/>.

* Minimum temperatuur in verband met legionellabesmetting.

Buitenlucht

Bij de luchtwarmtepomp wordt de koude kant ondergebracht in een buitenventilator die er lucht langs blaast. De COP hangt hier dus wél af van het seizoen. Bekijken we eerst de voor-naamste functie - *vloerverwarming* - dan zien we (lees af bij ■ in het diagram hierboven) dat de COP in het voor- en naseizoen, zeg bij 10 °C, gelijk is aan 5,3 net als bij de bodemwarmtepomp. Maar als het er 's winters op aankomt, zeg bij -5 °C, dan daalt de COP naar 3,6 (zie ■). Dat betekent allereerst dat de geleverde warmte 1½ (5,3/3,6) keer duurder wordt in €'s maar ook dat de maximaal te leveren warmtestroom 1½ keer minder is. Bij extreme koude wordt dit effect nog sterker. Bekijken we de tweede functie - het maken van warm *tapwater* - dan zien we dat dat evenredig duurder wordt en ook evenredig langzamer gaat. Als compensatie: het maken van warm tapwater is 's zomers voordeliger (COP > 3). Dat geldt natuurlijk ook voor de ruimteverwarming, maar die is dan echt niet meer nodig!



de buitenventilator,
hoe groter, hoe stiller . . .

Vloerkoeling

Bij de (helaas) warmer wordende zomers heeft een warmtepomp op bodemwater een belangrijk aanvullend voordeel boven een luchtwarmtepomp. De koelte van het bodemwater kan met de circulatiepompjes aan de vloerverwarming worden doorgegeven zónder dat de warmtepomp hoeft te werken. Daardoor is vrijwel gratis airco van het hele huis mogelijk. Een luchtwarmtepomp kan in omgekeerde stand worden gezet en werkt dan ook als airco. Maar iedereen weet hoeveel elektriciteit een airco kost en hoeveel geluid die in de omgeving produceert.



(1)



(2)



(3)

Bodembron

Voor het gebruiken van bodemwarmte zijn drie systemen in gebruik, zie ook de figuren hierboven. (1) Laat koelvloeistof circuleren door een aantal lussen die horizontaal ruim een meter onder het maaiveld zijn ingegraven (gesloten systeem). (2) Laat koelvloeistof circuleren door een of meer lussen die verticaal zijn geboord tot 60 à 120 m diepte (gesloten systeem). (3) Pomp grondwater uit een put van 40 à 80 m diep en voert het water afgekoeld terug in een tweede put (open systeem).

In het algemeen heeft het open systeem (3) de voorkeur omdat er geen enkel risico van bodemverontreiniging is (met koelvloeistof†) en weinig ruimte inneemt vergeleken met (1). Dit laatste geldt zeker in stedelijke gebieden, waar trouwens de gemeente een coördinerende rol moet spelen en vaak collectieve voorzieningen nodig zijn.

Tenslotte, in de praktijk leidt (3) tot een iets hogere seizoens-COP-waarde omdat bij de gesloten systemen (1) en (2) bevriezing van de bodem moet worden vermeden[#] en grondwater (3) zomer én winter een temperatuur van zo'n 10 °C heeft. Bij een gesloten systeem (2) moet er ook aanzienlijk meer geboord worden hetgeen direct in de kosten doorwerkt.

† Bij de 'heat pipe' technologie wordt niet-verontreinigende CO₂ onder hoge druk gebruikt.

Bij (1) en (2) kan dit bij een te krap ontwerp al na enkele jaren een groot probleem worden.

Regelgeving voor bodembronnen

Een overzicht van de regelgeving omtrent bodembronnen is hier* of hier** te vinden. Kort samengevat: Gesloten systemen zijn meldingsplichtig bij de provincie die ook aanvullende regels kan stellen en leges heffen (b.v. €1600). Alleen voor grotere systemen (verwarmingsvermogen > 350 kW) is daarbij een beperkte milieutoets nodig. Open systemen worden gereguleerd op grond van de waterwet; voor plaatsing van een open bron is een provinciale watervergunning nodig. Voor kleinere systemen (verwarmingsvermogen < 50 kW) kan er vrijstelling worden gegeven om leges van ca. €1600 te vermijden. Gemeenten kunnen een beperkte milieutoets eisen. Zie appendix II: 'Over COP en SPF' voor mogelijke provinciale regels. De provincies zijn zeer verschillend in de kwestie van leges en aanvullende regels.

* www.bodemplus.nl/onderwerpen/wetregelgeving/bodemenergie

** www.sikb.nl/bodembeheer/wet-en-regelgeving/bodemenergie

Open bron

Ook wel WKO (warmte-koude opslag) genoemd. De open bron kent wel specifieke aandachtspunten. Er moet een goede watervoerende laag (zand of grind) aanwezig zijn, met niet al te veel ijzer in het water. Dit is in Nederland meestal geen probleem. Bij de aanleg van de retourleiding moet erop gelet worden dat er geen terugstroom van het koude water richting bron optreedt. Een combinatie van een andere diepte, enige afstand (ca. 10 m) en een natuurlijke grondwaterstroom kunnen hiervoor zorgdragen. In stedelijke gebieden is coördinatie zeker noodzakelijk! IJzeroxidatie kan verstopping van de bron geven en de werking van de warmtewisselaar verslechteren. Om oxidatie te voorkomen, wordt de bron onder een lichte overdruk gehouden. Een open bron geeft geen bodemvervuiling of grondwaterdaling; immers al het opgepompte water gaat onveranderd en alleen enkele graden afgekoeld retour.



In het kader van de Waterwet is het verboden om een open bron aan te leggen zonder een daartoe strekkende vergunning van de provincie en die kost al gauw €1.500 aan leges. Maar voor systemen met een debiet kleiner dan 10 m³ per uur kan de provincie hierop een uitzondering maken. Omgerekend is dat een verwarmingsvermogen van minder dan 50 kW. Voor een woonhuis is 10 kW voldoende en hoeft de provincie dus geen vergunning te eisen; een (gratis) melding zou moeten volstaan.

De balans opmaken: buitenlucht vs bodem

We maken een vergelijking tussen warmtepompen die gebruik maken van buitenlucht- of bodemwarmte. Tussen de bodemwarmte systemen onderling zijn de verschillen minder groot. Allereerst het financiële plaatje *bij de aanschaf*. Voor elke warmtepomp moet lage-temperatuur verwarming worden gebruikt voor een gunstige COP-waarde. Vrijwel altijd zal dit neerkomen op vloerverwarming. De aanschaf van de eigenlijke installatie zal ook in beide gevallen op eenzelfde bedrag uitkomen omdat de techniek vrijwel identiek is. Wel treedt er verschil op bij het aanleggen van het buitendeel, want een buitenventilator is eenvoudiger aan te leggen dan een bodemwarmtedeel.

Voor het boren van een put moet worden gerekend op een bedrag van € 5.000 tot € 10.000, afhankelijk van de bodemsituatie. Dat is aanzienlijk duurder dan het plaatsen van een ventilator. Bij de aanschaf mag in beide gevallen rekening worden gehouden met de subsidie (ISDE) die de overheid dezer dagen geeft op warmtepompen: zo'n € 3.000. Voor wooncomplexen wordt de kostenpost per woning aanzienlijk lager omdat er makkelijk met een gedeelde warmtebron kan worden gewerkt.

Dan de *exploitatiekosten*. Die hangen natuurlijk sterk af van de te leveren hoeveelheid warmte, dus van de isolatiewaarde van de woning, van de ligging, de grootte en de warm tapwater behoefte. Zoals we in het paragraafje 'Bodembron' zagen, kan een warmtepomp voor vloerverwarming een COP van ruim 5 halen: hij levert ruim 5× meer warmte dan hij kost aan elektrische energie. Met een duidelijke restrictie voor de luchtwarmtepomp: wanneer het erop aankomt, als het gaat vriezen, levert die minder warmte op bij dezelfde stroomkosten - 1½ keer minder - of nog erger bij zware vorst. Dat heeft zowel repercussies voor de verwarming van de woning, het (minder snel) maken van warm tapwater als voor de portemonnee. De extra kosten van € 5.000 - € 10.000 (exclusief eventuele leges) voor de aanleg van een open bron moeten worden uitgezet tegen de levensduur ervan: veel meer dan 25 jaar . . .

De sterke en de zwakke punten van beide systemen - bodemwarmte en buitenlucht - zijn ter vergelijking in de onderstaande tabel gezet.

	bodemwarmte	buitenlucht
aanschaf	€ 15.000 - € 20.000	€ 10.000 [#]
elektrakosten	constant (COP = 5 à 6)	stijgen bij vorst (COP < 6)
warmte productie	constant	bij vorst minder
warm-tapwater productie	constant	bij vorst minder snel [#]
vloerkoeling	vrijwel gratis [§]	even duur als verwarming
geluidshinder	laag	soms hoog [†]

[#]richtbedrag [#]s zomers sneller [§]niet mogelijk bij heat pipe [†]buitenventilator

Afgezien van de aanschafkosten is de bodemwarmtebron in het voordeel ten opzichte van de buitenluchtbron. Op elektrakosten zal bij die eerste flink worden bespaard, niet alleen bij de warmteproductie maar ook bij de vloerkoeling. De *geluidshinder* van de ventilatie unit voor de burens vormt tevens een minpunt voor de buitenluchtbron. En bij die laatste zijn nog twee maatregelen nodig, die de COP verlagen. Wanneer de koude kant onder het vriespunt komt, zal er *ijsafzetting* optreden die periodiek ontdooid moet worden. Ook worden deze systemen meestal met een elektrisch element uitgerust voor *bijverwarming* bij lage buitentemperaturen, met noodgedwongen COP = 1. Zie het kader hieronder.

uit de bedieningshandleiding van Nefit EnviLine (www.nefit.nl):

<p>4.1 Bijverwarming voor meer vermogen Wanneer de warmtepomp onvoldoende energie levert voor het verwarmen van het huis of vanwege lage buitentemperaturen moet worden gestopt, moet worden bijverwarmd door een geïntegreerd 9 kW elektrische verwarmingselement van de binneneenheid.</p>	<p>4.3 Automatisch ontdooiden Bij een buitentemperatuur onder 10 °C kan op de verdampers ijs worden gevormd. Wanneer de ijsvorming zo groot wordt, dat het luchtdebiet door de verdampers wordt gehinderd, dan wordt het ontdooiden automatisch gestart door het omdraaien van de doorstroomrichting.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Macroniveau

Niet alleen voor de individuele gebruiker, maar ook op macroniveau is een juiste keuze van het type warmtepomp van groot belang. Bij een massale overstap op warmtepompen behoort een verzorging van het elektrische distributiesysteem in de wijken. Wanneer de keus is gevallen op buitenlucht als bron zal bij zware vorst de elektriciteitsvraag voor verwarming dubbel zo hoog uitvallen dan wanneer de keus zou zijn gevallen op de bodemwarmtebron.

Het lokale elektriciteitsnet moet in dat geval veel zwaarder worden uitgevoerd om te voorkomen dat dat op een koude nacht door overbelasting in elkaar klapt.

De overheid heeft 's winters toch al een groot probleem omdat dan de bijdrage van zonne-energie miniem is en in geval van windstilte op de buffervoorraden moet worden teruggevallen. En - zoals bekend - is er nog geen oplossing in zicht waar die buffervoorraden uit moeten bestaan (waterkracht uit Noorwegen?, plan-Lievense?, biogas of waterstofgas?).

Ook 's zomers kunnen warmtepompen op buitenlucht voor een probleem zorgen in de stedelijke gebieden. Vanwege hun warmteafgifte in de koelmodus wordt daar het hitte-eilandeffect versterkt. Het Klimaatverbond noemt dit niet voor niets een blinde vlek in ons klimaatbeleid*.

Rest de terechte vraag of er wel voldoende potentieel in de bodem van Nederland zit voor de te verwachten warmtevraag en koelbehoefte. Op nationaal niveau wordt die vraag positief beantwoord in een recent onderzoek van CE Delft / Deltares†.

* www.klimaatverbond.nl/thema/koeltebehoefte

† www.ce.nl/publicaties/2171/nationaal-potentieel-van-aquathermie

Conclusie

Voor het gasloos maken van woningen is het toepassen van warmtepompen een goede optie. Van stadsverwarming kunnen we niet veel verwachten, omdat de hoeveelheid restwarmte van de industrie die beschikbaar is in de toekomst een dalende tendens zal vertonen. Van het stoken van biomassa is al vaak aangetoond dat dat geen bijdrage aan de CO₂-uitstoot zal leveren. De warmtepomp techniek is al gedurende tientallen jaren uitontwikkeld in landen als Zweden, Duitsland, Oostenrijk en Zwitserland. We hebben gezien dat de keuze van de warmtebron hierbij van groot belang is en dat *bodemwarmte* verre te prefereren is boven *buitenlucht*. Dit zowel gezien vanuit de portemonnee van de individuele gebruiker als vanuit het perspectief van de overheid (macroniveau).

Het is aan diezelfde overheid om het belang van de juiste keuze aan publiek en industrie duidelijk te maken. In dat kader moet de subsidie op de aanschaf van buitenlucht bronnen zo snel mogelijk worden beëindigd. Tevens moet de provinciale vergunning, die momenteel vaak voor een open bron vereist is, zo snel mogelijk worden omgezet in een gratis meldingsplicht. Voor *Vereniging Eigen Huis* en *Consumentenbond* is in deze voorlichting vanzelfsprekend ook een rol weggelegd.



APPENDIX I: Wat is Watt?

Een kleine energieke leeswijzer

Energie (E) komt voor in vele vormen die in elkaar kunnen worden omgezet:

Warmte (Q) \Leftrightarrow Chemische energie \Leftrightarrow Licht \Leftrightarrow Zwaarte-energie \Leftrightarrow Bewegingsenergie \Leftrightarrow Elektrische energie \Leftrightarrow Kernenergie.

De algemene eenheid van energie is **J** (joule). Vaak worden afgeleide eenheden gebruikt zoals **kWh** (kilowattuur) in de elektrawereld en **m³ aardgasequivalent** in de verwarmingswereld: 1 kWh = 1000 W \times 3600 s = 3.600.000 J, 1 m³ aardgasequivalent = 35,17 MJ (bovenwaarde). Soms wordt er Nm³ geschreven, N van 'bij normale druk' ofwel gas bij druk van 1 bar en 0 °C.

Vermogen (P) is de per seconde overgedragen energie, met als eenheid dus J/s, afgekort tot **W** (watt). Wanneer een apparaat energie levert met een vermogen van 1 kW = 1000 W = 1000 J/s gedurende een uur (1 h = 3600 s), dan levert het dus in totaal 1000 \times 3600 = 3.600.000 J. Bij variabele energie-omzetters als windmolens of zonnecellen wordt de eenheid Wp gebruikt. De p staat voor 'piek'. Wanneer een paneel met zonnecellen 200 Wp levert, betekent dat een elektrisch vermogen van 200 W bij optimale zonnestand en atmosferische condities; 's nachts wordt er 0 W geleverd!

Rendement (η) bij een energieomzetting is de verhouding tussen de nuttige energie en de opgenomen energie. Wanneer bijvoorbeeld een HR-verwarmingssketel een rendement (op bovenwaarde) heeft van 95%, dan komt het 0,95-ste deel van de ingevoerde chemische (gas)energie vrij als bruikbare warmte en de rest (5%) gaat verloren de schoorsteen uit. Een warmtepomp kan 6 \times meer warmte opwekken dan elektrisch opgenomen en heeft dan een rendement van 600%. Meestal wordt er gesproken over de COP-waarde, die is dan 6.

Notaties

Een afstand van 1000 m wordt geschreven als 1 km (eigenlijk 1,000 km), zo gebeurt dat ook met J en W: kJ en kW. Dus k (kilo) staat voor 1.000 = 10³. Net zo staat M (mega) voor 1.000.000 = 10⁶, G (giga) voor 1.000.000.000 = 10⁹, T (tera) voor 1.000.000.000.000 = 10¹² en P (peta) voor 10¹⁵.

Omrekenen

1 GWh = 10⁶ kWh = 3,600 \times 10¹² J = 3,600 TJ

10⁶ m³ aardgasequivalent = 35,17 \times 10¹² J = 35,17 TJ = 9,769 GWh

Voor gasverwarming kun je rekenen met een rendement van 95% (bovenwaarde).

Dan levert 1000 m³ aardgasequivalent = 9,3 MWh aan warmte op. (Ietsje naar boven afgerond komt dus 1000 m³ aardgas overeen met 10.000 kWh warmte.) Een warmtepomp met een COP van 5 heeft daarvoor 9,3/5 = 1,86 MWh nodig (bij een COP van 5).

Wil je dus omrekenen van gasverbruik naar elektra, dan is als vuistregel te gebruiken: 1000 m³ aardgas komt overeen met 2000 kWh elektriciteit voor een warmtepomp.

APPENDIX II: Over COP en SPF

Provinciale rapportage bij een open bron

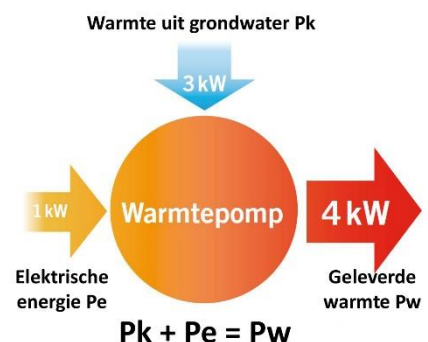
In het kader van een waterwetvergunning voor een open bron kan de provincie een jaarlijkse rapportageplicht opleggen. Daarin worden per maand de hoeveelheden grondwater opgegeven die onttrokken respectievelijk teruggeleverd zijn en de bijbehorende temperaturen. Netto wordt er natuurlijk *geen* water gebruikt. Ook wordt het elektriciteitsverbruik van waterpomp + warmtepomp opgegeven. Uit deze gegevens wordt de hoeveelheid warmte berekend die aan het grondwater onttrokken is en de zogenaamde Seizoens Prestatie Factor (SPF). Dit deel van de rapportage wordt hieronder weergegeven.

Voorbeeld rapportage waterwetvergunning open bodemenergiesysteem

Maand	Verwarmingsbedrijf aan de bodem toe gevoegde koude [kWh]	Energiegebruik ondergronds deel inclusief warmtepomp [kWh]	COP = SPF + 1	
			SPF gemeten [-]	COP berekend [-]
Januari	3164	612	5,17	6,17
Februari	2336	430	5,43	6,43
Maart	1409	276	5,11	6,11
April	1141	225	5,07	6,07
Mei	416	87	4,76	5,76
Juni	84	22	3,83	4,83
Juli	103	27	3,83	4,83
Augustus	60	15	3,97	4,97
September	463	94	4,92	5,92
Oktober	904	176	5,12	6,12
November	1929	376	5,13	6,13
December	2715	524	5,18	6,18
Totaal 2017	14723	2.864	4,79	5,79

De SPF lijkt op de COP en is gedefinieerd als:
 $SPF = P_k / P_e$ (zie de figuur hiernaast). Vergelijk:
 $COP = P_w / P_e$ (definitie)

Uit de gemeten SPF kun je de COP van de warmtepomp voor het verwarmen van water (CV + warm tapwater) berekenen. In de figuur wordt uitgelegd dat:
 $P_k + P_e = P_w$ (wet van behoud van energie)
 Ofwel $P_k / P_e + 1 = P_w / P_e$
 Dus $SPF + 1 = COP$



We zien een bescheiden elektra jaargebruik van 2.864 kWh en een mooie COP van gemiddeld 5,79 in de meest rechtse kolom. In de zomer wordt de warmtepomp alleen gebruikt voor warm tapwater en is de COP daardoor iets lager. Eén opmerking over de berekende COP: er is aangenomen dat alle warmte die in de waterpomp en warmtepomp ontstaat aan het warme water ten goede is gekomen. In werkelijkheid zal dat niet helemaal het geval zijn en zal de werkelijke COP iets lager zijn.

APPENDIX III: Waterstofgas voor Ruimteverwarming

Waterstof versus warmtepomp

Soms wordt waterstofgas (H₂) genoemd als verwarmingsbron voor woonhuizen. Dit gas kan op duurzame wijze door windmolens worden geproduceerd via elektrolyse, met een redelijk rendement. Dit lijkt een aantrekkelijke optie wanneer door veel wind het aanbod van elektriciteit de vraag overtreft. Daarom is het goed om de 'all electric' oplossing met behulp van een warmtepomp eens precies te vergelijken met een CV op waterstofgas. We zetten een en ander op een rijtje door te kijken hoe **100 kWh** aan elektrische energie, die door een windmolen is gewonnen, bij een woning terecht kan komen.

(1) Allereerst via de waterstofroute. Het elektrolyse proces kan misschien - na verder onderzoek en opschaling - een rendement van 75% halen. Van de 100 kWh is er dus nog 75 kWh aan waterstofenergie beschikbaar. Een HR-CV-ketel (rendement 95%) zet dit om in **71 kWh** warmte voor de woning.

(2) Dan via de 'all electric' route met een warmtepomp. Het bijzondere van een warmtepomp is dat die meer warmte kan verpompen dan hij aan elektrisch vermogen opneemt. Een warmtepomp op bodemwarmte heeft een COP van 6, ofwel een rendement van 600%. De warmte die voor de woning beschikbaar is, bedraagt dus **600 kWh**.

Het zal duidelijk zijn: de warmtepomp levert dik 8 maal (600/71) meer warmte aan een huis dan waterstofgas, voor elke 100 kWh die een windmolen produceert. Qua verbruik per maand is men dus 8 maal goedkoper uit! (En dan hebben we de kosten van de elektrolyse nog niet in rekening gebracht.) Dit moet natuurlijk worden afgezet tegen de hogere investeringskosten van een warmtepomp, maar de terugverdientijd zal gezien die factor 8 altijd meevallen.

Waterstofgas biedt - net als biogas - wél de mogelijkheid van energiebuffering ter overbrugging van windstille en zonarme periodes. Het gas kan dan, bijvoorbeeld met een brandstofcel, weer in elektriciteit worden omgezet op het moment dat dat nodig is. Ook de toepassing in de mobiliteit - vooral vrachtwagens - wordt onderzocht. Maar dat zijn andere verhalen.